



**T.C.**  
**SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**  
**DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**  
**ENDODONTİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİNİN**  
**KULLANIMI SIRASINDA TAŞAN İRRİGASYON**  
**SOLÜSYONUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Dt. Merve AYTİŞ**  
**UZMANLIK TEZİ**

**SİVAS**  
**2025**





**T.C.**  
**SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**  
**DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**  
**ENDODONTİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİNİN**  
**KULLANIMI SIRASINDA TAŞAN İRRİGASYON**  
**SOLÜSYONUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Dt. Merve AYTİŞ**  
**UZMANLIK TEZİ**

**Prof. Dr. Recai ZAN**  
**DANIŞMAN ÖĞRETİM ÜYESİ**

**SİVAS**  
**2025**

## TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince kıymetli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, akademik yolculuğumda her zaman yoluma ışık tutan, engin bilgisi ve yol göstericiliğiyle daima minnet duyduğum dekanım ve çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Recai ZAN'a,

Akademik bilgi ve klinik deneyimlerini paylaşarak eğitimime büyük katkı sağlayan, bilimsel birikimi ve değerli tecrübeleriyle yoluma yön veren, anlayışlı ve teşvik edici yaklaşımıyla bana güç katan Sayın Prof. Dr. Demet ALTUNBAŞ'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca iyi niyetini ve desteğini her zaman hissettiğim, hoşgörüsü ve rehberliği ile her zaman yanımda olduğunu hissettiren Sayın Prof. Dr. Kerem Engin AKPINAR'a,

Eğitimim boyunca değerli bilgileriyle yol gösteren, bilgi ve becerilerini içtenlikle paylaşan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatoş ALBAYRAK'a,

Uzmanlık eğitimim süresince birlikte yürüdüğüm, desteklerini her zaman yanımda hissettiğim; bana yalnızca mesai arkadaşı değil aynı zamanda dost olan, deneyimlerini ve iyi niyetlerini esirgemeyen, birlikte çalışmaktan onur ve mutluluk duyduğum başta Arş. Gör. Cansel SARI, Uzm. Dt. Tuğçe ÖZDEMİR SAKİN, Uzm. Dt. Nejla ÇİMEN, Uzm. Dt. Beyza TALU KARABEKİR olmak üzere birlikte çalıştığım bütün mesai arkadaşlarıma,

Her daim yanımda olan, dostluğuyla bana güç katan kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Rabia MAVİ'ye,

Bugünlere gelmemde en büyük katkıyı sunan kıymetli aileme; her koşulda yanımda olan, sevgisi ve desteğiyle bana güç veren değerli annem Emine AYTİŞ ve babam Cemalettin AYTİŞ'e, daima yanımda olup desteğini hissettiren canım kardeşim Beyza AYTİŞ'e ve varlığıyla hayatımı güzelleştiren sevgili kardeşim Rabia Songül KILIÇ'a,

Tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından DİŞ-2024-333 proje numarası ile desteklenmiştir.

**ÖZET****FARKLI İRRİGASYON AKTİVASYON SİSTEMLERİNİN KULLANIMI  
SIRASINDA TAŞAN İRRİGASYON SOLÜSYONUNUN  
DEĞERLENDİRİLMESİ****Merve AYTİŞ****Endodonti Anabilim Dalı****SİVAS****2025**

Kök kanal tedavisinde, kanal sistemi içerisindeki mikroorganizmaların ve yan ürünlerinin tamamen uzaklaştırılmasında irrigasyon, tedavinin en temel ve kritik prosedürlerinden biridir. Bu çalışmanın amacı, kök kanal tedavisinde kullanılan farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, irrigasyon uygulaması esnasında köklerin apikal daralımlarından periapikal dokulara taşabilen solüsyon miktarları üzerine etkisini değerlendirmektir.

Çalışmamızda ortodontik veya periodontal nedenlerle çekilen toplam 90 adet mandibular premolar diş seçildi. Dişlerin kron kısımları yaklaşık 14 mm uzunluğunda kök segmentleri elde edilecek şekilde su soğutması altında separe yardımıyla uzaklaştırıldı. Kök kanal preparasyonları belirlenen çalışma boyunda ProTaper Next Ni-Ti döner eğe sistemiyle yapıldı. Preparasyon esnasında X1 (17/0.04), X2 (25/0.06) ve X3 (30/0.07) enstrümanları sırasıyla kullanıldı. Kök kanalları her eğe değişiminde 2 ml %2,5 sodyum hipoklorit (NaOCl) ile irrigate edildi. Smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla kök kanallarına sırasıyla 1 dakika süreyle 5 ml %5 NaOCl ve 5 ml %17 etilendiamin tetraasetik asit (EDTA) uygulandı. Hazırlanan kök kanalları kağıt konularla kurutuldu.

Dişler, rastgele numaralandırılan eppendorf tüplerinin kapaklarına sabitlendi ve bu tüpler kauçuk kapaklı cam flakonlara yerleştirildi. Açık hava basıncı ile iç basınç arasındaki farkı dengeleyebilmek amacıyla sisteme bir enjektör iğnesi eklendi. Oluşturulan bu düzenekler altı farklı irrigasyon aktivasyon yöntemine göre geleneksel iğne ile irrigasyon, XP-Endo Finisher, Er:YAG lazer, EDDY, EndoVac ve pasif ultrasonik aktivasyon olmak üzere rastgele gruplara ayrıldı.

Her gruba 6 ml irrigasyon solüsyonu ile 3 dakika boyunca aktivasyon işlemi uygulandı. Uygulama sonunda tüm kök kanalları, aktivasyon uygulanmadan 2 ml distile su ile irrigate edildi. Apikalden taşan irrigasyon solüsyonu eppendorf tüplerinde toplandı ve serolojik pipetlerle ml cinsinden ölçüldü. Elde edilen veriler, Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri ile normallik açısından değerlendirildikten sonra, istatistiksel analizler için tek yönlü ANOVA ve Bonferroni çoklu karşılaştırma testleri uygulandı. Anlamlılık düzeyi  $p<0,05$  olarak belirlendi.

Çalışmanın istatistiksel analiz sonuçlarına göre, kullanılan irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin apikalden solüsyon taşma miktarını anlamlı düzeyde etkilediği görüldü. EndoVac grubu diğer tüm gruplarla kıyaslandığında, taşma miktarının anlamlı düzeyde daha düşük olduğu tespit edildi ( $p<0,05$ ). EndoVac dışındaki gruplar arasında istatistiksel olarak fark anlamsız bulundu ( $p>0,05$ ).

Kök kanallarının kemomekanik preparasyonu esnasında uygulanan güncel irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, apikalden taşan irrigasyon solüsyonu miktarını azaltma noktasında farklı düzeylerde etkinliği olduğu belirlendi. Çalışılan gruplar arasında özellikle EndoVac sisteminin apikalden taşan solüsyon miktarı açısından diğer aktivasyon yöntemlerine kıyasla daha düşük olduğu ve bu konuda daha avantaj sağladığı görüldü.

Elde edilen bulgular, negatif basınç prensibi ile çalışan sistemlerinin irrigasyon işlemi esnasında daha düşük miktarlarda apikal taşma sağladığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Apikalden taşan solüsyon, Lazer, Negatif basınçlı irrigasyon, Sonik irrigasyon, Ultrasonik irrigasyon

**ABSTRACT****EVALUATION OF EXTRUDED IRRIGATION SOLUTION DURING THE  
USE OF DIFFERENT IRRIGATION ACTIVATION SYSTEMS****Merve AYTİŞ****Department of Endodontics****SİVAS****2025**

In root canal treatment, irrigation is one of the fundamental and most critical procedures for the complete removal of microorganisms and their by-products from the root canal system. The aim of this study was to evaluate the effect of different irrigation activation techniques used in root canal treatment on the amount of irrigant solution that may pass through the apical constriction of the roots into the periapical tissues during irrigation.

A total of 90 mandibular premolar teeth extracted for orthodontic or periodontal reasons were selected for the study. The crowns of the teeth were sectioned under water cooling with a separating disc to obtain root segments approximately 14 mm in length. Root canal preparation was performed at the determined working length using the ProTaper Next Ni-Ti rotary file system. The X1 (17/0.04), X2 (25/0.06), and X3 (30/0.07) instruments were used sequentially during preparation. The root canals were irrigated with 2 mL of 2.5% sodium hypochlorite (NaOCl) after each instrument change. To remove the smear layer, 5 mL of 5% NaOCl and 5 mL of 17% ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) were applied sequentially for one minute each. The prepared canals were then dried with paper points.

The teeth were fixed onto the caps of randomly numbered Eppendorf tubes, which were then placed into glass vials with rubber stoppers. To balance the difference between atmospheric pressure and internal pressure, a syringe needle was inserted into the system. These experimental setups were randomly assigned to six different irrigation activation methods: conventional needle irrigation, XP-Endo Finisher, Er:YAG laser, EDDY, EndoVac, and passive ultrasonic activation.

Each group underwent activation for 3 minutes using 6 mL of irrigant solution. At the end of the application, all root canals were irrigated with 2 mL of distilled water without activation. The irrigant extruded apically was collected in the Eppendorf tubes and measured in milliliters using serological pipettes. The obtained data were assessed for normality using the Kolmogorov–Smirnov and Shapiro–Wilk tests, and one-way ANOVA followed by the Bonferroni multiple comparison test was used for statistical analysis. The significance level was set at  $p < 0.05$ .

According to the statistical analysis, the irrigation activation methods significantly affected the amount of apically extruded irrigant solution. When compared with all other groups, the EndoVac group demonstrated a significantly lower amount of extrusion ( $p < 0.05$ ). No statistically significant differences were found among the other groups ( $p > 0.05$ ).

It was determined that the contemporary irrigation activation techniques applied during the chemomechanical preparation of root canals have varying levels of effectiveness in reducing the amount of apically extruded irrigant solution. Among the groups studied, the EndoVac system was found to result in less apical extrusion of the irrigant compared with other activation methods, providing a distinct advantage in this regard.

The findings of this study reveal that systems operating on the negative pressure principle result in lower amounts of apical extrusion during irrigation procedures.

**Keywords:** Apically extruded solution, Laser, Negative pressure irrigation, Sonic irrigation, Ultrasonic irrigation

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                            |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR.....                                                                                              | iii  |
| ÖZET.....                                                                                                  | iv   |
| ABSTRACT.....                                                                                              | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                          | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                                                        | x    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                       | xii  |
| TABLolar DİZİNİ .....                                                                                      | xiii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                             | 1    |
| 2. GENEL BİLGİLER.....                                                                                     | 3    |
| 2.1. Kök Kanal Tedavisinin Amacı .....                                                                     | 3    |
| 2.2. Kök Kanal Tedavisinde Kemomekanik Preparasyon.....                                                    | 3    |
| 2.3. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyonun Önemi.....                                                         | 5    |
| 2.4. Kök Kanal İrrigasyon Solüsyonlarının Taşınması Gereken Nitelikler.....                                | 6    |
| 2.5. Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları.....                                         | 7    |
| 2.5.1. Alkalen Solüsyonlar .....                                                                           | 7    |
| 2.5.2. Asitler ve Şelasyon Ajanları .....                                                                  | 11   |
| 2.5.3. Bisguanidler .....                                                                                  | 14   |
| 2.5.4. Yüzey Aktif Ajanlar .....                                                                           | 16   |
| 2.5.5. Oksidan Solüsyonlar .....                                                                           | 17   |
| 2.5.6. Diğer Solüsyonlar.....                                                                              | 18   |
| 2.6. Kök Kanal Tedavisinde Komplikasyonlar .....                                                           | 18   |
| 2.6.1. Kök Kanal Tedavisi Esnasında Gelişebilen Komplikasyonlar.....                                       | 18   |
| 2.6.2. Kök Kanal Tedavisi Sonrasında Gelişebilen Komplikasyonlar .....                                     | 19   |
| 2.7. Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri .....                               | 21   |
| 2.7.1 Manuel İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri .....                                                        | 21   |
| 2.7.2. Mekanik İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri .....                                                      | 23   |
| 2.8. Kök Kanal İrrigasyonu Sırasında Taşınan Solüsyon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler..... | 30   |
| 3. GEREÇ VE YÖNTEM .....                                                                                   | 32   |
| 3.1. Örneklem Büyüklüğü Hesaplanması.....                                                                  | 32   |
| 3.2. Örneklerin Hazırlanması .....                                                                         | 32   |
| 3.3. Kök Kanal Preparasyonu.....                                                                           | 33   |
| 3.4. Deney Düzeneklerinin Hazırlanması.....                                                                | 35   |
| 3.5. Deney Gruplarının Oluşturulması .....                                                                 | 35   |
| 3.6. Deney Gruplarına Yapılan İşlemler.....                                                                | 36   |
| 3.6.1. Grup I: Geleneksel İğne ile İrrigasyon (Gİİ) (n=15).....                                            | 37   |
| 3.6.2. Grup II: EDDY İrrigasyon Aktivasyonu (n=15) .....                                                   | 37   |
| 3.6.3. Grup III: XP-Endo Finisher İrrigasyon Aktivasyonu (n=15).....                                       | 38   |
| 3.6.4. Grup IV: Pasif Ultrasonik İrrigasyon Aktivasyonu (PUI) (n=15) .....                                 | 39   |
| 3.6.5. Grup V: EndoVac İrrigasyon Aktivasyonu (n=15).....                                                  | 40   |
| 3.6.6. Grup VI: Er:YAG Lazer İrrigasyon Aktivasyonu (n=15).....                                            | 40   |
| 3.7. Apikalden Taşınan Solüsyonun Ölçülmesi.....                                                           | 41   |
| 3.8. İstatistiksel Analiz .....                                                                            | 42   |
| 4. BULGULAR.....                                                                                           | 43   |
| 5. TARTIŞMA.....                                                                                           | 45   |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                                 | 66   |

|                |    |
|----------------|----|
| KAYNAKLAR..... | 67 |
|----------------|----|



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                               |                                                                     |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| %                             | Yüzde                                                               |
| ~                             | Yaklaşık                                                            |
| >                             | 'den büyüktür                                                       |
| <                             | 'den küçüktür                                                       |
| ≤                             | 'den küçük veya eşittir                                             |
| °C                            | Santigrat derece                                                    |
| μm                            | Mikrometre                                                          |
| ark.                          | Arkadaşları                                                         |
| <i>C. albicans</i>            | <i>Candida albicans</i>                                             |
| Ca <sup>+2</sup>              | Kalsiyum İyonu                                                      |
| CDTA                          | Trans-1,2-Diaminocyclohexane-N,N,N',N'-Tetra-acetic Acid            |
| CHX                           | Klorheksidin                                                        |
| CO <sub>2</sub>               | Karbondioksit                                                       |
| DNA                           | Deoksiribonükleik Asit                                              |
| <i>E. Faecalis</i>            | <i>Enterococcus faecalis</i>                                        |
| EA                            | EndoAktivatör                                                       |
| EDTA                          | Etilendiamin Tetraasetik Asit                                       |
| EDTAC                         | Ethylendiamine Tetra-acetic Acid plus Cetavlon                      |
| EDTA-T                        | Tris-buffered EDTA                                                  |
| EGTA                          | Ethylene Glycol-bis(β-aminoethyl ether)-N,N,N',N'-Tetra-acetic Acid |
| Er:YAG                        | Erbium Doped Yttrium Aluminium Garnet                               |
| G                             | Gauge                                                               |
| Giİ                           | Geleneksel İğne ile İrrigasyon                                      |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | Hidrojen Peroksit                                                   |
| HEBP                          | Hidroksietilen Bisfosfonat Etidronik Asit                           |
| HOCl                          | Hipokloröz Asit                                                     |
| Hz                            | Hertz                                                               |
| kHz                           | Kilohertz                                                           |
| Mg <sup>+2</sup>              | Magnezyum İyonu                                                     |
| micro-BT                      | Mikro Bilgisayarlı Tomografi                                        |
| ml                            | Mililitre                                                           |

|                        |                                                    |
|------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>ml/sn</b>           | Mililitre/saniye                                   |
| <b>mm</b>              | Milimetre                                          |
| <b>MTAD</b>            | Mixture of Tetracycline İsomer, Acid and Detergent |
| <b>NaCl</b>            | Sodyum Klorür                                      |
| <b>n</b>               | Sayı                                               |
| <b>NaDCC</b>           | Sodyum Diklorizosiyanürat                          |
| <b>NaOCl</b>           | Sodyum Hipoklorit                                  |
| <b>NaOH</b>            | Sodyum Hidroksit                                   |
| <b>Ncm</b>             | Newton×Santimetre                                  |
| <b>Nd:YAG</b>          | Neodymium Doped Yttrium Aluminium Garnet           |
| <b>-NH</b>             | Amino Grubu                                        |
| <b>Ni-Ti</b>           | Nikel Titanyum                                     |
| <b>OCl<sup>-</sup></b> | Hipoklorit İyonu                                   |
| <b>OH<sup>-</sup></b>  | Hidroksil İyonu                                    |
| <b>ort.</b>            | Ortalama                                           |
| <b>PAA</b>             | Perasetik Asit                                     |
| <b>PCA</b>             | P-Kloranilin                                       |
| <b>pH</b>              | Potential of Hydrogen                              |
| <b>PIPS</b>            | Foton Kaynaklı Fotoakustik Akım                    |
| <b>PUI</b>             | Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım             |
| <b>REDTA</b>           | Roth's EDTA                                        |
| <b>Rpm</b>             | Dakikadaki devir sayısı                            |
| <b>SAF</b>             | Self Adjusting File                                |
| <b>-SH</b>             | Sülfidril Grubu                                    |
| <b>sn</b>              | Saniye                                             |
| <b>SPSS</b>            | Statistical Package for the Social Sciences        |
| <b>SS</b>              | Standart Sapma                                     |
| <b>SWEEPS</b>          | Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım             |
| <b>UI</b>              | Ultrasonik Enstrümantasyon                         |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                    |                                                                                                                             |    |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.1.</b>  | Dişlerin kronları uzaklaştırıldıktan sonraki görüntüsü.....                                                                 | 33 |
| <b>Şekil 3.2.</b>  | Çalışmamızda kullanılan ProTaper Next Ni-Ti döner eğe sistemi<br>ve X-Smart Plus endodontik motor.....                      | 34 |
| <b>Şekil 3.3.</b>  | Çalışmamızda kullanılan irrigasyon solüsyonları .....                                                                       | 34 |
| <b>Şekil 3.4.</b>  | Çalışmamızda oluşturulan deney düzeneği .....                                                                               | 35 |
| <b>Şekil 3.5.</b>  | Çalışmamızda kullanılan sıcak su banyosu .....                                                                              | 36 |
| <b>Şekil 3.6.</b>  | Sıcak su banyosuna yerleştirilip sabitlenen düzenekler .....                                                                | 37 |
| <b>Şekil 3.7.</b>  | Çalışmamızda kullanılan yandan delikli irrigasyon iğnesi ve<br>uygulanış şekli.....                                         | 37 |
| <b>Şekil 3.8.</b>  | Çalışmamızda kullanılan EDDY cihazı ve uygulanış şekli.....                                                                 | 38 |
| <b>Şekil 3.9.</b>  | Çalışmamızda kullanılan XP-Endo Finisher eğesi ve<br>uygulanış şekli.....                                                   | 39 |
| <b>Şekil 3.10.</b> | Çalışmamızda kullanılan PUI cihazı ve uygulanış şekli .....                                                                 | 39 |
| <b>Şekil 3.11.</b> | Çalışmamızda kullanılan EndoVac cihazı ve uygulanış şekli .....                                                             | 40 |
| <b>Şekil 3.12.</b> | A. Çalışmada kullanılan Er:YAG Lazer uygulama başlığı,<br>B. Er:YAG lazerin kullanıldığı değerler, C. Uygulanış şekli ..... | 41 |
| <b>Şekil 3.13.</b> | Çalışmamızda kullanılan elektronik pipet tabancası ve serolojik<br>pipet.....                                               | 41 |
| <b>Şekil 4.1.</b>  | Deney gruplarının apikalden taşan solüsyon miktarlarının<br>ortalama değerleri.....                                         | 44 |

**TABLÖLAR DİZİNİ**

|                   |                                                             |    |
|-------------------|-------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> | Çalışmamızda oluşturulan deney grupları.....                | 36 |
| <b>Tablo 4.1.</b> | Deney gruplarının ortalama ve standart sapma değerleri..... | 43 |



## 1. GİRİŞ

Kök kanal tedavisi, enfeksiyonun ortadan kaldırılması amacıyla; kök kanal sisteminden organik doku artıklarının, mikroorganizmaların ve mikrobiyal toksinlerin çıkarılmasının ardından kanalların üç boyutlu olarak sızdırmaz bir materyalle doldurulmasıdır (1). Kök kanal sistemi içerisinde bulunan mikroorganizmalar ve yan ürünlerinin tamamen uzaklaştırılamaması tedavilerin başarısız olarak sonuçlanmasında önemli rol oynar (2). Kök kanal sisteminin, özellikle köklerin apikal üçlü bölgesinin, karmaşık anatomisi mekanik preparasyonu ve dolayısıyla dezenfeksiyonu zorlaştırır (3).

Bakteriler dentin tübülleri içerisinde 400 µm veya daha derine doğru ilerleyebilmektedir (4). Klasik yöntemlerle yapılan mekanik preparasyon kök kanal duvarlarının direnci nedeniyle genellikle dentinde yalnızca 150 µm derinlikte ilerleyebilir. Bu durum yalnızca mekanik preparasyonla derin dentin enfeksiyonunun ortadan kaldırılmasını imkansız hale getirir (5).

İrrigasyon kök kanal tedavilerinin başarıya ulaşmasındaki en önemli basamaklardan biridir. Tedavi esnasında kök kanallarının çeşitli solüsyonlar kullanılarak yapılan irrigasyonuyla debrisin, medikament kalıntılarının, nekrotik artıkların ve mikroorganizma ürünlerinin uzaklaştırılması amaçlanmaktadır (6). Ayrıca irrigasyon solüsyonları köklerin karmaşık anatomiye sahip apikal üçlü bölgesinde dezenfeksiyonun sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Karmaşık veya oval kesitli anatomiye sahip kök kanallarının preparasyonları sırasında prepare edilememiş alanlar kaldığı ve kök kanallarının nekrotik pulpa artıklarından veya mikroorganizmalardan tam anlamıyla arındırılamadığı bildirilmiştir (7). Ayrıca preparasyon sırasında kök kanal duvarlarında dentin debris, nekrotik doku kalıntıları, mikroorganizmalar ve mikroorganizma artıklarından oluşan gevşek yapılı bir tabaka oluşur (8). Bu tabaka smear tabakası olarak adlandırılmakta ve ulaşım sağlanamayan bölgelerin tıkanmasına sebep olarak hem solüsyonların bu bölgelere etki etmesini engellemekte hem de solüsyonları nötralize ederek kök kanal dezenfeksiyonunun sağlanmasını zorlaştırmaktadır (9). Mikroorganizma ürünlerinin, artık pulpa dokularının ve smear tabakasının daha etkili bir biçimde ortadan kaldırılabilmesi amacıyla irrigasyon solüsyonlarını aktive eden yöntemlerin kullanımı gereklidir. Nekrotik artıkların giderilmesi, ulaşımı zor alanlara ulaşımın kolaylaşması

ve kök kanallarında kullanılan aletlere çalışma kolaylığı sağlanması irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonuna bağlıdır (10). İrrigasyon solüsyonlarının kök kanal boşluğunda daha fazla alana temasının sağlanabilmesi amacıyla birçok irrigasyon aktivasyon yöntemi geliştirilmiştir (11).

İrrigasyon solüsyonlarının aktive edilmesi sırasında solüsyonların ve debrisin kök kanal apikal daralımından geçerek periapikal dokulara ulaşması şiddetli ağrılara yol açabilmektedir (12, 13). Özellikle kök kanal tedavilerinde en sık kullanılan solüsyon olan sodyum hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) çözeltisinin kök kanallarından taşması periapikal dokularda sitotoksik etkilere sebep olduğundan şiddetli postoperatif ağrılar oluşturabilir. Ayrıca bu durum nekroz oluşumu, periapikal doku tahrişi ve çeşitli komplikasyonlara da yol açabilir (14). Kök kanalı apikalinden taşan solüsyon miktarı enstrümantasyon tekniğinden daha çok kullanılan irrigasyon aktivasyon yönteminden etkilenmektedir (15).

Çalışmamızda kök kanal tedavisi sırasında uygulanan farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, irrigasyon sırasında köklerin apikal daralımlarından periapikal dokulara taşabilen solüsyon miktarları üzerine etkisinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın sıfır hipotezi, farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin köklerin apikal daralımlarından irrigasyon solüsyonu taşmasına etkisi yönünden anlamlı fark bulunmadığıdır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kök Kanal Tedavisinin Amacı

Kök kanal tedavisinde temel amaç kök kanallarını nekrotik dokulardan, mikroorganizmalardan ve mikroorganizma yan ürünlerinden arındırarak enfeksiyon kontrolü sağlanmasının ardından kök kanal sistemini sızdırmaz bir şekilde doldurmaktır (16). Başarılı bir kök kanal tedavisi için kök kanallarının enfeksiyonunun giderilmesi, ilerleyen süreçlerde yeniden enfeksiyon oluşumunun önlenmesi, periapikal doku iyileşmesinin sağlanması ve semptomların kontrol altına alınması gerekmektedir (17).

### 2.2. Kök Kanal Tedavisinde Kemomekanik Preparasyon

Kök kanal tedavisinde başarı, doğru ve kesin bir tanı konulmasını takiben kök kanallarının kemomekanik yöntemlerle etkin bir şekilde temizlenip dezenfekte edilmesi ve son olarak mikrosızıntıya olanak vermeyecek şekilde sızdırmaz bir kök kanal dolgusu yapılması aşamalarının eksiksiz olarak uygulanmasına bağlıdır. Bu aşamaların hepsi kalıcı iyileşmenin sağlanması ve klinik başarının uzun vadede idamesi açısından kritik öneme sahiptir (18). Kök kanal tedavisinin en kritik basamakları mekanik preparasyon ve irrigasyon aşamalarıdır (19). Kemomekanik preparasyon boyunca organik ve inorganik kalıntıların uzaklaştırılması, kullanılan enstrümanların mekanik hareketleri ve irrigasyon solüsyonunun akış dinamiği sinerjisi ile elde edilir (20, 21). Kök kanallarının kemomekanik preparasyonu sırasında oluşan en önemli problemlerden biri enfekte materyalin kök kanallarından tamamen uzaklaştırılamamasıdır. Kök kanalları içerisinde kalan enfekte dentin dokusu kök kanal duvarlarında düzensizlik oluşturduğundan; organik, inorganik artıkların birikebileceği ve mikroorganizmaların çoğalabileceği uygun alanlar meydana getirmektedir. Böylesi bir durum mikrobiyal kolonilerin üremesine ve tedavi başarısının olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilir (2).

Kök kanallarının kemomekanik preparasyonu, kanal duvarlarındaki dentin dokusunun uzaklaştırılması yoluyla, kök kanal sistemi içerisinde gerçekleşen solüsyon hareketinin hidrodinamik etkilerini artırır. Böylece irrigasyon solüsyonları kanal duvarlarına ve dentin tübüllerine daha iyi penetrasyon gösterir. Irrigasyon solüsyonlarının kök kanal boşluğunda daha etkin bir biçimde dolaşması mikroorganizma sayısını önemli ölçüde azaltır ve bu sayede uzun dönem tedavi başarısı artar (22, 23).

Hülsmann ve ark. (18) tarafından tanımlanan mekanik preparasyonun temel ilkeleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kök kanal dolgusunun güvenilir ve etkin şekilde gerçekleştirilmesini kolaylaştırmak,
- Periapikal dokularda enfeksiyonun ilerleyişini ve doku tahrişini önlemek,
- Kök kanalları apikal üçlü bölgesi anatomisinin bütünlüğü ve konumunu korumak,
- Irrigasyon ve medikament uygulamaları için yeterli boşluk sağlamak,
- Kök kanal sisteminden nekrotik ve vital dokuları tamamen uzaklaştırmak,
- Kök dentini mekanik özelliklerinin korunmasını sağlayarak dişin uzun dönem fonksiyonunu güvence altına almak,
- Kök yapısı ve kök kanal sisteminde iatrojenik hataların oluşmasını engellemek.

Mekanik preparasyon, kök kanallarının etkin bir şekilde temizlenmesi ve dezenfeksiyonu için önemli bir basamak olmakla birlikte tek başına yeterli etkinlik sağlamaz. Bu prosedür, kök kanalları içerisindeki mikroorganizma yükünü önemli ölçüde azaltmasına rağmen tamamen elimine edemez. Uygun solüsyonlarla bol irrigasyon yapılmazsa kanal duvarlarında smear tabakası ve debris kalabilir. Bu sebeple mekanik preparasyon uygun kanal içi medikamentler ve irrigasyon solüsyonları ile desteklenerek tamamlanmalıdır. Preparasyonun uygulama tekniği ve preparasyonda kullanılacak enstrümanlar kök kanallarının anatomik özelliklerine göre seçilmelidir. Özellikle eğimli kanallarda nikel titanyum (Ni-Ti) eğelerin tercih edilmesi mekanik preparasyonun daha güvenli ve kolay gerçekleştirilmesine olanak verir (18).

### 2.3. Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyonun Önemi

Pulpal ve periradiküler enfeksiyonlar kök kanal tedavisinin birincil hedefidir. Periradiküler lezyonların patogenezinin mikroorganizmalarla ilişkisi göz önüne alındığında kök kanal tedavisinin başarısı bu mikroorganizmaların sayısının azalmasına veya yok edilmesine bağlıdır. Kemomekanik preparasyon kök kanal dezenfeksiyonunda birincil adım olarak düşünülmektedir (24).

Kök kanal sistemi ana kanalın yanı sıra isthmuslar, aksesuar kanallar ve apikal dallanmalar gibi çok sayıda anatomik yapıdan oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu anatomik oluşumlar boyunca mikroorganizmalar ve yan ürünleri kök kanallarının dentin duvarlarına ve tübüllerine tutunarak kolonize olurlar. Bu kolonizasyon biyofilm olarak adlandırılır (25). Mekanik preparasyon kök kanalının karmaşık anatomisi nedeniyle biyofilmin uzaklaştırılmasında yetersiz kalır. Kök kanallarının ulaşılabilen alanlarında kalan bakteriyel adezyon molekülleri, nekrotik dokular ve mikroorganizma proteinleri sayesinde mikroorganizmaların hayatta kalması için ideal bir ortam oluşur (26). Özellikle karmaşık yapılı veya oval şekilli kök kanallarının preparasyonu sırasında biyofilm tabakasına yeterince müdahale edilemeyebilir (7, 27).

Kanal içerisine medikament uygulaması yapılmış olsa dahi antibakteriyel irrigasyon solüsyonlarının kullanılmadığı durumlarda etkili bir antisepsi sağlanamayabilir (28). Kök kanal tedavisi sırasında irrigasyon solüsyonlarının kullanılması mikroorganizmaların büyük ölçüde uzaklaştırılmasına yardımcı olur (29). Mikroskopik inceleme veya kültürleme teknikleri ile gerçekleştirilen çalışmalarda farklı tedavi yöntemlerinin uygulanmasından sonra dahi kök kanallarında artık doku, debris ve bakterilerin kalabildiği gösterilmiştir (30-32).

Kök kanal tedavisi sırasında kanal aletlerinin dentin yüzeyine teması sonucu smear tabakası adı verilen bir tabaka oluşmaktadır. Smear tabakası dentin parçacıkları, pulpa dokusu kalıntıları gibi inorganik ve organik bileşenlerden oluşur (33). Preparasyon sırasında oluşan bu tabaka uzaklaştırılamadığı durumlarda, kök kanal duvarlarına tutunmuş biyofilmi koruyabilir ve tedavi sonrası mikroorganizmaların tekrar koloniler oluşturmaya zemin hazırlayabilir (34). Ayrıca bu tabakanın uzaklaştırılamaması kök kanal dolgu materyallerinin dentin yüzeyine bağlanmasını ve penetrasyonunu kısıtlayabilir. Bu da zaman içerisinde mikrosızıntıya sebep olarak tedavinin prognozunu olumsuz etkiler (35).

Kök kanal tedavisinde irrigasyon aşamasının; mikroorganizmalar ve nekrotik dokuların uzaklaştırılması, enfekte dentinin kanallardan çıkarılması ve periapikal dokulara itilmesinin önlenmesi gibi önemli katkıları bulunmaktadır (36).

#### **2.4. Kök Kanal İrrigasyon Solüsyonlarının Taşınması Gereken Nitelikler**

- Preparasyonun ulaşamadığı alanlardaki sert ve yumuşak doku artıklarını uzaklaştırabilmelidir.
- Smear tabakasına etki gösterebilmeli, bu sırada kök kanal duvarlarına zarar vermemelidir.
- Kök kanalları içerisindeki biyofilm tabakasını uzaklaştırmalı ve mikroorganizma kolonilerini elimine edebilmelidir.
- Kök kanallarında kullanımı sonrası etkisini kısa sürede kaybetmemeli, kolay nötralize olmamalıdır.
- Kök kanalları içerisinde kolonize olmuş mikroorganizmaların endotoksinlerini etkisiz hale getirebilmelidir.
- Kök kanallarında preparasyonu kolaylaştıracak şekilde kayganlaştırıcı özellik göstermelidir.
- Yüzey gerilimi düşük olmalı bu sayede ulaşılması güç alanlara daha rahat nüfuz edebilmelidir.
- Dokular üzerinde irritasyona sebep olmamalı, biyouyumlu olmalıdır.
- Saklama koşulları kolay olmalı, raf ömrü uzun olmalıdır.
- Kök kanal dolgu materyallerinin dentine bağlanmasını olumsuz etkilememelidir.
- Düşük maliyetli olmalıdır.
- Kokusu ve tadı rahatsız edici olmamalıdır (37).

## 2.5. Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan İrrigasyon Solüsyonları

Kök kanal tedavisinde kullanılan irrigasyon solüsyonları mekanik enstrümantasyonun etkisini artırarak kök kanal sisteminden debrisin ve mikroorganizmaların daha etkin bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar (38). Bu amaçlarla kullanılan irrigasyon solüsyonlarının bazıları dentin debrisi ve smear tabakasına etki ederek kök kanalını inorganik kalıntılardan arındırırken bazıları organik kalıntılar üzerinde etkilidir. Kök kanal irrigasyon protokolü oluşturulurken irrigasyon solüsyonlarının biyoyumluluğu, çözünürlük özellikleri, kanal içi etkinliği, kullanım sıklığı ve tercih edilme nedenleri göz önünde bulundurulmalıdır (36, 39).

### 2.5.1. Alkalen Solüsyonlar

#### Sodyum Hipoklorit

Sodyum hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ) kök kanal tedavisinde en sık kullanılan irrigasyon solüsyonudur. 1789 yılında Fransa'da üretilmiştir. Dakin solüsyonu adıyla hastane dezenfektanı olarak kullanılmıştır. Coolidge tarafından 1919 yılında kök kanal tedavisi irrigasyon solüsyonu olarak tanıtılmıştır (36, 40). Nekrotik ve enfekte pulpa gibi organik dokuları çözebilmesi, antimikrobiyal etkisi, yüzey geriliminin düşük olması, kolay elde edilebilmesi ve ucuz olması başlıca tercih sebepleridir (41).

Kök kanalı içerisinde mikroorganizma proteinlerini hidrolize ederek antimikrobiyal aktivite gösterir. Aynı zamanda oksidasyon etkisi de vardır. Hipertonik bir solüsyon olduğu için hücre içi sıvılara etki ederek mikroorganizma metabolizmasını bozar (42). Geniş spektrumlu bir antimikrobiyal etkisi bulunmaktadır. Antibakteriyel özelliğinin yanında sporlara, virüslere ve mantarlara karşı etkilidir. Stafilokok, enterokok ve kandida türleri gibi dirençli mikroorganizmalar üzerinde de antimikrobiyal aktivite gösterir. Mikroorganizma enzimleri ve hücre duvarı proteinlerinde sülfidril gruplarının ( $-\text{SH}$ ) oksidasyonunu sağlayarak mikroorganizmaların eliminasyonuna katkıda bulunur. (36, 43).

Çözeltide oluşan hipoklorit iyonları ( $\text{OCl}^-$ ) ve hipokloröz asit ( $\text{HOCl}$ ), mikroorganizma proteinlerinin amino grupları ( $-\text{NH}$ ) ile etkileşerek kloramin bileşimini oluşturur. Kloramin mikroorganizma metabolizmasını bozarak kök kanallarının dezenfeksiyonunda etkili olmaktadır. (43).

NaOCl solüsyonunun mikroorganizma organik bileşenlerine etkisi proteinler ve enzimlerle sınırlı olmayıp hücresel lipidler üzerinde de etkilidir. Oksidatif peroksidasyon yoluyla fosfolipidlerin degradasyonuna yol açar. Oluşan oksidatif stres mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerini bozar (43).

NaOCl solüsyonlarının yüksek pH değerlerine sahip olması, doku eritici özelliği ve antimikrobiyal aktivitesinde etkilidir. Solüsyonlar 11 ile 12.5 aralığında pH değerlerine sahiptir ve kök kanallarında kullanıldığında ortam bazik hale gelir. Bazik ortam koşulları mikroorganizmaların yaşam fonksiyonlarını bozar ve üreme faaliyetlerini durdurur. Ayrıca ortamda artan hidroksil iyonu ( $\text{OH}^-$ ) enzimler ve hücre proteinlerine bağlanarak mikroorganizma proteinlerinde denatürasyon oluşturur. Bu süreç, hayati öneme sahip mikroorganizma proteinlerinin de işlevlerini yitirmesine neden olarak mikroorganizmaların ölümüne sebep olur (44). Sulu çözeltisinde pH değerine bağlı olarak  $\text{HOCl}$  ve  $\text{OCl}^-$  arasında zayıf asit zayıf baz dengesi kurulur. Çözeltinin antimikrobiyal etkisi bu tampon tepkimesiyle doğrudan ilişkilidir. Çözeltinin pH'ı daha düşük olduğunda (yaklaşık 6-7)  $\text{HOCl}$  miktarı artar.  $\text{HOCl}$ 'nin nötr yapısı dolayısıyla hücre zarından geçişi nispeten daha kolay olduğundan antimikrobiyal etkisinin daha yüksek olduğu bilinmektedir. Ancak denge bu yöne kaydığında çözelti daha sitotoksik hale gelir. Çözelti pH'ı arttığında  $\text{OCl}^-$  miktarı artar. Görece antimikrobiyal etkinliği daha az olmakla birlikte daha az sitotoksik özellik gösterir. Dolayısıyla çözeltinin güvenilirliği pH değerine bağlı olduğundan bu dengeye dikkat edilerek kullanımı önerilmektedir (45).

Kök kanal tedavilerinde NaOCl solüsyonları genellikle %0,5 ile %6 konsantrasyon aralığında kullanılmaktadır. Daha az sıklıkla farklı konsantrasyonlarda kullanılabilir. Bazı çalışmalarda konsantrasyon arttıkça özellikle daha dirençli mikroorganizmalar olan *Candida albicans* (*C. albicans*) ve *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) üzerindeki antimikrobiyal etkinliğin arttığı bildirilmiştir (46, 47). Bazı çalışmalarda ise konsantrasyonun düşük olduğu durumlarda ( $\leq 1$ ) antimikrobiyal etki azalmakla birlikte orta ve yüksek konsantrasyonlarda (%2,5-%5,25) etkileri arasında anlamlı fark bulunmamıştır (38, 48). Düşük konsantrasyonların etki gösterebilmesi için daha uzun uygulama süreleri ve daha fazla miktarda solüsyon kullanımına ihtiyaç vardır. Kısacası tüm NaOCl konsantrasyonları kök kanalları içerisindeki mikrobiyal yükün azaltılmasında etkilidir (38, 49).

NaOCl solüsyonunun doku çözme etkinliğinin de konsantrasyonla bağlantılı olduğu bildirilmekle birlikte belirli bir düzeyin üzerinde kapasitesinin benzer olduğu belirtilmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda sitotoksik özelliğinin arttığı da düşünüldüğünde kullanılacak solüsyonun konsantrasyon aralığının dikkatli belirlenmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Düşük konsantrasyonlu solüsyon kullanımı tercih edilecekse uygulama sıklığı ve kullanılan solüsyon miktarı artırılarak kullanımı önerilmektedir (49).

Kök kanal tedavilerinde kullanılan diğer solüsyonlarla karşılaştırıldığında hem doku çözme özelliği hem de antimikrobiyal etkisi bulunan tek irrigasyon solüsyonu olma özelliği göstermektedir. NaOCl güçlü bir ajan olmakla birlikte isthmuslar ve aksesuar kanallar varlığında etkisi sınırlanmaktadır (36). NaOCl etkinliği tüm kimyasal antimikrobiyal ajanlarda olduğu üzere organik kalıntılar ve debris varlığında azalmaktadır. Bu sorunun önüne geçebilmek adına kullanılan solüsyon miktarı artırılabilir veya konsantrasyonu yüksek solüsyonlar tercih edilebilir (37).

NaOCl pH düzeyi yüksek bir ajan olduğundan kullanımı dikkat gerektirir ve yanlış kullanımı sonucu bazı komplikasyonlar oluşabilir. Kullanımı sırasında mikroorganizma proteinlerinin oksidasyonunu sağlayarak kök kanal dezenfeksiyonunda etkili olur. Ancak aynı mekanizma doku proteinleri üzerinde de etkili olacağından kök kanalları dışına taşması doku hasarına yol açabilmektedir. Sınırlı miktarlarda taşırıldığında periapikal dokularda solüsyonun seyrilmesi ve aktif iyonların tamponlanması ile etkisi ihmal edilebilir düzeylere düşmektedir.

Irrigasyon solüsyonu taşmasının en sık sebebi irrigasyon esnasında iğnenin sıkışması ile solüsyonun kök kanallarına basınçlı bir şekilde verilmesidir (37). NaOCl'nin kök kanal apikalinden periapikal dokulara taşması yumuşak dokularda hasara hatta nekroza sebep olabilir. Ayrıca şiddetli ağrı, apse, hemoraji ve hızlı gelişen ödem tablosu görülebilir (50). Periapikal dokulara taşan solüsyon miktarına bağlı olarak solunum yolları etkilenebilir, yüzde deformasyonlar gelişebilir, geçici veya kalıcı parestezi oluşabilir (51-53).

### **Sodyum Diklorizosiyanürat**

Sodyum dikloroizosiyanürat (NaDCC), NaOCl alternatifi oksitleyici bir irrigasyon ajanıdır. Tablet veya toz formunda piyasada bulunur. Suda çözündüğünde ilk olarak sodyum monokloroizosiyanürat ve HOCl molekülüne ayrışır. Sonraki basamakta ise

sodyum monoklorizosiyanürat su ile bir kez daha tepkimeye girerek sodyum siyanürat ve bir molekül daha HOCl oluşturur. NaDCC, NaOCl'ye göre tampon kapasitesi daha yüksek bir sulu çözelti oluşturur. Solüsyonun daha kontrollü salınım göstermesi ve pH dengesinin daha uzun süre korunması NaOCl'ye kıyasla avantajlı bir durum oluşturur (37). Tablet veya toz formunda saklandığından raf ömrünün görece daha uzun olması ve saklanma koşullarının daha kolay sağlanması açısından da avantajlıdır (54, 55).

NaOCl'ye benzer şekilde geniş bir spektrum gösterebilmektedir. *E. Faecalis* üzerinde de etkili olduğu bildirilmiştir. NaOCl'ye göre doku çözücü özelliği ise daha sınırlıdır. Bu sebeple tek başına kullanımı yerine farklı solüsyonlarla kombine kullanımı düşünülmelidir (55).

### **Kalsiyum Hidroksit**

Kalsiyum hidroksit, diş hekimliğinde kullanımı yaygın olan bir ajandır. pH düzeyi yüksek (~12.5) olduğundan kök kanalı içerisinde antimikrobiyal özellik gösterir. Bu yüksek pH sayesinde mikroorganizmaların hücre zarlarına etki eder ve sitoplazma metabolizmalarındaki aktif enzimatik reaksiyonlarını bozar. Ayrışan OH<sup>-</sup> iyonları hücre zarı fosfolipitlerinde peroksidasyona sebep olarak zar geçirgenliğini bozar. Mikroorganizma DNA yapısını bozarak replikasyonunu engeller böylece mikroorganizma çoğalmasının önüne geçer (56).

Kalsiyum hidroksitin antimikrobiyal etkisi bulunmakla birlikte dentin tübüllerine ve isthmuslara yayılımı yüksek yüzey gerilimi sebebiyle sınırlıdır. Ayrıca OH<sup>-</sup> iyonunun yavaş salınımına bağlı olarak mikroorganizmalar üzerinde etki gösterebilmesi temas süresine bağlıdır. Kısa süreli uygulamalar yeterli olmayıp genellikle 7 gün üzeri uygulamalar önerilmiştir (57). Yüksek pH sebebiyle kostik özellik gösterir ve nekrotik dokuları eriterek kök kanal dezenfeksiyonunu kolaylaştırır. Ancak nekrotik doku eritici özelliği bir irrigasyon solüsyonu olarak kullanılması için yeterli değildir (37).

Etki süresinin uzunluğu, kök kanallarında güzel bir yayılım gösterememesi ve doku eritici özelliğinin yeterli olmaması kök kanal irrigasyonu için kullanımı sırasında yeterli etkiyi gösterememesine sebebiyet vermektedir. Bu nedenle kalsiyum hidroksit rutinde kullanılan irrigasyon solüsyonları arasında bulunmamakla birlikte kök kanal tedavisinde en sık kullanılan medikamentler arasında yerini almaktadır (54, 56).

### 2.5.2. Asitler ve Şelasyon Ajanları

Kök kanal tedavisinin başarıya ulaşabilmesi için smear tabakası içeriğinde bulunan inorganik komponentin de uzaklaştırılması gerekmektedir. Smear tabakasının tamamı uzaklaştırılmazsa kök kanalı dolgusu dentine iyi penetrasyon gösteremez ve bu durum ilerleyen süreçlerde mikrosızıntıya yol açarak tedavinin başarısızlıkla sonuçlanmasına sebep olabilir (58). Şelasyon ajanları ve bazı asitler sayesinde kök kanallarındaki inorganik kalıntıların uzaklaştırılması sağlanabilir (58, 59).

#### Etilendiamin Tetraasetik Asit

Etilendiamin tetraasetik asit (EDTA), güçlü etkili bir şelasyon ajanıdır. Metal iyonları ile kompleks oluşturarak dentin yüzeyindeki inorganik bileşenlere etki gösterir. Kloroasetik asit ile etilendiaminin kombinasyonu yoluyla üretilmiş olup 1935 yılında Ferdinand Munz tarafından tanımlanmıştır (60). Disodyum tuzu formu kök kanal tedavilerinde en sık kullanılan ve çözünürlüğü en yüksek olan formudur. Kök kanallarındaki inorganik materyali çözmede kullanılır. Kök kanal dentininin kalsiyum iyonlarına ( $Ca^{+2}$ ) ve magnezyum iyonlarına ( $Mg^{2+}$ ) bağlanır ve dentin sertliğini azaltır (61). EDTA solüsyonu, klinisyenler tarafından kök kanalının preparasyonu esnasında rutin olarak kullanılır. Dentini demineralize ederek yumuşatır böylece kök kanal preparasyon işlemini kolaylaştırır ve smear tabakasının inorganik kısmının uzaklaştırılmasını sağlar (62).

Kök kanal tedavisinde %10 ile %17 aralığında konsantrasyonları kullanılabilir ancak genellikle nötr pH ve %17'lik konsantrasyonlu solüsyonlar tercih edilmektedir. Nötr pH tercih edildiğinde hidroksiapatit çözünürlüğü artarak  $Ca^{+2}$  serbestleşmesi kolaylaştığından EDTA'nın şelasyon etkisi daha güçlü olur (63). %17 konsantrasyonda ve nötr pH'a yakın bir solüsyon elde etmek için 100 ml distile suya 17 gr disodyum EDTA eklenir. Solüsyonun pH ayarlamasını yapmak amacıyla 9.25 ml 5 mol/litre sodyum hidroksit (NaOH) kullanılır (61, 64).

EDTA tek irrigasyon solüsyonu olarak kullanılırsa smear tabakasını etkin bir şekilde uzaklaştıramaz. Smear tabakasının organik bileşenlerini uzaklaştırmak amacıyla EDTA kullanımından önce NaOCl gibi bir doku eritici ajan kullanılmalıdır (36). Kök kanal duvarına EDTA solüsyonu uygulandığında 1 dakika veya daha kısa bir süre içerisinde smear tabakası uzaklaştırılabilir. Preparasyon sırasında EDTA'nın irrigasyon solüsyonu olarak etkisi sınırlıdır. Şelatlayıcı ajan zaman içerisinde

tükendiğinden dekalsifikasyon süreci kendini sınırlar. Kök kanalı içerisinde uygulama süresi yeterli olduğunda 50 µm kadar dekalsifikasyon yapabilir ve dar kanalları açarak preparasyonu kolaylaştırabilir. Karşılıklı iki kök kanal duvarında da aynı etkiyi gösterdiği düşünülürse toplam 100 µm dentin kaldırıldığı söylenebilir. Bu da yaklaşık 10 numaralı bir eğenin ucu kadardır (60).

1 dakikalık süreyle uygulanan EDTA solüsyonunun smear tabakasının uzaklaştırılmasında yeterli olduğu belirtilmiştir. Şelasyon ajanları  $Ca^{+2}$  ile etkileşime girerek dentin yüzeyinde demineralizasyon oluşturduğundan daha uzun süreli uygulamalar dentinin erozyonuna sebep olabilmektedir (63, 65). Bununla birlikte en iyi sonuçlar için 15 dakikalık uygulamaların gerekli olduğunu bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (66, 67).

EDTA'nın antimikrobiyal etkisi yok denecek kadar azdır (68). Minimal antibakteriyel etkisinin bakteri dış zarındaki katyonlarla şelat oluşturmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Tek başına kullanımı antimikrobiyal etki yönünden zayıf kalsa da NaOCl ile kombine kullanıldığında NaOCl'nin penetrasyonunu artırarak antimikrobiyal etkinliğini destekler (61). EDTA smear tabakasının yalnızca inorganik bileşenlerine etki gösterdiğinden birçok araştırmacı organik bileşenlerin de uzaklaştırılabilmesi amacıyla %0,5–5,25 konsantrasyon aralığındaki NaOCl solüsyonları ile kombine kullanılmasını önermiştir (69-73). EDTA'nın etkinliği NaOCl varlığında değişmemekle birlikte NaOCl'nin etkinliği EDTA varlığında azalır. Bu nedenle araştırmacılar her iki solüsyonun karıştırılmadan kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir (74).

Şelasyon etkilerini geliştirmek amacıyla farklı EDTA solüsyonları geliştirilmiştir. REDTA (Roth's EDTA), bir yüzey aktif madde olan setil trimetil amonyum bromür içeren %17'lik bir EDTA çözeltisidir. Smear tabakasını kaldırmada etkili bir ajan olarak deneysel araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (64, 69). EDTAC (ethylenediamine tetra-acetic acid plus cetavlon), EDTA ve katyonik özellikte bir deterjan olan cetavlonun karışımıdır. Cetavlon yüzey gerilimini azaltarak solüsyona antimikrobiyal özellikler kazandırır. Bu kombinasyon, hem smear tabakasını uzaklaştırmaya hem de mikrobiyal kontaminasyonu azaltmaya yardımcı olur (75). EDTA-T (tris-buffered EDTA), tris-buffer çözeltisi ile tamponlanmış EDTA'dır. %17'lik EDTA ve sodyum lauril eter sülfat (Tergentol) içerir. EDTA

solüsyonunun pH stabilitesini artırmak amacıyla üretilmiştir. Bu sayede solüsyonun dentin demineralizasyonu sırasında daha kontrollü ve daha etkili olabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Özellikle laboratuvar ortamlarında yapılan biyokimyasal deneylerde tercih edilir (61). EGTA (ethylene glycol-bis( $\beta$ -aminoethyl ether)-N,N,N',N'-tetraacetic acid), EDTA'ya göre  $\text{Ca}^{2+}$  seçiciliği daha yüksek bir şelatördür.  $\text{Mg}^{2+}$  iyonlarına kıyasla  $\text{Ca}^{2+}$  iyonlarına daha iyi bağlanır. EDTA kadar etkili smear kaldırma özelliği bulunmamaktadır (73). CDTA (trans-1,2-diaminocyclohexane-N,N,N',N'-tetraacetic acid), siklohekzan halkasına bağlı iki adet amin grubu ve dört adet asetik asit grubuna sahip olup EDTA'ya benzer bir şelatördür. Metal iyonlarına bağlanma gücü yüksek olduğundan dentinde yüksek miktarda eroziv etkisi vardır. Smear tabakasına etkisi yüksektir ancak biyoyumlu bir ajan olmaması ve yüksek eroziv etkisi sebebiyle kullanımı sınırlıdır. Salvizol, EDTA'nın ticari bir irrigasyon solüsyonu formudur. İçerine klorheksidin gibi ajanlar eklenerek EDTA'nın zayıf olan antimikrobiyal etkilerinin güçlendirilmesi hedeflenmiştir (61).

### **Etidronik Asit**

Etidronik asit yüzme havuzu dezenfeksiyonunda, kişisel bakım ürünleri ve temizlik malzemesi üretimi gibi farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilen bir bileşiktir. Sağlık alanında kullanılan formları Paget gibi kemik dokusuna etki eden yıkıcı hastalıkların tedavisinde kullanılır (76). Şelasyon özelliği göstermesi sebebiyle smear tabakasının ve debrisin uzaklaştırılması amacıyla kök kanal tedavilerinde de kullanımı mevcuttur. Tek başına kullanımında EDTA kadar güçlü etkili bulunmamıştır ve dentin üzerinde erozyon oluşturabilir, dentinin mikrokristal yapısında bozulmalara yol açabilir (77, 78).

HEBP (hidroksietilen bisfosfonat etidronik asit), NaOCl ile kombine kullanımı sırasında EDTA'nın aksine NaOCl'nin etkisini sınırlandırmayan bir etidronik asit bileşiğidir (36). HEBP, EDTA ve sitrik asit gibi şelatör ajanlardan farklı olarak NaOCl ile reaksiyona girerek antimikrobiyal etkisini bozmaz (79, 80). HEBP ve EDTA'nın smear tabakasını uzaklaştırma etkilerinin incelendiği bir çalışmada aralarında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamakla birlikte EDTA'nın HEBP'ye göre daha hızlı sonuç verdiği bildirilmiştir (81). Bir başka çalışmaya göre ise %3 NaOCl ile %9 HEBP ve %17 EDTA kombinasyonlarının karşılaştırmasında özellikle kökün apikal üçlüsünde HEBP kombinasyonu daha başarılı bulunmuştur (82).

### **Sitrik Asit**

Sitrik asit; kök kanal tedavilerinde %1-%10 konsantrasyon aralığında kullanılan, EDTA'ya alternatif bir şelasyon ajanıdır. EDTA ile kıyaslandığında daha agresif bir etki gösterir. NaOCl ile kombine kullanımı, NaOCl ve EDTA kombinasyonuna göre kök duvarında daha fazla erozyona sebep olur (83). EDTA ile benzer olarak NaOCl ile birlikte kullanımı sırasında serbest klor miktarını azaltarak, NaOCl'nin antimikrobiyal etkinliğini bozar (79). NaOCl ile karıştırıldığında ise klor gazı açığa çıkarır bu nedenle NaOCl ile kombine solüsyon kullanımı planlanıyorsa EDTA tercih edilmelidir (84).

### **Maleik Asit**

Maleik asit, özellikle kök kanalının apikal üçlüsünde, smear tabakasının etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlayan bir şelasyon maddesidir. Kök kanal tedavilerinde genellikle %7 konsantrasyonda kullanılır (85, 86). Organik doku çözme kapasitesi düşük olduğundan NaOCl gibi doku eritici bir ajan ile birlikte kullanımı gereklidir (87). Özellikle apikal üçlü bölgesinde EDTA'ya kıyasla dentin tübüllerine daha iyi nüfuz ederek kök kanal patının penetrasyonunu olumlu yönde etkiler (88). Düşük pH değeri (~1.05) sebebiyle dentinde aşırı demineralizasyon oluşturma riski bulunur ve periapikal dokularda sitotoksik etkiler gösterir (89).

### **Perasetik Asit**

Asetik asit ve hidrojen peroksit karışımı bir çözelti olan perasetik asit (PAA), kontamine yüzey ve ekipman dezenfeksiyonunda sıklıkla kullanılmaktadır. Virüs, mantar ve bakterilere karşı etkili olması aynı zamanda doku eritme özelliğinin bulunması sebebiyle kök kanal tedavilerinde kullanılabilir. Ancak dentin yüzeyinde yüksek eroziv etkisi sebebiyle kullanımı sınırlıdır (90).

### **2.5.3. Bisguanidler**

Bisguanidler güçlü antimikrobiyal etkileri sayesinde tıp ve diş hekimliği alanlarında yaygın olarak kullanılan, iki adet biguanid grubu içeren sentetik bileşiklerdir. Pozitif yüklü yapıdadırlar ve bu sayede bakterilerin hücre zarıyla etkileşime girerek hücre bütünlüğünü bozarlar (91).

### **Klorheksidin**

Klorheksidin (CHX) diş hekimliğinde sık kullanılan antiseptik bir bileşiktir. %0,1-%0,2'lik çözeltileri gargara olarak, %2'lik çözeltileri ise kök kanal irrigasyon solüsyonu olarak kullanılır (92). Konsantrasyona bağlı olarak bakteriyostatik veya bakterisid özellik gösterebilir. Geniş spektrumlu bir bileşik olup antiviral, antifungal ve antibakteriyel özellikler gösterir (93). Uzun süreli antimikrobiyal etkiye sahip olması, biyouyumluluğu, tadının ve kokusunun kötü olmaması sayesinde kök kanal tedavisi sırasında sıklıkla kullanılan bir irrigasyon solüsyonu olmuştur. Ayrıca kalsiyum hidroksit dirençli mikroorganizmalar üzerinde de etkili bulunmuştur (94). Matrix metalloproteinaz inhibisyonu sebebiyle, son yıkamanın CHX ile yapılması kanal patlarının dentine bağlantısını güçlendirir (95).

CHX konsantrasyonuna, temas süresine ve maruz kalan alanın büyüklüğüne bağlı olarak sitotoksik özellik gösterebilir. Doku teması halinde inflamatuvar yanıt oluşturabilir (96). Doku çözücü etkisi bulunmamaktadır ve kök kanallarında bulunan organik doku artıkları aktivitesini azaltır (97). Bu sebeple CHX kök kanalları irrigasyonunda tek başına kullanılmaz, genellikle son yıkama prosedürüne eklenir (36). NaOCl ile CHX karıştırıldığında turuncu renkli p-kloranilin (PCA) çökeltisi oluşur (98). PCA karsinojenik ve sitotoksik etkilere sahiptir. Aynı zamanda dentin tübülleri tıkararak kanal patının kök dentinine penetrasyonunu bozar. Tüm bu etkilerinden dolayı kök kanal tedavisi sırasında oluşumunun önlenmesi için gerekli önlemler alınmalıdır (99).

### **Aleksidin**

Aleksidin gram negatif ve gram pozitif bakteriler üzerinde etkili bisguanid yapıda olan bir bileşiktir (100). %2'lik konsantrasyona sahip aleksidin çözeltisinin kök kanal tedavisinde kullanımının *E. Faecalis* biyofilmi uzaklaştırılmasında CHX'e benzer etki gösterdiği bildirilmiştir (101). Lipopolisakkarit ve lipoteikoik asitlere bağlanma kapasitesi CHX'e göre daha yüksek bulunmuştur ve CHX'e kıyasla inflamatuvar yanıt oluşturma ihtimali daha düşüktür (102). Aleksidin rutin kullanımda CHX'e alternatif olabilir ancak sitotoksik özelliklerinin değerlendirilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (101).

### **Oktenidin Dihidroklorid**

Oktenidin dihidroklorid ağız gargaralarında, yara ve yanık tedavisinde kullanılan antiseptik bir bileşiktir (103). Oktenidin dihidroklorid etkisi bakımından CHX'e benzer özelliktedir ancak yapısal olarak bisguanid değil bispiridin yapıdadır. Guanid grubu içermemesine rağmen bisguanidlere benzer biçimde etki gösterdiğinden yaygın olarak bisguanid sınıfı içinde değerlendirilir (104). Geniş spektrumlu antimikrobiyal etkiye sahiptir. Düşük sitotoksik özellikte olması ve hızlı bir şekilde etki göstermesi avantajlarıdır. Organik doku çözme yeteneği bulunmadığından nekrotik pulpanın uzaklaştırılmasında yetersiz kalır. Kök kanal tedavisinde kullanımı sırasında gereken konsantrasyon değeri ve uygulama süresi henüz belli olmadığından irrigasyon solüsyonu olarak kullanımı için bilimsel araştırmalara ihtiyaç vardır (105).

#### **2.5.4. Yüzey Aktif Ajanlar**

İrrigasyon solüsyonlarının yüzey gerilimleri arttıkça kök kanalları içerisinde yayılım göstermeleri güçleşmektedir. Solüsyonların dentin tübüllerine ve yan kanallara daha iyi nüfuz edebilmeleri için yüzey gerilimleri düşük olmalıdır. Bu amaçla irrigasyon solüsyonlarının içerisinde yüzey aktif maddeler (deterjanlar) eklenebilmektedir (106).

### **MTAD**

MTAD doksisisiklin, sitrik asit ve deterjan (Tween-80) karışımı olan bir irrigasyon solüsyonudur. İçeriğindeki doksisisiklin sayesinde antimikrobiyal etkinliği bulunmaktadır. Doksisisiklin dentin yüzeyine bağlanarak uzun süreli etki gösterir. Sitrik asit içeriği sayesinde smear tabakasını uzaklaştırmada etkilidir. MTAD, EDTA'ya kıyasla dentin yüzeyinde daha az eroziv özellik gösterir. Tween-80 eklenmesi yüzey gerilimini düşürerek solüsyonun dentin yüzeyinde yayılımını kolaylaştırır (107).

MTAD organik dokuya etki edemeyip yalnızca smear tabakayı hedef alır. Bu sebeple tek başına irrigasyon solüsyonu olarak yeterli değildir tamamlayıcı solüsyon olarak kullanılabilir (108). Dentin yüzeyine bağlanan doksisisiklin NaOCl ile oksitlenerek kırmızımsı mor bir renk oluşturur. Ayrıca NaOCl ile MTAD sarı renkli bir çökelti oluşturmaktadır (109).

### **Tetraclean**

Tetraclean MTAD içeriğine benzer şekilde doksisisiklin, sitrik asit ve deterjan (polipropilen glikol) karışımı bir solüsyondur ancak tetraclean içeriğindeki doksisisiklin konsantrasyonu MTAD solüsyonundan daha düşüktür. Giardino ve ark. (110) yaptıkları çalışmada tetraclean solüsyonunu MTAD solüsyonuna kıyasla biyofilm tabakasına karşı daha etkili bulmuştur. Ancak bu etkiyi gösterebilmesi için 60 dakikalık bir uygulama gerekmiştir. Tetraclean solüsyonunun smear tabakasına etkili olduğu ancak Qmix veya NaOCl kadar etkili olmadığı belirtilmiştir (110, 111).

### **QMix**

QMix %17 EDTA, %2 CHX ve deterjan karışımından oluşan kullanıma hazır formda bir irrigasyon solüsyonudur. Qmix içeriği sayesinde hem organik hem inorganik artıklara karşı etkilidir. Yüksek antimikrobiyal etkiye sahiptir ve smear tabakasını uzaklaştırmada da etkilidir (112, 113). EDTA ve CHX solüsyonlarının karıştırılması sonucu beyaz bir çökelti oluşmakla birlikte QMix solüsyonu içeriğinde bu çökeltinin oluşumu engellenmiştir. NaOCl ve CHX arasında da PCA çökeltisi oluşmakta iken QMix ve NaOCl arasında böyle bir etkileşim olmamaktadır (112).

## **2.5.5. Oksidan Solüsyonlar**

### **Hidrojen Peroksit**

Hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) kök kanal tedavilerinde kullanılan ve antimikrobiyal özellik gösteren bir irrigasyon solüsyonudur. İki hidrojen ve iki oksijen molekülünden oluşmakta, etkileşime girdiği atomlara oksijen moleküllerinden birini kolaylıkla aktarabilmektedir. Bu etkileşime oksidasyon reaksiyonu denir. Oksidasyon gerçekleştiğinde ortamın oksijen düzeyi arttığından ortamdaki anaerobik bakterilerin miktarında azalma olur. Antibakteriyel, antifungal, antiviral etkilidir (114). Serbest radikaller oluşturarak hücre zarındaki lipidlere ve DNA yapısına hasar vererek etkisini gösterir (115). Ani gaz çıkışı riskinden dolayı dokuya sızması tehlikeli olabilir bu sebeple dikkatli kullanılmalıdır (116). Doku çözme etkisi yoktur, tek başına etkili değildir ancak tamamlayıcı irrigasyon solüsyonu olarak kullanılabilir (117).

### 2.5.6. Diğer Solüsyonlar

#### Serum Fizyolojik

Serum Fizyolojik (salin) solüsyonu %0.9'luk sodyum klorür (NaCl) çözeltisi olup hücre içi sıvılarla izotonik özellikte bir irrigasyon solüsyonudur. Antibakteriyel etkisi bulunmayıp yalnızca mekanik etki göstererek kök kanal temizliği sağlayabilir. Herhangi bir kimyasal reaksiyon potansiyeli bulunmadığından iki irrigasyon solüsyonu arasında kullanılabilir. Bu şekilde kullanımı kimyasal reaksiyon ve çökelti oluşumlarının önüne geçer (118).

#### Distile Su

Kök kanallarında kullanılan irrigasyon solüsyonları arasında ara irrigasyon solüsyonu olarak kullanılabilir. Solüsyonlar arası oluşabilecek kimyasal reaksiyonların önüne geçerek yan ürünlerin oluşmasını engeller (119). Antimikrobiyal etkisi bulunmamakla birlikte hipotonik bir çözelti olduğundan hücre duvarı olmayan bakterileri parçalayabilir. Ancak kök kanallarındaki bakterilerin çoğu hücre duvarına sahip bakterilerdir bu sebeple kök kanallarında dezenfeksiyon etkisi sınırlıdır (120, 121).

### 2.6. Kök Kanal Tedavisinde Komplikasyonlar

Komplikasyon, hekimin deneyim ve bilgi eksikliği olmaksızın standart tedaviyi doğru teşhis ve tedavi ile gerçekleştirmesine rağmen; engellenemeyen, öngörülemeyen, hekimin yanlış uygulamalarından kaynaklanmayan ve olumsuz sonuç doğuran durumları ifade etmektedir (122). Kök kanal tedavileri esnasında çeşitli komplikasyonlar gelişebilmektedir.

#### 2.6.1. Kök Kanal Tedavisi Esnasında Gelişebilen Komplikasyonlar

Anestezi esnasında gelişebilecek hata ve komplikasyonlara; trismus, anafilaksi, enjeksiyon bölgesinde ağrı, hematoma ve toksisite gibi bazı durumlar örnek gösterilebilir. Lokal anestezi sırasında oluşabilecek komplikasyonlar işlem sırasında veya sonrasında ortaya çıkabilir. Doz ayarlaması yapılması ve uygun tekniğin seçilmesi ile bu komplikasyonların önüne geçmek mümkün olabilmektedir (123).

Giriş kavitesi açılması esnasında oluşabilecek hata ve komplikasyonlar arasında; dişte aşırı madde kaybı, marjinal tüberkülün dentin desteğini kaybetmesi, perforasyon oluşumu, kanal girişlerinin bulunamaması, pulpa artıklarının temizlenememesi gibi durumlar sayılabilir (124).

Kök kanal preparasyonu esnasında oluşabilecek hata ve komplikasyonlara; alet kırılması, perforasyon, kanal tıkanması ve basamak oluşumu gibi durumlar örnek gösterilebilir. Kök kanal preparasyonu tedavi başarısında belirleyici bir aşamadır ve bu aşamadaki başarısızlıklar ilerleyen dönemde flare-up gibi komplikasyonlara yol açabilir (125, 126).

Kök kanallarının irrigasyon aşamasında; dokularda irritasyon, nekroz oluşumu, yanma ve morarma gibi komplikasyonlarla karşılaşılabilir (127). Ayrıca solüsyonların etkileşimi ile oluşan çökeltiler de hem irritan özellikte olabilir hem de kök kanallarını tıkayarak tedavi başarısızlığına sebep olabilir. NaOCl ve CHX solüsyonlarının karışımıyla PCA, EDTA ve CHX solüsyonlarının karışımıyla beyaz renkli tuz çökeltisi oluşur (128).

Kök kanallarının doldurulması sırasında, kanal dolumunun kök ucundan kısa ya da taşkın olması ve kanal dolumunun kontamine olması oluşabilecek komplikasyonlara örnek olarak gösterilebilir. Mandibular kanal ile ilişkili kanallarda kanal patının mandibular kanal içerisine taşması uyuşukluk ve ağrı durumlarına yol açabilir (129). Kanal dolumu aşamasında tercih edilen dolum yöntemine bağlı olarak kök yüzeyinde aşırı ısı artışı görülebilir ve bu artış dolayısıyla periodontal dokular etkilenebilir (130).

### **2.6.2. Kök Kanal Tedavisi Sonrasında Gelişebilen Komplikasyonlar**

Kök kanal tedavilerinde flare-up, endodontik tedavi sırasında veya sonrasında ağrı ve şişlik ile karakterize bir tablonun gelişmesidir (131). Ölümcül durumlara dahi sebebiyet verebilen mikroorganizmaların, özellikle streptokokların, etkili olduğu akut alevlenmeler de görülebilmektedir (132). Alevlenme vakaları genellikle kök kanal tedavi prosedürleri sırasında irrigasyon solüsyonu, mikroorganizma ve debris taşması sonucu sekonder akut periapikal inflamasyon oluşması ile ortaya çıkar (133).

### **Kök Kanal Tedavisinde İrrigasyon Solüsyonu Taşması**

Kök kanal tedavilerinde kullanılan irrigasyon solüsyonlarının ve debrisin periapikal dokulara taşması bölgenin irritasyonuna yol açar. Bu durum işlem sonrası şiddetli ağrılarla karakterize bir tablo oluşturabilir (12, 13).

Kök kanal enstrümantasyonu sırasında bir miktar debris taşmasının kaçınılmaz olduğu görüşü hakimdir ve bu durumu tamamen önleyebilecek bir yöntem henüz geliştirilememiştir (13). Kök kanal tedavisi sırasında periapikal yapıların bütünlüğünü bozabilecek ve periapikal dokuda irritasyona sebep olabilecek başka durumlar da vardır. Bunlar arasında kök kanal dolgu materyallerinin, kanal içi medikamentlerin veya kök kanal aletlerinin apikal daralım ötesinde kullanılması sayılabilir. Ayrıca nekrotik pulpa dokusu, mikroorganizmalar veya irrigasyon solüsyonları da kök kanal tedavisi esnasında periapikal dokulara ulaşabilir (134). Enfekte olmayan doku kalıntıları çevre dokulara basınçla itilirse bağışıklık sistemini uyararak apikal bölgede inflamatuvar bir reaksiyon oluşturabilir (13).

Kök kanal irrigasyonu sırasında en yaygın kullanılan solüsyon olan NaOCl, antimikrobiyal özellikleri ve doku çözme yeteneği sayesinde organik materyallerin, pulpa kalıntılarının ve debrisin ortadan kaldırılmasında etkilidir (135). Bununla birlikte NaOCl'nin güçlü sitotoksik özellikleri nedeniyle kök kanalı dışına taşması periapikal dokularda şiddetli ağrılara ve çeşitli komplikasyonlara neden olabilir (14). NaOCl'nin periapikal dokuya taşması süngerimsi kemik dokuda yapısal bozulmalara ve şiddetli yumuşak doku nekrozuna yol açabilir (14, 136). Bütün bu sitotoksik özelliklerine rağmen kök kanal tedavisi protokollerinden çıkarılması klinik uygulama için uygun değildir (137).

Smear tabakasının uzaklaştırılması, dentin yüzeylerinin dezenfeksiyonu, preparasyonun daha etkili bir şekilde yapılabilmesi amaçlarıyla şelasyon ajanları kullanılır. En sık kullanılan şelasyon ajanı olan EDTA, kök kanallarında kayganlaştırıcı bir özellik göstererek preparasyonun kolaylaşmasını sağlar (39, 58). EDTA biyolojik olarak parçalanması mümkün olmayan bir yapıya sahip olduğundan taşması sonucu periapikal dokularda hasara yol açabilmektedir. Bu sebeple uygulama esnasında apikal daralımdan taşmasının önlenmesi önemli hale gelmektedir (138).

Kök kanal dolgu materyallerinin, kanal içi medikamentlerin veya irrigasyon solüsyonlarının çevre dokulara taşması; yabancı cisim reaksiyonu nedeniyle iyileşmenin gecikmesi ya da tedavinin başarısızlığına yol açabilir (139). Tedavinin komplikasyon riskini en aza indirmek ve tedavi başarısını artırmak amacıyla ideal irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin araştırılması devam etmektedir (140).

## **2.7. Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri**

### **2.7.1 Manuel İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri**

#### **Geleneksel İğne ile İrrigasyon Aktivasyonu**

Geleneksel iğne ile irrigasyon aktivasyonu, kök kanal tedavileri sırasında diş hekimleri tarafından en sık tercih edilen irrigasyon aktivasyon yöntemidir. Bu yöntemde irrigasyon solüsyonu iğne veya kanüllerle kök kanallarına iletilir. İrrigasyon iğnesi kök kanal duvarlarına sıkıştırılmadan apikal foramenin 1-2 mm koronalinde konumlandırılır. Solüsyon kök kanalına yavaşça verilirken iğne koronal-apikal yönde hareketlendirilir (141). Bu yöntemin uygulanması sırasında irrigasyon solüsyonunun hacmi ve iğnenin penetrasyon derinliği kontrol edilebilir ancak solüsyonun akış hızının kontrol edilmesi güçtür (142).

Geleneksel iğne ile irrigasyon (Gİİ) yönteminin kullanılması sırasında iğne ucu kök apikalinden uzakta konumlandırılırsa irrigasyon solüsyonu kök kanallarının apikal üçlü bölgesinde yeterli etkinliği gösteremez. Özellikle yetersiz preparasyon yapılmış veya dar kanallı dişlerde iğne derinliği yeterli değilse bu bölgeye irrigasyon solüsyonunun ulaşması mümkün değildir (143). İğne boyutu küçüldükçe iğne daha apikalde konumlandırılabilceğinden irrigasyon solüsyonu apikal üçlü bölgesinde daha etkili olur (144). Aynı zamanda kök kanalı apikalinde debris birikiminin önüne geçmek için de çapı küçük iğne ile aralıklı bir şekilde irrigasyon yapılmalıdır (145). Tüm bu sebeplerden dolayı günümüzde nispeten daha büyük boyutlu 23 G (Gauge), 25 G irrigasyon iğneleri yerine 27 G, 30 G veya 31 G irrigasyon iğneleri tercih edilmektedir (146).

Geleneksel yöntemin uygulanmasında farklı uç tasarımlarına sahip iğne çeşitleri de kullanılmaktadır (141). İğne uç tasarımı solüsyonun kanal içerisindeki akış hızı ve akış yönünü belirler. Bu da solüsyonun etkinliği, güvenliği gibi parametreleri etkiler (147). Kapalı uç dizaynına sahip lateral delikli iğneler irrigasyon solüsyonunun

hidrodinamik etkisinin artırılmasını ve kök kanalı içerisinde daha kolay dağılmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Kapalı uç dizaynına sahip iğneler açık uçlu iğnelere göre kök kanallarının apikal üçlü bölgesinde daha etkili olabilmektedir (141). Kök kanalı apikal üçlü bölgesine doğru yüksek hızlı bir akım oluşturduğundan açık uçlu dizayna sahip iğneler çalışma boyundan 2-3 mm koronalde konumlandırılmalıdır.

Kapalı uçlu iğneler ise irrigasyon solüsyonunu apikal bölgeye doğru değil kök kanal duvarlarına doğru yönlendirdiğinden çalışma boyundan 1 mm koronalde pozisyonlandırılabilir (148).

### **Manuel Dinamik İrrigasyon**

Manuel dinamik aktivasyon kök kanalına verilen solüsyonun, özellikle kök kanallarının apikal üçlü bölgesinde, etkinliğini artırmak için kullanılan bir irrigasyon aktivasyon yöntemidir. Kök kanalına uyumlu guta-perka kök kanalında 2-3 mm koronal-apikal yönde hareketlendirilerek irrigasyon solüsyonuna hidrodinamik etki kazandırılır. Yapılan bu pompalama hareketi irrigasyon solüsyonunun kanal içindeki sirkülasyonunu artırır. Hekimler tarafından kolay uygulanabilen ve maliyeti düşük bir yöntemdir. Özellikle eğimli kanallarda etkili ve güvenli aktivasyon sağlar (149).

### **Endodontik Fırçalar**

Kök kanal tedavilerinde irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonunu ve kök kanal duvarlarında biriken debrisin uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla fırçalı sistemler geliştirilmiştir. NaviTip FX (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT) bu amaçla geliştirilen fırçalı sistemlerden biridir. Yüzeyi fırça ile kaplı 30 G bir irrigasyon iğnesidir. NaviTip FX irrigasyon iğnesi, özellikle kök kanallarının koronal üçlü bölgesinde, debrisi etkili bir şekilde uzaklaştırabilmektedir (150). Fırça kılları radyolüsent özellikte olduğundan işlem sırasında koptuğunda tespiti mümkün olamamaktadır. Bu da NaviTip FX irrigasyon iğnelerinin en önemli dezavantajıdır (151).

Bir diğer sistem bükülmüş tel üzerinde naylon liflerin bulunduğu spiral bir fırça olan EndoBrush (C&S Microinstrument Ltd, Markham, Ontario, Kanada) fırçalı sistemidir. Sabit bir çapa sahip olan EndoBrush kök kanalında çalışma boyuna yerleştirilir ve 1 dakika boyunca 90 derecelik rotasyonla 2-3 mm koronal-apikal yönde hareketlendirilerek kullanılır. Fırça kılları sayesinde tam prepare edilememiş bölgeler

ve isthmus benzeri ulaşımı güç alanlar, debristen ve smear tabakasından arındırılabilir. Ancak fırçanın sabit bir çapa sahip olması, kök kanallarının bazı bölümlerinde sıkışarak çalışma boyuna kadar ilerletilememesine yol açabilmektedir. Bu da kök kanalının apikal bölümünde debrisin birikmesine sebep olabilir (152).

### **2.7.2. Mekanik İrrigasyon Aktivasyon Yöntemleri**

#### **Döner Başlıklı Sistemlerin Kullanıldığı İrrigasyon Aktivasyonu**

Kök kanallarından debrisin ve smear tabakasının uzaklaştırılması, irrigasyon solüsyonlarının aktivasyonu amaçlarıyla kullanılan ve döner başlıklara adapte edilebilen fırçalı sistemler üretilmiştir. Kök kanallarına yerleştirilip çalıştırıldığında spiral fırça kılları debris artıklarının apikal bölümden koronale doğru taşınmasını sağlar. Fırçalı sistemler kök kanalı dentininde geleneksel döner aletlerin yetersiz kaldığı ulaşılması güç alanlara daha rahat ulaşım sağlayarak mekanik temizliği sağlar (140).

Kök kanal preparasyonu ile eş zamanlı irrigasyon aktivasyonu yapan sistemler de vardır. Bunlardan bir tanesi olan Quantec-E irrigasyon sistemi (SybronEndo, Orange, CA), kök kanal preparasyonu ile eş zamanlı olarak sürekli irrigasyon yapmayı amaçlayan ve döner başlıkla çalışan bir sistemdir. Üretiminde kök kanalı içerisinde kullanılan irrigasyon solüsyonunun miktarı ve temas süresinin artırılması böylelikle kök kanallarında daha homojen ve etkili bir dezenfeksiyonun sağlanması hedeflenmiştir (140). Sistem sayesinde kök kanal preparasyonu sırasında irrigasyon solüsyonu otomatik olarak verilebilmektedir. Kök kanalı apikalinden 5 mm koronale yerleştirildiğinde geleneksel yöntemlere göre daha fazla irrigasyon solüsyonu sirkülasyonu sağlandığı öne sürülmektedir. Quantec-E irrigasyon aktivasyon sisteminin, kök kanallarının koronal üçlü bölgesi haricinde, geleneksel yöntemlerden anlamlı ölçüde etkili bulunmadığı bildirilmiştir (153).

Kök kanallarında preparasyonla eş zamanlı irrigasyon yapan bir diğer sistem self adjusting file (SAF; ReDent, Raanana, İsrail) sistemidir. SAF, nikel titanyum alaşımından yapılmış içi boş kafes yapılı bir eğe sistemidir. Çalışması sırasında kök kanalına sıkışarak orijinal boyutlarına dönmeye çalışırken kök kanal duvarlarından aşındırma yapar. Kök kanalları oval kesitli olsa dahi esnek yapısı sayesinde kök kanal duvarlarına adapte olabilir ve preparasyonun temas yüzeyini artırır (154). İçi boş kafes

yapısı sayesinde işlem süresince kök kanallarına irrigasyon solüsyonu verilebilmektedir. Solüsyon, preparasyon esnasında döner başlığa adapte edilmiş silikon bir tüp aracılığı ile kök kanallarına verilir. Sonrasında kafes duvarlarından geçerek kök kanal duvarlarına ulaşır ve koronal yönde ilerleyerek kanal ağzından dışarı akar (155). Kök kanallarına uyguladığı basınç zamanla azaldığından preparasyonun etkinliği de zamanla azalmaktadır. Bu durum özellikle geniş kök kanalına sahip dişlerde sistemin bir dezavantajı olarak düşünülebilir. Ayrıca içi boş kafes tasarımı sistemin mekanik zayıflığını da beraberinde getirmektedir (154).

Preparasyon sonrası döner başlıklara adapte edilebilen sistemlerin kullanıldığı bazı sistemler de üretilmiştir. XP-Endo Finisher (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) egesi bu amaçla üretilen MaxWire (MaxWire; Martensit-Austenit Elektropolış Flex, FKG Dentaire) alaşımından yapılmış, 25 apikal çapa sahip konik olmayan, 21 mm uzunlukta bir döner egedir. İrrigasyon solüsyonlarını aktifleştirerek kök kanal dezenfeksiyonunu sağlarken kök kanal dentinini koruduğundan tamamlayıcı bir yöntem olarak düşünülebilir. Aynı zamanda kök kanallarından medikamentlerin ve kök kanal dolgu materyallerinin uzaklaştırılması için de kullanılabilir (156, 157).

XP-Endo Finisher ege özel MaxWire alaşımı sayesinde sıcaklıkla şeklini değiştirebilmektedir. Oda sıcaklığında (25 °C) martensitik fazda bulunur ve düz bir şekildedir. Kullanımı sırasında vücut sıcaklığına (37 °C) yaklaşıncaya östenitik faza geçerek egeğin 10 mm apikal kısmı 1,5 mm derinliğinde bir orak biçimini alır. Üretici firma önerilerine göre 800-1000 rpm hızda ve 1 Ncm torkla 1 dakika boyunca uygulandığında, kök kanalı duvarında ulaşılamayan alanlara ulaşım sağlayarak etkili bir temizlik sağlarken kök kanalı dentinine zarar vermez (156, 157).

Kök kanal preparasyonu sonrası irrigasyon solüsyonlarını aktive etmeyi ve debrisin uzaklaştırmayı amaçlayan XP-Clean, bir diğer bitirme egesidir. Bu sistem, irrigasyon solüsyonlarını aktive ederek etkinliğini artırırken kök kanalı duvarlarında mekanik etki göstererek mikroorganizma ve dentin artıklarının uzaklaştırılmasını sağlar. XP-Endo Finisher egeye kıyasla yorgunluk direnci daha düşüktür ve yüzey pürüzlülüğü daha yüksektir (157).

### **Ardışık Düzenli Basınç Prensibine Dayalı İrrigasyon Aktivasyonu**

Kök kanal sistemi içerisinde debrisin ve smear tabakasının etkili bir şekilde uzaklaştırılabilmesi amacıyla irrigasyon solüsyonları kullanılır. Bu solüsyonların

geleneksel yöntemler ile kullanımı sırasında, özellikle kök kanallarının apikal üçlü bölgesinde, hava boşlukları oluşabilmekte ve bu durum solüsyonların etkisini sınırlandırabilmektedir. Kök kanallarının apikal üçlü bölgesinde etkili bir irrigasyon sağlanması amacıyla iğne apikal foramene yakın konumlandırılırsa solüsyonun periapikal dokulara taşması gibi komplikasyonlarla karşılaşılabilir (140). Bu sorunu çözebilmek adına ardışık düzenli basınç oluşturarak irrigasyon aktivasyonu yapan sistemler geliştirilmiştir. Bunlar; EndoVac (Discus Dental, Kaliforniya, ABD), RinsEndo (Duerr-Dental, Bittigheim-Bissingen, Almanya), EndoSafe (VPro; Vista Dental, Racine, WI) ve iVac (Pac-dent, Brea, CA, ABD) sistemleridir.

EndoVac, kök kanalı apikalinde negatif bir basınç alanı oluşturarak irrigasyon solüsyonlarını kök kanallarının apikal üçlü bölgesine iletmeyi amaçlayan bir irrigasyon aktivasyon sistemidir. Irrigasyon solüsyonu bir ana dağıtıcı uç kullanılarak kanal ağzından kök kanal sistemine iletilir. Yüksek vakum gücüne sahip mikrokanül kök kanalı apikaline doğru yerleştirilir bu sayede irrigasyon solüsyonunun hava boşluğu oluşturmada ilerletilmesi sağlanır. Irrigasyon solüsyonunun kök kanalı apikalinde vakumlanarak uzaklaştırılması solüsyonların periapikal dokulara ulaşmasını ve bu bölgelerde komplikasyonlara sebep olmasını engeller (120, 158, 159).

Makrokanül veya mikrokanül, bir ana dağıtıcı uca ve diş ünitesine bağlı yüksek vakum gücüne sahip bir aspiratöre bağlanan bir tüp aracılığıyla çalışır. Makrokanül 0,55 mm çapa ve 0,02 konikliğe sahip plastik bir kanüldür ve kök kanalının koronal bölümünde konumlandırılarak bu bölümün kaba temizliğinde kullanılır. Mikrokanül ise 0,32 mm çapa sahip kapalı uçlu paslanmaz çelik bir kanüldür. Kapalı ucuna yakın lazerle açılmış 12 deliğe sahiptir. Kanül, titanyumdan üretilmiş bir parmak tutucuyla kök kanal apikal bölümüne ilerletilerek verilen solüsyonun bu bölüme doğru düzenli bir akış göstermesini sağlar (140, 160).

RinsEndo basınç-emme prensibiyle çalışan ve irrigasyon solüsyonunun bulunduğu bir enjektör, 7 mm açıklığa sahip bir kanül ve bir el aksamından oluşan irrigasyon aktivasyon sistemidir. Diş ünitesine bağlı hava kompresörü ile irrigasyon solüsyonunu dakikada 6,2 ml olacak şekilde 1,6 Hz frekansla kök kanallarına gönderilir. Eş zamanlı olarak kullanılmış solüsyon kök kanallarından dışarı çekilir. Tüm bu döngü bir dakikada 100 kez tekrar edecek şekilde ayarlanmıştır (161).

EndoSafe esnek ve açık uçlu 30 G bir iğne ucu ve aspiratörden oluşan bir irrigasyon aktivasyon sistemidir. İrrigasyon solüsyonu kök kanalına iletilirken aynı anda kanaldan tahliye edilir. Böylelikle solüsyonun kök apikaline rahat iletilmesi sağlanmaya çalışılır aynı zamanda sistemin kullanılması apikal foramenden solüsyon taşmasının önlenmesine katkıda bulunur (162). iVac ise polimer yapılı kanül ve piezoelektrik ultrasonik el aletinden oluşan negatif basınçlı bir irrigasyon aktivasyon sistemidir. Kanül esnek yapıda tasarlandığından eğimli kanallarda rahatlıkla kullanılabilir ve tıkanma riski düşüktür (120).

### **Sonik Sistemler ile İrrigasyon Aktivasyonu**

İrrigasyon solüsyonlarının akış ve türbülans gibi hidrodinamik etkilerinin kök kanal dezenfeksiyonu üzerinde önemli olduğu ortaya konduktan sonra kök kanalında solüsyonun hareketliliği üzerinde çalışmalar ve araştırmalar hız kazanmıştır. Bu amaçla ortaya çıkan sistemlerden biri de akustik enerji kaynaklı titreşimlerin kaynak olarak kullanıldığı sonik sistemlerdir. Kök kanallarında kullanılabilecek sonik sistemler ilk kez 1985 yılında piyasaya sürülmüştür. Bu sistemler kök kanalında bulunan solüsyona 1-6 kHz frekans aralığına sahip akustik enerji iletimi sağlayarak güçlü bir hidrodinamik etki oluşturur (163).

EndoAktivatör (EA; Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK) farklı boyutlarda polimer uçlarla kök kanal içerisindeki irrigasyon solüsyonuna akustik enerji iletimi yaparak smear tabakası ve biyofilmi uzaklaştırmaya yarayan sonik bir irrigasyon aktivasyon cihazıdır (164). Tek kullanımlık olarak üretilmiş polimer uçları sırasıyla sarı (15/0.02), kırmızı (25/0.04) ve mavi (35/0.04) renk kodlarına sahiptir. Esnek ve pürüzsüz yapıları sayesinde dentine zarar vermeden solüsyonu aktive ettiğinden güvenli bir biçimde kullanılabilir. (140). Pille çalışan taşınabilir başlığı dakikada 2.000 ile 10.000 arasında değişen titreşimler üretir. Üretici firma tarafından, kök kanal preparasyonu ardından endodontik iğne ile irrigasyon yapılması ve daha sonra sistemin kullanılması önerilmektedir. İrrigasyon solüsyonu kök kanalına verilir ve pasif uyum gösteren polimer uçlarla 30-60 saniye aktive edilir. Sistem çalışırken 2-3 mm genlikte koronal-apikal yönde hareketlendirme yapılması irrigasyon solüsyonlarının hidrodinamik etkisini artırarak daha etkili bir kök kanal dezenfeksiyonu sağlar (165).

Vibringe Sistemi (Vibringe B.V. Corp, Amsterdam, Hollanda) irrigasyon solüsyonu kök kanalına verilirken akustik enerji iletimi sayesinde manuel ve sonik yöntemlerin kombine kullanılabildiği bir sistemdir. Bu sistem her türlü irrigasyon iğnesi ile uyumlu özel tasarım bir enjektöre sahiptir ve bu enjektör irrigasyon solüsyonunu pulsatif ve sürekli bir biçimde kök kanalına iletir. Özel tasarım enjektörü 10 ml hazneye sahip olup ultrasonik sistemlere göre daha düşük frekansta (2-3 kHz) çalışır (166).

EDDY (VDW, Münih, Almanya) kök kanalları içerisinde bulunan irrigasyon solüsyonlarını üç boyutlu sonik titreşimlerle aktive ederek ulaşımı zor alanlarda dezenfeksiyon sağlamaya yarayan bir irrigasyon aktivasyon sistemidir. 0,25 mm apikal çapa ve %4 konikliğe sahip olan 28 mm uzunluğundaki poliamid esnek ucu kök kanal morfolojisine uyum sağlayarak perforasyon ve basamak oluşumu gibi komplikasyonların oluşmasını engeller. 5000 ile 6000 Hz frekans aralığında çalışan EDDY, sonik irrigasyon aktivasyon sistemleri içerisinde en yüksek frekans değerine sahip sistemdir. Bu sebeple sonik sistemler arasında debris ve smear uzaklaştırma etkinliği açısından en etkili olan sistemdir (167, 168). Akustik enerjinin kök kanallarındaki irrigasyon solüsyonlarına iletimi prensibiyle çalışan EDDY sistemi esnek poliamid ucu sayesinde ultrasonik sistemlerin sunduğu avantajları sağlarken ultrasonik sistemlerin kök kanal dentini üzerinde oluşturduğu olumsuz etkileri göstermez. Aynı zamanda kalsiyum hidroksitin kök kanallarına uygulanması ve kanallardan uzaklaştırılması işlemlerinde de kullanılabilmektedir (169).

### **Ultrasonik Sistemler ile İrrigasyon Aktivasyonu**

Ultrasonik cihazlar uzun zamandır diş hekimliği alanında kullanılmaktadır. 1957 yılında kök kanal tedavisi sırasında ilk kez Richman tarafından ultrason teknolojisi kullanılmıştır. Endodontide ultrasonik cihazlar tıkalı kanalların açılması, kök kanallarındaki kırık enstrümanların uzaklaştırılması, pulpa taşlarının çıkarılması, retrograd kavite preparasyonu, kök kanal dolgu materyallerinin yerleştirilmesi gibi birçok amaçla kullanılabilmektedir (140). Kök kanal tedavisinde en yaygın kullanılan irrigasyon aktivasyon yöntemlerinden biri olan ultrasonik sistemler, kök kanalındaki irrigasyon solüsyonuna 25-30 kHz frekans aralığında ultrasonik enerji ileten ve kavitasyon etkisi oluşturarak etkinlik gösteren sistemlerdir (170). Ultrasonik enerjinin çözeltiye uygulanması lokalize bir basınç düşüşüne sebep olur ve küçük gaz

kabarcıkları oluşturur. Uygulama devam ettikçe kabarcıklar büyüyerek kararsız hale geçerek patlar. Patlamalar sonucu oluşan şok dalgası yüksek hızlı bir şekilde yayılarak kanal içi düzensizliklerde ve ulaşımı zor alanlarda dezenfeksiyon etkisi gösterir (171). Literatürde geçen iki ultrasonik aktivasyon çeşidi bulunmaktadır.

Ultrasonik enstrümantasyon (UI) kök kanal preparasyonu ve irrigasyon solüsyonunun ultrasonik aktivasyonunun birlikte uygulandığı bir yöntemdir. UI uygulaması sırasında kullanılan ultrasonik ucun kök kanalındaki hareketini kontrol etmek zordur. Bu sebeple sistemin kök kanal duvarlarında düzensiz kavitasyonlar ve perforasyonlar oluşturma riski bulunur. Uygulama zorluğu ve işlemin komplikasyon riskini artırması sistemin rutin kullanımını sınırlandırmıştır (18).

Pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) ince bir uç aracılığıyla kök kanallarındaki irrigasyon solüsyonuna ultrasonik enerjinin iletildiği kök kanal dentininden madde kaldırmaksızın yalnızca aktivasyon yapan bir sistemdir. Ultrasonik uç çalışma boyuna yaklaştırılarak kullanılırken sık aralıklarla solüsyon yenilenir. Ultrasonik enerjiyi ileten bu ucun ince ve kırılgan yapıda olması sebebiyle bu yöntem kullanılırken kanalda sıkışmamasına özen gösterilir. Ayrıca kırılmaya yatkın oluşu sebebiyle eğimli kanallarda kullanımı sınırlıdır (172). PUI; kök kanallarının irrigasyonu esnasında isthmus bölgeleri, lateral kanallar gibi mekanik olarak ulaşılması güç alanlarda dezenfeksiyon sağlarken smear tabakası ve debrisin uzaklaştırılmasında rol oynar. UI ile kıyaslandığında kök kanallarından debrisi ve smear tabakasını daha etkili bir şekilde uzaklaştırır (171).

### **Lazer ile İrrigasyon Aktivasyonu**

Lazerler (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – LASER), uyarılmış radyasyon emisyonu yoluyla ışığın güçlendirilmesi prensibiyle çalışan ve birçok alanda kullanılan teknolojilerdir. Diş hekimliği alanında da birçok farklı işlemde kullanılmaktadır. İlk olarak yumuşak doku cerrahilerinde kullanılmaya başlanmış olup zamanla periodontal, restoratif, cerrahi işlemler için de yaygın kullanım alanı bulmuştur. Endodontide lazer kullanımına yönelik ilk girişim, *in vitro* koşullarda karbondioksit (CO<sub>2</sub>) lazer ile açık apeksli dişlerde apikal tıkanıklık oluşturulması amacıyla gerçekleştirilmiştir (173). Lazerler kök kanal tedavilerinde kök kanallarının preparasyonu, debrisin ve smear tabakasının uzaklaştırılması, mikroorganizma eliminasyonu, vital pulpa tedavileri, apikal cerrahi ve irrigasyon

solüsyonlarının aktivasyonu gibi farklı amaçlarla kullanılabilir. Lazerin klinikte geniş kullanım alanı bulması lazerin bakterisidal etki gösterebilme, smear tabakasına etki edebilme ve kök kanal morfolojisine zarar vermeden temizlik sağlayabilme potansiyelinden kaynaklanmaktadır (173, 174).

Lazer ışınlarının doku teması sonucu yansıma, kırılma, absorpsiyon ve difüzyon gibi fiziksel durumlar meydana gelir. Lazer enerjisi etkisini iletildiği dokuda termal, mekanik ve fotokimyasal tepkimeler oluşturması yoluyla gösterir. Dokunun absorbe ettiği enerji miktarı arttıkça doku sıcaklığı da artar, bu durum hücre membranında bozulmalara ve protein denatürasyonuna sebep olarak mikroorganizmaları yok eder. Lazer kullanımı sert doku üzerinde de mikroskopik düzeyde morfolojik değişimlere sebep olur bu da dentin tübüllerinin üzerinin açılması, yüzey pürüzlendirilmesi gibi amaçlarla da kullanımını sağlar. Yüksek enerjili lazerler derin dentin tübüllerindeki mikroorganizmalar üzerinde de etkili olur (175).

Nd:YAG (Neodymium-doped Yttrium Aluminum Garnet) lazerler, 1064 nm dalga boyuna sahip kızılötesi ışık yayan kristal lazerlerdir. Endodontide ilk kez 1970'li yılların başlarında kullanılmıştır. Yüksek pigmentasyon gösteren dokularda daha yüksek absorpsiyon özelliği gösterir. Derin dentin tübüllerine nüfuz ederek bu bölgelerde etkili dezenfeksiyon sağlar (173).

Er:YAG (Erbium-doped Yttrium Aluminum Garnet) lazerler, su ve hidroksiapatit tarafından yüksek miktarda absorbe edilen 2940 nm dalga boyuna sahip kızılötesi ışık yayar. Bu sayede çürük doku, dentin ve mine üzerinde küçük ablasyon alanları oluşturan mikro patlamalar gerçekleştirir. Diş hekimliğinde çürüğün uzaklaştırılması ve kavite preparasyonu gibi uygulamalarda kullanılabilir (176). Er:YAG lazerler aynı zamanda kök kanalına uygulanan irrigasyon solüsyonlarının akustik şok dalgaları ile aktive edilmesini sağlayarak dezenfeksiyon etkisi gösterebilmektedir (177). Kök kanalına uygulandığında ısı artışı ve akustik şok dalgaları etkisiyle irrigasyon solüsyonunda buhar kabarcıkları oluşturur. Bu kabarcıklar kök kanalı içerisindeki irrigasyon solüsyonunu hızlı bir şekilde ileri-geri yönde iter ve solüsyonu hareketlendirerek aktive eder (178).

Foton Kaynaklı Fotoakustik Akım (PIPS) ve Geliştirilmiş Emisyon Fotoakustik Akım (SWEEPS) sistemleri irrigasyon aktivasyon için geliştirilmiş özel Er:YAG lazer sistemleridir. PIPS, Er:YAG lazerinin kısa atımlarıyla irrigasyon

solüsyonu içinde buhar kabarcıkları oluşturarak kök kanalında şok dalgaları ve türbülanslı akış meydana getirir. Bu durum dentin duvarlarına karşı yüksek kesme gerilimleri oluşturur ve solüsyonun dezenfeksiyon etkisini artırır. SWEEPS ise PIPS'in geliştirilmiş bir versiyonudur. Bu sistemde iki ultra kısa lazer mikropulsu arasında belirli bir gecikme uygulanır ve bu sayede oluşan kabarcıkların çöküşü hızlandırılarak daha güçlü şok dalgaları ve daha etkili dezenfeksiyon sağlanır (179).

### **GentleWave Sistemi (Sonendo Inc, Laguna Hills, CA) ile İrrigasyon Aktivasyonu**

GentleWave ilk olarak 2014 yılında Haapasalo ve ark. (180) tarafından multisonik ultra temizleme sistemi olarak tanıtılan, bir ana ünite ve el aksamından oluşan yeni bir sistemdir. Multisonik enerji prensibiyle çalışan GentleWave, irrigasyon solüsyonunu yüksek hızda ve kontrollü şekilde kök kanal sistemine yönlendirerek kompleks anatomik yapılar içerisindeki debris ve artık dokuların uzaklaştırılmasında etki gösterir. Bu sayede kanal duvarlarına doğrudan temas etmeyen minimal invaziv bir yaklaşım sergilenir. GentleWave sisteminin en belirgin avantajları arasında geleneksel irrigasyon yöntemlerine göre çok daha yüksek dezenfeksiyon etkisi ve doku çözme kapasitesi yer almaktadır. Ayrıca sistemin uygulanması sırasında el aksamı ucunun doğrudan kök kanal girişlerine yerleştirilmesi gerekmez, pulpa odasında konumlandırılması yeterlidir (181).

### **2.8. Kök Kanal İrrigasyonu Sırasında Taşan Solüsyon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler**

Kök kanal tedavileri sırasında kökün apikal daralımından taşan materyalin toplanması ve ölçülmesi amacıyla kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar arasında en yaygın kullanılan yöntem Myers ve Montgomery tarafından geliştirilen sistemdir (182). Bu yöntemde dış uygun boyutlu cam bir kabın kauçuk kapağına sabitlenir. İç ve dış basıncın dengelenmesini sağlamak amacıyla kauçuk kapağa 25 G enjektör iğnesi yerleştirilir. Kurulan düzenek kök kanal preparasyonu öncesi ve sonrası hassas terazi ile tartılarak aradaki fark bulunur. Ölçüm sonucu değerlendirilerek kök kanalından taşan materyal miktarı nicel olarak hesaplanabilir. Aynı zamanda taşan sıvı hacmini ölçmek amacıyla cam kap içerisine 0,5 ml aralıklara sahip başka bir rehber kap yerleştirilir. Bu yöntemle hem taşan debris miktarı hem de solüsyon miktarı

değerlendirilebilir. Deney düzeneğinin kurulumu basit ve ucuzdur. Bu sebeple Myers ve Montgomery düzeneği, irrigasyon solüsyonu ve debris taşmasının değerlendirildiği çalışmalarda sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (13).

Tanalp ve ark. (13) kurdukları deney düzeneğinde Myers ve Montgomery sistemine oldukça benzer bir yöntem kullanmışlardır. Düzenekte cam kap yerine eppendorf tüpü tercih edilmiştir, bu şekilde Myers ve Montgomery yöntemi modifiye edilerek daha pratik bir deney düzeneği oluşturulmuştur.

Hachmeister ve ark. (183) periapikal doku direncinin simüle edilmesi gerektiğini bildirmişler ve periapikal doku direncini taklit etmesi amacıyla kök ucuna çiçek aranjman süngerini adapte edilmesini önermişlerdir. Ancak Altundaşar ve ark. (184) periapikal dokuyu simüle etmek için çiçek aranjman süngerini kullanımının taşan irrigasyon solüsyonunun ve debrisin bir kısmını emerek verilerde yanlışlık oluşturabileceğini bildirmişlerdir.

Mitchell ve ark. (185) kök apeksinden taşan NaOCl miktarını değerlendirmek amacıyla dişleri pH duyarlı bir agaröz jel içerisine yerleştirmişlerdir. Agaröz jel içeriğinde bulunan m-Kresol moru (m-Cresol purple) NaOCl ile reaksiyona girerek renk değişimi göstermektedir. Bir pH indikatörü olan m-Kresol bileşiği, çözelti bazikleştikçe mor renk alır. Çalışmada oluşan renk değişimi dijital kamera ile fotoğraflanmış, Adobe Photoshop CS3 (Adobe Systems, San Jose, CA) yazılımı ile piksel cinsinden değerlendirilmiştir.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışması Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı tarafından 22.02.2024 tarihli 2024-02/29 karar numarası ile onaylandı.

#### 3.1. Örneklem Büyüklüğü Hesaplanması

$F$  (etki büyüklüğü) = 0.40,  $\alpha$  = 0.05,  $P(1-\beta)$  = 0.80 olarak alındığında toplamda 90 diş ve 6 deney grubu için çalışmanın gücü ( $P$ ) 0,8225458 olarak bulundu.

#### 3.2. Örneklerin Hazırlanması

Bu çalışmada, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Hastalıkları Cerrahisi Anabilim Dalında; ortodontik, periodontal veya protetik sebeplerle çekilmiş 90 adet tek köklü ve tek kanallı mandibular küçük azı diş kullanıldı. Çalışmada kullanılan dişlerin seçiminde;

1. Dişlerin tek kök ve tek kanallı olması,
2. Kök yüzeyinde kırık, çatlak veya çürük olmaması; çürük varsa standardize edilen boya ulaşmamış olması,
3. Önceden kök kanal tedavisi yapılmamış olması,
4. Kök kanalının kalsifikasyon, yabancı cisim ve benzer bir nedenle tıkalı olmaması,
5. Kökte iç veya dış rezorpsiyon olmaması,
6. Dişlerin kök gelişimini tamamlamış olması,
7. Köklerin apikal bütünlüklerinin bozulmamış olması,
8. Köklerde veya kök kanallarında varyasyonların bulunmaması gibi kriterlere dikkat edildi.

Bu radyografik ve klinik kriterlere uymayan dişler çalışma dışı bırakıldı.

Çalışmada kullanılacak dişlerin tek kök tek kanala sahip olduğunun tespiti amacıyla 2 farklı açıdan radyografi alındı. Kök kanal sayısının birden fazla olduğu ve kök kanal varyasyonlarının bulunduğu tespit edilen dişler çalışmadan çıkarıldı. Toplam 90 adet diş, kök yüzeyinde bulunan bütün debris ve doku artıklarının temizlenmesi için 48 saat %3'lik NaOCl (Coltene/Whaledent GmbH, Langenau, Germany) solüsyonunun içinde bekletildi. Dişler daha sonra akan duru su altında yıkandı. Bir periodontal küret (#1-2 Gracey, Nordent, ABD) yardımıyla kök yüzeyi

üzerindeki doku artıklarının temizlenmesi sonrası elmas separe kullanılarak su soğutması altında dişlerin kronları uzaklaştırıldı (Şekil 3.1). Kök boyları 14 mm olacak şekilde standardize edilerek hazırlanan dişler kullanılacağı zamana kadar distile suda bekletildi.



**Şekil 3.1.** Dişlerin kronları uzaklaştırıldıktan sonraki görüntüsü

### **3.3. Kök Kanal Preparasyonu**

Dişlerin apikal açıklığı 10 numaralı K tipi bir eğe ile kontrol edildi. Çalışma boyunun belirlenmesi için 10 numaralı K tipi eğe, ucu kök ucunda görünecek şekilde kök kanalına yerleştirildi. Daha sonra, çalışma boyu bu seviyeden 1 mm daha kısa olacak şekilde ayarlandı. Dişlerin kök kanal preparasyonu, belirlenen çalışma boyunda ProTaper Next Ni-Ti döner eğe sistemi (Şekil 3.2; Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanılarak yapıldı. Kök kanal preparasyon işlemi, tek bir operatör tarafından X-Smart Plus (Şekil 3.2; Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) endodontik motoru kullanılarak gerçekleştirildi. Enstrümanlar; üretici firma önerilerine uygun olarak 2 Ncm tork ve 300 rpm hız ayarında, sırasıyla X1 (17/0.04), X2 (25/0.06) ve X3 (30/0.07) dizisi şeklinde kullanıldı.



**Şekil 3.2.** Çalışmamızda kullanılan ProTaper Next Ni-Ti döner ege sistemi ve X-Smart Plus endodontik motor

Preparasyon esnasında her ege değişiminde %2,5'lik 2 ml NaOCl (Şekil 3.3; Saver®, Prime Dental Products PVT Ltd., Maharashtra, Hindistan) ile irrigasyon yapıldı. Ayrıca her ege değişiminde 10 numaralı bir K tipi ege ile apikal açıklık kontrol edildi. Hazırlanan dişlerin smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla kök kanallarına 1 dk süreyle sırasıyla 5 ml %5 NaOCl ve 5 ml %17 EDTA (Şekil 3.3; IMICRYL, Konya, Türkiye) ile irrigasyon uygulandı. Bütün irrigasyon prosedürleri 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi (RaitO, Hong Kong, China) kullanılarak 2 ml/30 sn hızla uygulandı. Kök kanalları kâğıt konlarla (Diadent, Güney Kore) kurularak dişlerin hazırlık aşaması tamamlandı.



**Şekil 3.3.** Çalışmamızda kullanılan irrigasyon solüsyonları

### 3.4. Deney Düzenekinin Hazırlanması

Bu çalışmada, Myers ve Montgomery (182) tarafından tanımlanan deneysel model temel alınarak bir deney düzenekği oluşturuldu. Bu deney düzenekği kullanılarak, irrigasyon solüsyonlarının kök kanalı apikal daralımından taşma miktarları değerlendirildi. Çalışma düzenekğinin hazırlanması için, rastgele numaralandırılmış 90 adet eppendorf tüpünün (LP Italiana SPA, Milano, İtalya) kapağına, dışın mine-sement hizasının çapına uygun delikler açıldı. Kesilmiş diş kökleri manuel basınç uygulanarak eppendorf tüplerinin kapaklarına yerleştirildi. Tüp içinde ve dışında basınç farkı oluşmasını önlemek amacıyla, düzenek içerisine 21 G enjektör iğnesi yerleştirildi. Ayrıca, irrigasyon solüsyonu sızıntısını engellemek için diş kökü, iğne ve kapak arasındaki tüm boşluklar siyanoakrilat yapıştırıcı (Pattex Hızlı Yapıştırıcı, Türk Henkel, İstanbul, Türkiye) ile sızdırmaz hale getirildi. Çalışma süresince deney düzenekğinin dik ve sabit kalmasını sağlamak amacıyla eppendorf tüpleri, aynı numaralandırılmış cam flakonların kauçuk kapaklarına adapte edildi ve siyanoakrilat yapıştırıcı kullanılarak sabitliğı sağlandı (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çalışmamızda oluşturulan deney düzenekği

### 3.5. Deney Gruplarının Oluşturulması

Düzeneklere yerleştirilen dişler, her deney grubunda 15'er diş olacak şekilde farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin uygulanacağı 6 ana gruba ayrıldı (Tablo 3.1). Deney gruplarına ayrılacak dişlerin belirlenmesinde web tabanlı bir yazılım ([www.randomizer.org](http://www.randomizer.org)) kullanıldı.

**Tablo 3.1.** Çalışmamızda oluşturulan deney grupları

|          |                                                  |
|----------|--------------------------------------------------|
| Grup I   | Geleneksel İğne ile İrrigasyon Aktivasyonu (Gİİ) |
| Grup II  | EDDY İrrigasyon Aktivasyonu                      |
| Grup III | XP-Endo Finisher İrrigasyon Aktivasyonu          |
| Grup IV  | Pasif Ultrasonik İrrigasyon Aktivasyonu (PUI)    |
| Grup V   | EndoVac İrrigasyon Aktivasyonu                   |
| Grup VI  | Er:YAG Lazer İrrigasyon Aktivasyonu              |

### 3.6. Deney Gruplarına Yapılan İşlemler

Çalışmamızda 37 °C'lik vücut sıcaklığını taklit ederek ideal deneysel koşulların sağlanması amacıyla sıcak su banyosu (Şekil 3.5; Nüve BM 402, Belçika) kullanıldı. Numuneleri içeren cam flakonlar bu su banyosuna yerleştirildi. Deney düzeneğinin sıcak su banyosu içerisinde istenmeyen hareketlerini önlemek ve işlemler sırasında görüş alanını sınırlamak amacıyla düzenekler uygun bir örtüyle sabitlenerek izole edildi (Şekil 3.6). Deney düzeneklerinin hedef sıcaklık olan 37 °C'ye ulaşmasını sağlamak amacıyla düzenekler sıcak su banyosunda bekletildi. Ayrıca deneyde kullanılacak olan distile su ve NaOCl solüsyonları da işlem öncesinde 37 °C'ye gelinceye kadar sıcak su banyosu içerisinde bekletilerek kullanıma hazır hale getirildi. Tüm deney gruplarında irrigasyon aktivasyon protokolü çalışma sıcaklığında standardizasyon gözetilerek 37 °C'lik sıcak su banyosu içerisinde gerçekleştirildi.

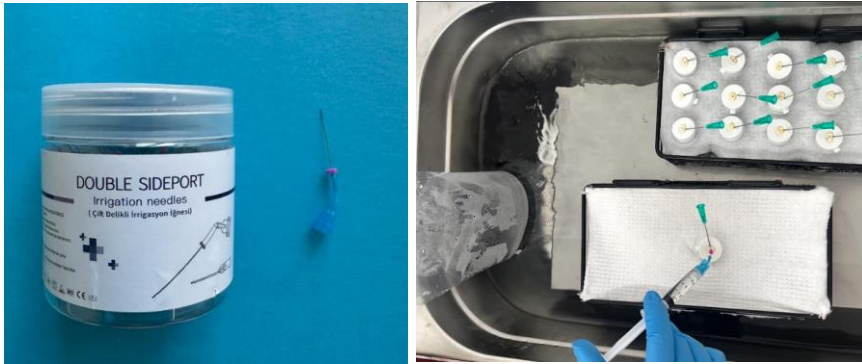
**Şekil 3.5.** Çalışmamızda kullanılan sıcak su banyosu



**Şekil 3.6.** Sıcak su banyosuna yerleştirilip sabitlenen düzenekler

### 3.6.1. Grup I: Geleneksel İğne ile İrrigasyon (Gİİ) (n=15)

İrrigasyon işlemi için 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi (Şekil 3.7) çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi. Sıcak su banyosunda 37 °C'ye getirilmiş 2 ml NaOCl solüsyonu, yaklaşık 2-3 mm ileri-geri hareketlerle uygulanarak 30 saniye boyunca irrigasyon gerçekleştirildi (Şekil 3.7). Bu işlemi takiben 30 saniye bir bekleme süresi uygulandı. Söz konusu döngü üç kez tekrarlandı. Böylece her bir örnek için toplam uygulama süresi 3 dakika, irrigasyon aktivasyon süresi ise 1,5 dakika olacak şekilde irrigate edildi. Son olarak 2 ml distile su ile 30 sn irrigasyon yapılarak protokol tamamlandı.



**Şekil 3.7.** Çalışmamızda kullanılan yandan delikli irrigasyon iğnesi ve uygulanış şekli

### 3.6.2. Grup II: EDDY İrrigasyon Aktivasyonu (n=15)

İrrigasyon işlemi için 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi. Sıcak su banyosunda 37 °C'ye getirilmiş

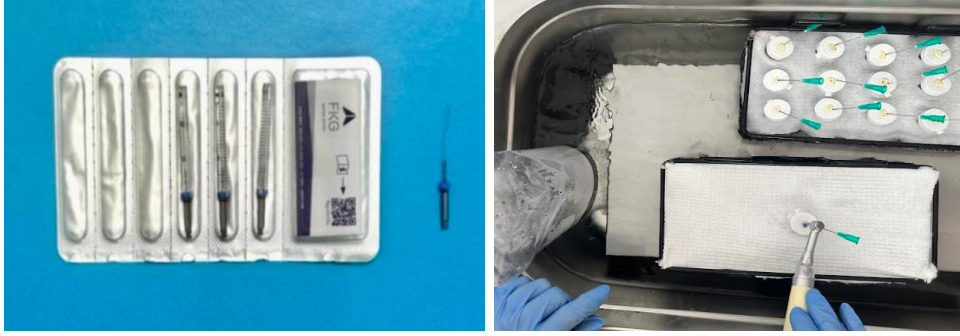
2 ml NaOCl solüsyonu, kanal içerisine 30 saniye boyunca pasif olarak verildi. Sonrasında 25/0.04 boyutunda EDDY poliamid ucu (Şekil 3.8; VDW, Münih, Almanya) üretici talimatları doğrultusunda çalışma boyundan 1 mm geride olacak şekilde yerleştirilip 6000 Hz frekans ayarında 5 mm ileri-geri hareketlerle 30 saniye aktive edildi (Şekil 3.8). Söz konusu döngü üç kez tekrarlandı. Böylece her bir örnek için toplam uygulama süresi 3 dakika, irrigasyon aktivasyon süresi ise 1,5 dakika olacak şekilde irrigate edildi. Son olarak 2 ml distile su ile 30 sn irrigasyon yapılarak protokol tamamlandı.



**Şekil 3.8.** Çalışmamızda kullanılan EDDY cihazı ve uygulanış şekli

### 3.6.3. Grup III: XP-Endo Finisher İrrigasyon Aktivasyonu (n=15)

İrrigasyon işlemi için 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi. Sıcak su banyosunda 37 °C'ye getirilmiş 2 ml NaOCl solüsyonu, kanal içerisine 30 saniye boyunca pasif olarak verildi. Sonrasında ISO 25 numaralı apikal çapa ve %0 konikliğe sahip XP-Endo Finisher eğesi (Şekil 3.9; FKG Dentaire; La Chaux-de-Fonds, İsviçre) döner modda çalıştırılmadan kanala yerleştirildi. Ardından; üretici talimatları doğrultusunda 800 rpm hız, 1 Ncm tork ayarıyla ve çalışma boyuna kadar 7-8 mm'lik yavaş ve nazik uzunlamasına hareketlerle 30 saniye aktive edildi (Şekil 3.9). Söz konusu döngü üç kez tekrarlandı. Böylece her bir örnek için toplam uygulama süresi 3 dakika, irrigasyon aktivasyon süresi ise 1,5 dakika olacak şekilde irrigate edildi. Son olarak 2 ml distile su ile 30 sn irrigasyon yapılarak protokol tamamlandı.



**Şekil 3.9.** Çalışmamızda kullanılan XP-Endo Finisher eğesi ve uygulanış şekli

#### **3.6.4. Grup IV: Pasif Ultrasonik İrrigasyon Aktivasyonu (PUI) (n=15)**

İrrigasyon işlemi için 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi. Sıcak su banyosunda 37 °C'ye getirilmiş 2 ml NaOCl solüsyonu, kanal içerisine 30 saniye boyunca pasif olarak verildi. Sonrasında ultrasonik cihazın 25/0.02 boyutundaki ucu (Şekil 3.10; Ultra X, Eighteenth, Changzhou, Çin) çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanallarına yerleştirildi ve üretici talimatları doğrultusunda 2-3 mm ileri-geri hareketlerle 30 saniye boyunca aktive edildi (Şekil 3.10). Aktivasyon sırasında ultrasonik dalgaların sönümlenmemesi için kanal duvarlarına temastan kaçınıldı. Söz konusu döngü üç kez tekrarlandı. Böylece her bir örnek için toplam uygulama süresi 3 dakika, irrigasyon aktivasyon süresi ise 1,5 dakika olacak şekilde irrigate edildi. Son olarak 2 ml distile su ile 30 sn irrigasyon yapılarak protokol tamamlandı.



**Şekil 3.10.** Çalışmamızda kullanılan PUI cihazı ve uygulanış şekli

### 3.6.5. Grup V: EndoVac İrrigasyon Aktivasyonu (n=15)

İrrigasyon işlemi için EndoVac (Şekil 3.11, Discus Dental, Culver City, CA, ABD) ana dağıtıcı ucu kanal girişine, mikrokanül çalışma boyuna yerleştirildi. Sıcak su banyosunda 37 °C'ye getirilmiş 2 ml NaOCl solüsyonu üretici talimatları doğrultusunda ana dağıtıcı uçtan 30 saniye boyunca verildi. Mikrokanül ise 30 saniye boyunca 6 saniye çalışma boyunda, 6 saniye çalışma boyundan 2 mm geride olacak şekilde konumlandırıldı (Şekil 3.11). Bu işlemi takiben 30 saniye bir bekleme süresi uygulandı. Söz konusu döngü üç kez tekrarlandı. Böylece her bir örnek için toplam uygulama süresi 3 dakika, irrigasyon aktivasyon süresi ise 1,5 dakika olacak şekilde irrigate edildi. Son olarak 2 ml distile su ile 30 sn irrigasyon yapılarak protokol tamamlandı.



Şekil 3.11. Çalışmamızda kullanılan EndoVac cihazı ve uygulanış şekli

### 3.6.6. Grup VI: Er:YAG Lazer İrrigasyon Aktivasyonu (n=15)

İrrigasyon işlemi için 30 G yandan delikli irrigasyon iğnesi çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde kök kanalına yerleştirildi. Sıcak su banyosunda 37 °C'ye getirilmiş 2 ml NaOCl solüsyonu, 30 saniye boyunca kanal içerisine verildi. Bu sırada 2940 nm dalga boyunda çalışan Er:YAG lazer cihazı (Şekil 3.12, A; Smart 2940D, DEKA, Calenzano, İtalya) ile eş zamanlı uygulama gerçekleştirildi. Konik yapıdaki fiber optik uç koronal rezervuar üzerinde konumlandırıldıktan sonra cihaz darbeli modda (Şekil 3.12, B; Güç çıkışı 2,0 W, 20 Hz, 100 mJ) çalıştırılarak lazer enerjisi kanal içindeki solüsyona iletildi (Şekil 3.12, C) Aktivasyon sırasında oluşan ısıyı kontrol altında tutmak adına ışınlama ve irrigasyon eş zamanlı gerçekleştirildi. Bu işlemi takiben 30 saniye bir bekleme süresi uygulandı. Söz konusu döngü üç kez tekrarlandı. Böylece

her bir örnek için toplam uygulama süresi 3 dakika, irrigasyon aktivasyon süresi ise 1,5 dakika olacak şekilde irrigate edildi. Son olarak 2 ml distile su ile 30 sn irrigasyon yapılarak protokol tamamlandı.



**Şekil 3.12.** A. Çalışmada kullanılan Er:YAG Lazer uygulama başlığı, B. Er:YAG lazerin kullanıldığı değerler, C. Uygulanış şekli

### 3.7. Apikalden Taşan Solüsyonun Ölçülmesi

Deney sırasında uygulanan prosedürler tamamlandıktan sonra kök kanallarından taşan irrigasyon solüsyonu düzenek içerisine sabitlenmiş eppendorf tüplerinde toplandı. Biriken solüsyon miktarı bir elektronik pipet tabancası (Şekil; BrandTech Scientific, Essex, CT, ABD) ve tabancaya uyumlu serolojik pipet (Şekil; LP Italiana SPA, Milano, İtalya) yardımıyla ml cinsinden ölçüldü.



**Şekil 3.13.** Çalışmamızda kullanılan elektronik pipet tabancası ve serolojik pipet

### 3.8. İstatistiksel Analiz

Çalışmada verilerin normal dağılıma uyup uymadıkları Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri sonucuna göre verilerin normal dağılıma uyduklarına karar verildi. Bu nedenle yapılan testlerde parametrik testler kullanıldı. Deney grupları arasındaki farklılığı tespit etmek için tek yönlü ANOVA testi kullanıldı. Farklılıkların hangi iki grup arasında olduğunun belirlenmesinde Bonferroni testi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi 0,05 olarak belirlendi. Analizlerin yapılmasında IBM SPSS Statistics 25.0 paket programı kullanıldı.



#### 4. BULGULAR

Çalışmamızda kök kanal tedavisi sırasında uygulanan farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, irrigasyon sırasında köklerin apikal daralımlarından periapikal dokulara taşabilen solüsyon miktarları üzerine etkisinin karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi yapıldı. Verilerin analizinden önce normal dağılıma uyup uymadıkları Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri kullanılarak test edilmiş olup değerlerin normal dağılıma uydukları sonucuna varıldı ( $p>0,05$ ). Bu nedenle yapılan analizlerde parametrik testler kullanıldı. Deney gruplarına ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4.1’de gösterildi.

**Tablo 4.1.** Deney gruplarının ortalama ve standart sapma değerleri

|                           | Değerler |       |
|---------------------------|----------|-------|
|                           | Ort.     | SS    |
| Grup 1 (Gİİ)              | 0,233    | 0,082 |
| Grup 2 (EDDY)             | 0,219    | 0,053 |
| Grup 3 (XP-Endo Finisher) | 0,204    | 0,061 |
| Grup 4 (PUI)              | 0,203    | 0,062 |
| Grup 5 (EndoVac)          | 0,050    | 0,022 |
| Grup 6 (Er:YAG)           | 0,206    | 0,055 |
| p değeri                  | 0,000*   |       |

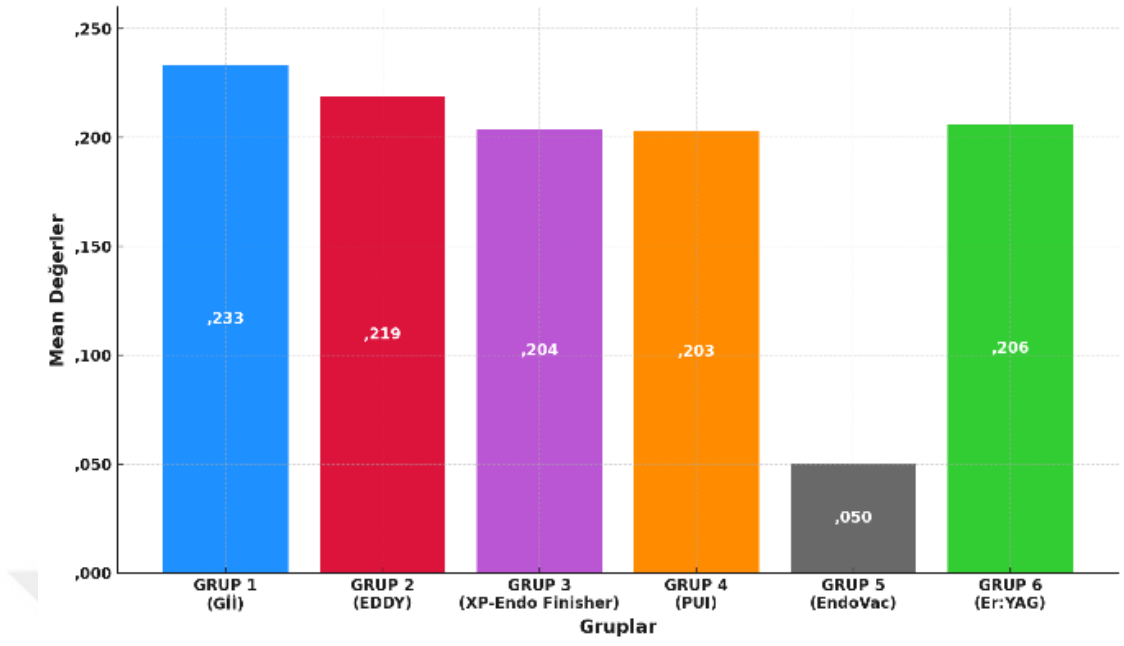
ANOVA testi, \* $p<0,05$

Deney grupları arasındaki anlamlı farkların belirlenmesi amacıyla tek yönlü ANOVA testi uygulanırken, bu farkların hangi gruplar arasında oluştuğunu saptamak için ise Bonferroni çoklu karşılaştırma testi tercih edildi.

Yapılan istatistiksel analizler, farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin apikal daralım bölgesinden taşan irrigasyon solüsyonu miktarını anlamlı düzeyde etkilediğini gösterdi ( $p<0,05$ ).

Elde edilen bulgulara göre EndoVac grubunda, diğer tüm deney gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde en düşük irrigasyon solüsyonu taşması gözlemlendi ( $p<0,05$ ). EndoVac grubu dışındaki deney grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı belirlendi ( $p>0,05$ ).

Deney grupları içinde EndoVac grubundan sonra en düşük değere sahip grup istatistiksel olarak anlamlı olmasa da XP-Endo Finisher grubu oldu ( $p>0,05$ ). En yüksek irrigasyon solüsyonu taşması ise istatistiksel olarak anlamlı olmasa da Gİİ grubunda görüldü ( $p>0,05$ ) (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1.** Deney gruplarının apikalden taşan solüsyon miktarlarının ortalama değerleri

## 5. TARTIŞMA

Kök kanal tedavisi, pulpa dokusunun enfekte olduğu veya canlılığını yitirdiği durumlarda enfeksiyonun kontrol altına alınması ve dişin fonksiyonunun korunması amacıyla uygulanan bir tedavidir. Kök kanal sisteminin preparasyonu ve mikroorganizma eliminasyonunun sağlanmasını takiben hermetik bir şekilde doldurulması tedavi başarısı açısından önem taşımaktadır (1). Kök kanal sisteminin karmaşık yapısı nedeniyle tüm mikroorganizmaların mekanik yöntemlerle uzaklaştırılması mümkün olmamakta ve mikroorganizma eliminasyonunun sağlanamaması da kök kanal tedavisinin başarısızlığı ile sonuçlanabilmektedir (186). Kök kanallarının preparasyonu sırasında irrigasyon solüsyonlarının uygulanması, mekanik olarak ulaşımın yetersiz kaldığı alanlara daha etkili nüfuz sağlayarak antimikrobiyal etkinlik için kritik rol oynamaktadır. Bu sebeple irrigasyon kök kanal tedavilerinin en önemli aşamalarından bir tanesidir (106).

Kök kanallarında irrigasyonun etkinliği yalnızca uygulanan solüsyona değil aynı zamanda solüsyonun uygulanma yöntemine de bağlıdır (187). Kök kanalları içerisinde bulunan lateral kanal ve isthmus gibi düzensiz alanlarda geleneksel yöntemler yeterince etkili olmamakta bu sebeple irrigasyon solüsyonlarının kök kanal dezenfeksiyonunda daha etkili olabilmesi için çeşitli irrigasyon aktivasyon sistemleri ile aktive edilerek kullanılması önerilmektedir (140, 152). İrrigasyon aktivasyon sistemlerinin kullanımıyla irrigasyon solüsyonları kök kanal duvarlarına daha etkili şekilde iletilebilmektedir ancak bu sistemlerin apikal foramen yoluyla irrigasyon solüsyonlarının ve mikroorganizmaların periapikal bölgeye taşma miktarını da etkilediği bilinmektedir (188). İrrigasyon solüsyonlarının kök kanalı apikal daralımından geçerek periapikal dokulara ulaşması çok ağrılı bir tablo oluşturabilir (12, 13). Özellikle sodyum hipoklorit ekstrüzyonunun ciddi inflamasyon, doku nekrozu, sinir hasarı, şiddetli ağrı ve hatta hastaneye yatış gerektirecek düzeyde komplikasyonlara neden olabileceği bildirilmiştir (14, 187).

İrrigasyon aktivasyonu sağlayan sistemlerin kök kanalı apikal daralımından irrigasyon solüsyonu, mikroorganizma ve debris taşması üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar mevcuttur (185, 189-191). Bu çalışmada Gİİ, EDDY, PUI, XP-Endo Finisher, EndoVac ve Er:YAG lazer irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin; irrigasyon sırasında kök kanal apikal daralımlarından periapikal dokulara taşıyabilen solüsyon miktarları üzerine etkisinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmaktadır.

Kök kanallarının anatomik yapısındaki farklılıklar, apikal daralımdan taşan irrigasyon solüsyonunun nicel olarak değerlendirilmesindeki güçlükler ve deney gruplarında dişlerin standardizasyonunu sağlamadaki zorluklar sebebiyle bu araştırma *in vitro* koşullarda gerçekleştirildi. Kök kanalı apikal daralımından taşan materyalin değerlendirildiği çalışmalarda şeffaf rezin modeller (192, 193), akrilik bloklar (179) ve çekilmiş insan dişleri (190, 194-196) kullanılabilmektedir ancak çalışmalarda en çok insan dişlerine yer verilmiştir. Ruiz-Hubard ve ark. (197) yaptıkları bir çalışmada standardizasyonu sağlamak amacıyla akrilik bloklar kullanmış ancak bu modellerin doğal dişteki kök kanal morfolojisinin bütün özelliklerini yansıtamayacağını bu nedenle sonuçların dikkatli yorumlanması gerektiğini bildirmişlerdir. Kum ve ark. (198) ise kök kanal preparasyonu sırasında döner aletin ürettiği ısı etkisiyle rezin blokların davranışlarının değişebilmesi sebebiyle doğal diş dokusunu temsil etmediğini, oluşan yapay şekil bozukluklarından dolayı düzeneğin güvenilirliğinin az olduğunu bildirmişlerdir. Tüm bu durumlar dikkate alındığında çalışmamızda, klinik uygulamaları daha gerçekçi bir şekilde temsil etmek ve deneysel modelin geçerliliğini güçlendirmek amacıyla çekilmiş insan dişleri kullanılmıştır.

Ok ve ark.nın (199) Türkiye popülasyonu üzerinde yürüttükleri bir çalışmada mandibular premolar dişlerin büyük oranda (%92,8-98,5) Vertucci Tip I konfigürasyonuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalarda standardizasyonu oluşturabilmek adına popülasyonda kanal anatomisinin daha az varyasyon gösterdiği alt premolar dişlerin model olarak kullanılması çalışma sonuçlarının daha güvenilir olmasına katkı sağlayabilmektedir. Kök kanal anatomisinden kaynaklanabilecek olası değişkenlikleri ve sapmaları en aza indirmek amacıyla, çalışmamızda yalnızca tek köklü ve tek kanallı, morfolojik özellikleri birbirine benzer mandibular premolar dişler tercih edilmiştir. Bu seçim, deneysel koşulların standardizasyonunu sağlamak ve elde

edilecek sonuçların güvenilirliğini artırmak açısından önem arz etmektedir. Çalışmaya dahil edilen örneklerin uygunluğunu teyit etmek için dişler, hem bukkolingual hem de meziodistal açılardan alınan radyografiler ile ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Kök kanal sisteminde malformasyon, ek kanal varlığı, rezorpsiyon, aşırı kurvatür veya çalışmanın standartlarını sağlamayan herhangi bir morfolojik anormallik saptanan örnekler çalışma dışı bırakılmıştır.

Çalışmada kullanılacak dişler belirlendikten sonra periodontal küretler yardımıyla kök yüzeyindeki kalıntılar giderildi ve %3 konsantrasyonlu NaOCl solüsyonunda bekletildi (200, 201). Uzun süreli NaOCl maruziyetinde dentin üzerinde yapısal zayıflamalar, elastikiyet kaybı ve yüzey bütünlüğünde bozulmalar oluşabileceği belirtilmiştir (202, 203). Bu sebeple dişlerin NaOCl içerisinde bekletilme süresi 48 saat ile sınırlandırılmış sonrasında dişler çalışma yapılıncaya kadar distile su içerisinde muhafaza edilmiştir (200).

Taşdemir ve ark. (194), Helvacıoğlu ve ark. (201) ve D'Souza (204) ve ark. yaptıkları çalışmalarda elde edilen veriler üzerindeki değişkenliği azaltmak ve deney grupları arasında metodolojik bir tutarlılık sağlamak amacıyla kök boylarını 14 mm olacak şekilde sabit bir değerde belirlemişlerdir. Deney grupları arasında standardizasyon sağlanması amacıyla çalışmamızda kullanılacak dişlerin kronları uzaklaştırılarak elde edilen kökler 14 mm olarak ayarlandı. Daha önce yapılmış benzer çalışmalar göz önünde bulundurularak çalışma boyu apikal foramenden 1 mm koronalde olacak şekilde belirlendi ve apikal genişliği 15 numaralı K tipi eğeden daha büyük olan örnekler çalışma dışında bırakıldı (194, 205).

Son yıllarda, kök kanallarının preparasyonunda Ni-Ti döner ege sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmış ve büyük oranda el aletlerinin yerini almıştır. Ni-Ti ege sistemlerinin kanalın doğal anatomisini koruyarak hızlı ve etkili bir preparasyon sağlayabildiği ortaya konmuştur (206). ProTaper ve Profile sistemlerini karşılaştıran bir çalışmada, ProTaper ege sisteminin minimal düzeyde çalışma boyu kaybı ve apikal transportasyon eğilimi ile orijinal forma yakın bir preparasyon yapabildiği bildirilmiştir (207). Ayrıca, ProTaper Next eğeleriyle yapılan preparasyonlarda daha az mikro çatlak gözlenmesi; M-Wire teknolojisi ile üretilmiş dikdörtgen yapısının, kök dentiniyle temas yüzeyini azaltarak eğenin bu bölgede sıkışmasını dolayısıyla kök kanal duvarlarında stres oluşumunu önlemesiyle açıklanabilir (208). Tüm bu bulgulara

dayanarak mikro çatlak oluşumunu, apikal transportasyon riskini ve çalışma boyu kaybını en aza indirmek amacıyla çalışmamızdaki dişlerin preparasyonunda ProTaper Next döner eğe sistemi tercih edildi.

Kök kanal tedavisinde kullanılacak son eğe boyutuna ilişkin literatürde farklı görüşler mevcut olmakla birlikte X2 eğesinin özellikle oval morfolojiye sahip kanallarda yeterli preparasyon sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca son yıllarda alt premolar dişler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda da ProTaper Next sisteminde son eğe olarak X2 eğesinin sıklıkla kullanıldığı gözlemlenmektedir (209, 210). Ancak çalışmamızda irrigasyon aktivasyon sistemleri kök kanalları içerisine direkt olarak uygulandığından, yeterli çalışma alanı elde edebilmek ve irrigasyon solüsyonu için daha geniş rezervuar alan oluşturmak adına son preparasyon eğesi olarak ProTaper Next sistemine ait X3 eğesi tercih edilmiştir (194, 201, 205).

Kök kanallarında smear tabakasının uzaklaştırılması amacıyla kullanılan irrigasyon solüsyonlarının uygulama süresi ve hacmi konusunda henüz bir görüş birliği bulunmamaktadır (171, 211). %17'lik EDTA'nın 1 dakikalık uygulanmasıyla smear tabakasının etkin şekilde uzaklaştırılabildiği ve dentin erozyonu gibi olumsuz etkilerin önüne geçilebildiği bildirilmiştir (212, 213). Benzer şekilde 1 dakika ile 3 dakika aralığında NaOCl ve EDTA solüsyonlarının kombine kullanımının smear tabakasını uzaklaştırmada etkili olduğu belirtilmiştir (214, 215). Bazı çalışmalarda bildirilen verilere göre %17 konsantrasyonlu EDTA solüsyonunun ve %5 konsantrasyonlu NaOCl solüsyonunun smear tabakası içeriğinde bulunan inorganik ve organik bileşenlerin uzaklaştırmasındaki başarısı dikkate alındığında çalışmamızda kullanılan deney dişlerinin smear tabakasının uzaklaştırılmasında bu ajanların kullanılması kararlaştırılmıştır (216, 217). Bu bilgilerden hareketle preparasyonu tamamlanan örnekler, smear tabakasının uzaklaştırılabilmesi amacıyla %5 konsantrasyonlu NaOCl ve %17 konsantrasyonlu EDTA irrigasyon solüsyonları kullanılarak 1 dakikalık uygulamaya tabi tutulmuştur.

Kök kanal apikal daralımından taşan debris ve irrigasyon solüsyonunu değerlendiren çeşitli çalışmalarda ölçümün yerçekimi etkiyle değiştiği bildirilmiş olmakla birlikte birçok çalışma alt çeneyi taklit edecek şekilde tasarlanmıştır (218-221). Üst çeneyi simüle eden deneysel modellerin kullanıldığı çalışmalar ise kısıtlı sayıda mevcuttur (222, 223). Williams ve ark. (223) yapmış oldukları çalışmada üst

çene pozisyonunda apikal taşma miktarını değerlendirmeye almışlar ve üst çenede de irrigasyon solüsyonunun taşıdığını rapor etmişlerdir. Öte yandan bu çalışmada üst ve alt çene arası farklılıklar dikkate alınmamıştır. Uzunoglu ve ark. (224) ise alt ve üst çeneyi simüle eden bir çalışma tasarlamış, yerçekimi etkisi ile alt çenede üst çeneye göre daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonu taşması meydana geldiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda alt çene premolar dişlerinin kullanılması ve düzeneklerin maksilla ve mandibuladaki konumlarının simüle edilememesi dolayısıyla yerçekimi etkisinin göz ardı edilmesi çalışmamızın zayıf noktalarından biri olarak değerlendirilmiştir.

Literatürde apikalden taşan debris ve irrigasyon solüsyonu miktarını değerlendiren *in vitro* çalışmalarda çeşitli düzenekler kullanıldığı görülmektedir. Mitchell ve ark. (185) çekilmiş dişlerle yaptıkları bir çalışmada simüle edilmiş bir periapikal ortam oluşturarak m-Kresol moru kullanmış, renk değişikliği miktarını değerlendiren görüntü analizine dayalı bir model geliştirmiştir. Salzgeber ve ark. (225) çalışmalarında radyopak özellikteki solüsyonları kullanarak periapikal radyografiler üzerinden apikal ekstrüzyon değerlendirmesi yapmışlardır. Psimma ve ark. (226) periodontal doku basıncının taklidi amacıyla distile su kullandıkları bir düzenek hazırlamış ve taşan NaOCl'nin elektrolit konsantrasyonu üzerinden bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Azim ve ark.nın (227) yaptığı bir çalışmada, NaOCl ve taurinin reaksiyonu ile oluşan taurin-monokloramin bileşiğinin ölçümü gerçekleştirilerek ekstrüzyon miktarı hesaplanmıştır. Hachmeister ve ark. (183) diş etrafına uygulanan çiçek aranjman köpüğü materyali ile periapikal doku direncini simüle etmeye çalışmış ancak bu yöntemle irrigasyon solüsyonu ve debris ayrımının yapılamadığını ve periapikal doku direncinin de tam anlamıyla taklit edilemediğini bildirmişlerdir. Altundaşar ve ark. (184) periapikal dokuyu simüle etmek amacıyla çiçek süngeri kullanımının taşan irrigasyon solüsyonunun ve debrisin bir kısmını emerek verilerde yanlışlık oluşturabileceğini bildirmişlerdir. Dos Reis ve ark. (228) çekilmiş dişleri agar agar içerisine gömerek taşan irrigasyon solüsyonunun apikal bölgede oluşturduğu boşlukları mikro bilgisayarlı tomografi (micro-BT) ile değerlendirmişler ancak bu yöntemin irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonunu sınırladığını rapor etmişlerdir. Bunlar arasında en yaygın kullanılan yöntem Myers ve Montgomery tarafından geliştirilen sistemdir (182). Myers ve Montgomery, irrigasyon solüsyonu ve debris ekstrüzyonunu değerlendirmek amacıyla dişler apikal uçları cam bir toplama tüpüne sarkacak şekilde

sabitlenmiş, açık hava basıncı dengesi için enjektör iğnesi yerleştirilmiş ve dış gözlemden izole edilmiş bir toplama düzeneği oluşturmuşlardır. Ancak bu *in vitro* düzenekte periapikal doku direncinin değerlendirilemediği ve yerçekimi etkisi nedeniyle klinik duruma kıyasla daha fazla solüsyon ekstrüzyonuna neden olabileceği belirtilmiştir. Tanalp ve ark. (13) yaptıkları çalışmada Myers ve Montgomery düzeneğine oldukça benzer bir model kullanmışlar ancak ölçüm pratikliği sağlamak amacıyla örnekleri cam kap yerine eppendorf tüpü içerisine sabitlemişlerdir. Çalışmamızda Myers ve Montgomery ile Tanalp ve ark.nın geliştirdiği modeller esas alınarak modifiye edilmiş bir deney düzeneği oluşturuldu. Preparasyonu tamamlanan örnekler ölçüm kolaylığı sağlamak amacıyla eppendorf tüplerine sabitlendi. Açık hava basıncının dengelenebilmesi amacıyla Myers ve Montgomery'nin protokolüne benzer şekilde eppendorf tüplerine bir enjektör iğnesi yerleştirildi. Deney düzeneğinin; sıcak su banyosu içerisinde gerçekleştirilecek çalışma boyunca, yatay düzleme dik konumda sabit kalabilmesi amacıyla eppendorf tüpleri cam şişelerin kauçuk kapaklarına adapte edildi.

Mevcut literatürde deney düzeneklerinin lastik örtü ile kapatılarak operatörün çalışma alanını görmesinin engellenmesi gerekliliği bildirilmektedir (229, 230). Çalışma alanının operatör tarafından görülmesi, uygulanan basınç düzeyinde kontrolsüz değişikliklere yol açarak deneysel gruplar arasındaki karşılaştırılabilirliğini ve elde edilen verilerin güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bilgi temel alınarak, çalışmamızdaki örnekler bir örtü ile izole edilerek operatörün taşan irrigasyon solüsyonunu görmesi önleildi. Kullanılan örtü hem operatör görüşünü sınırlandırmak hem de düzeneklerin sıcak su banyosunda suyun kaldırma kuvveti etkisiyle hareketlenmesini önlemek amacıyla deney grubundaki tüm örnekleri kapsayacak şekilde yerleştirildi.

Çalışmamızda kullanılacak örnekler rastgele dağılım gösterecek şekilde 6 ana deney grubuna ayrıldı. Oluşturulan deney grupları Gİİ, EDDY, XP-Endo Finisher, PUI, EndoVac ve Er:YAG olarak belirlendi.

Boutsioukis ve ark. (143) yaptıkları çalışmada Gİİ esnasında iğne ucunun kök ucundan uzak konumlandırılmasının özellikle apikal üçlü bölgesinde irrigasyon solüsyonunun etkisini sınırladığını bildirmişlerdir. Guerreiro ve ark. (144) kök kanallarının apikal üçlü bölgesinde daha iyi bir dezenfeksiyon etkisi gösterebilmesi

amacıyla çapı daha küçük olan iğnelerin tercih edilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. Kahn ve ark. (141) kapalı uç tasarımına sahip iğnelerin apikal üçlü bölgedeki etkinlik açısından açık uçlu iğnelere kıyasla daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Boutsoukis ve ark. (148) irrigasyon esnasında açık uçlu iğne kullanılacaksa çalışma boyunun 2-3 mm gerisinde, kapalı uçlu iğneler kullanılacaksa akımı kanal duvarlarına ilettiğinden 1 mm gerisinde konumlandırılmasını önermişlerdir. Gu ve ark. (140) iğnenin irrigasyon esnasında kontrollü bir biçimde koronal-apikal doğrultuda hareketlendirilmesinin irrigasyon solüsyonunun daha geniş bir alana ulaşmasını sağlayarak mekanik yıkama etkisini artırabildiğini rapor etmişlerdir. Bu bilgilerden hareketle çalışmamızda yandan delikli tasarıma sahip 30 G boyutunda iğne tercih edildi. İğne konumu çalışma boyundan 1 mm geride konumlandırılarak 2-3 mm koronal-apikal doğrultuda hareketlendirilerek kullanıldı.

Donnermeyer ve ark. (169) ile Güven ve ark. (231) yaptıkları çalışmada konvansiyonel bir hava skaler ile çalışan EDDY sonik sistemini kullanmış, üretici talimatları doğrultusunda 6000 Hz frekans ayarında ve çalışma boyundan 1 mm geride konumlandırarak 4-5 mm koronal-apikal yönde hareketlendirerek kullanmışlardır. EDDY poliamid ucu, çalışmamızda literatürdeki bu çalışmalar (169, 231) ve üretici talimatları göz önüne alınarak çalışma boyundan 1 mm geride çalıştırılıp 4-5 mm genişliğinde hareketlendirilerek kullanıldı.

Güven ve ark. (231) irrigasyon aktivasyonunu değerlendirdikleri çalışmada XP-Endo Finisher eğesi kullanmış 1000 rpm hızda ve 1 Ncm torkta 4-5 mm koronal-apikal doğrultuda çalıştırmışlardır. Çalışmada standardizasyonu sağlamak amacıyla solüsyonları 20 °C sıcaklıkta kullanmışlardır. XP-Endo Finisher eğesi oda sıcaklığında martensitik halde bulunurken vücut sıcaklığına yaklaştıkça östenitik hale geçer ve eğe şekil değiştirerek orak halini alır. Bu şekil değişikliği sayesinde uygulama esnasında etki alanı genişleyerek irrigasyon solüsyonlarının kanal düzensizliklerine etki etmesi kolaylaşır (232). Türker ve ark. (233) yaptıkları çalışmada XP-Endo Finisher egesini 1000 rpm hızda ve 1 Ncm tork ayarında çalıştırmışlar, çalışmanın eğenin östenitik fazında gerçekleşebilmesi adına irrigasyon solüsyonu olarak seçtikleri distile suyun sıcaklığını 37 °C'ye kadar getirerek uygulamışlardır. Benzer şekilde Marques-da-Silva ve ark. (234) çalışmalarında kullandıkları irrigasyon solüsyonlarının sıcaklığını 37 °C'ye kadar getirerek kullanmışlar, uygulamayı 800 rpm hız ve 1 Ncm tork ayarında

yürütmüşlerdir. Hassan ve ark. (235) ise debris taşmasını değerlendirdikleri çalışmalarında yalnızca XP-Endo Finisher grubunda 37 °C'ye ayarlanmış sıcak su banyosu kullanmışlardır. Aktivasyon protokolünü 800 rpm hızda ve 1 Ncm tork ayarında gerçekleştirmişlerdir. Sarıılmaz ve Keskin (236) irrigasyon solüsyonu ve debris taşmasını değerlendirdikleri çalışmalarında XP-Endo Finisher eğesini 800 rpm hızda ve 1 Ncm tork ayarında kullanmışlar, çalışma boyundan 1 mm geriye yerleştirip 7-8 mm genlikte hareketlendirerek uygulamışlardır. Literatürdeki bütün bu çalışmalardan hareketle çalışmamızda XP-Endo Finisher eğesi 800 rpm hızda ve 1 Ncm tork ayarında çalıştırılarak uygulandı. Çalışma boyunun 1 mm gerisinde konumlandırılan eğe irrigasyon aktivasyonu sağlamak amacıyla 7-8 mm koronal-apikal doğrultuda hareketlendirildi. XP-Endo Finisher eğenin sıcaklıkla şekil değiştirmesi bilgisine istinaden işlem 37 °C'ye ayarlanmış sıcak su banyosunda gerçekleştirildi. Deney standardizasyonunun sağlanması maksadıyla, kullanılan tüm irrigasyon solüsyonlarının sıcaklık derecesi 37 °C'ye ulaşana kadar sıcak su banyosunda bekletildi ve deney gruplarındaki tüm işlemler 37 °C'lik sıcak su banyosunda gerçekleştirildi.

Mitchell ve ark.nın (237) farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin taşan irrigasyon solüsyonuna olan etkisini inceledikleri çalışmadaki PUI grubunda ultrasonik ucu çalışma boyundan 1 mm geride pozisyonlandırarak aktive etmişlerdir. Benzer biçimde Marques-da-Silva ve ark. (234), Seghayer ve ark. (238), De Vasconcelos ve ark. (239) yaptıkları çalışmalarda ultrasonik uçları çalışma boyundan 1 mm geride konumlandırmışlar, koronal-apikal doğrultuda hareketlendirerek uygulamışlardır. Çalışmamızda literatürdeki uygulamalara dayanarak PUI uygulanan grupta ultrasonik uç çalışma boyundan 1 mm geride olacak şekilde yerleştirildi ve kök kanal duvarlarına temas etmeden koronal-apikal yönde hareketlendirilerek aktive edildi.

Literatürde EndoVac sisteminin kullanıldığı çalışmalarda üretici talimatlarına uygun olarak makrokanül 30 saniye boyunca çalışma boyunun 4-5 mm gerisinde konumlandırılarak irrigasyona başlanmıştır. Takip eden aşamada, 30 saniyelik periyotlarla toplam üç tur boyunca mikrokanül ile irrigasyon yapılmıştır. Mikrokanül kullanımında kanülün ucu, her 6 saniyede bir çalışma boyunda ve çalışma boyundan 2 mm geride olacak şekilde hareketlendirilerek aktif edilmiştir. Ayrıca mikrokanülün

emme kapasitesinin sınırlarını aşmamak amacıyla solüsyon akış hızı 2 ml/30 sn olarak belirlenmiştir (17, 185, 240-242). Mitchell ve ark.nın (237) farklı irrigasyon aktivasyon sistemlerinin taşan irrigasyon solüsyonuna olan etkisini inceledikleri çalışmadaki EndoVac grubunda makrokanül kullanılmamış yalnızca mikrokanül ile irrigasyon yapılmıştır. Mikrokanül her 6 saniyede bir çalışma boyunda ve çalışma boyundan 2 mm geride olacak şekilde 30 sn boyunca uygulanmış, irrigasyon aralarında 30 sn bekleme süreleri bulunan 3 tur şeklinde tamamlanmıştır. Kök apeksi açık dişlerde kök apeksine kadar yerleştirilen makrokanülün, mikrokanüle kıyasla daha az solüsyon ekstrüzyonuna yol açtığı bildirilmiştir (243, 244). Kök apeksi kapalı dişlerde ise makrokanül mikrokanül kadar çalışma boyuna yaklaşamaz (17, 185). Literatür taramasından elde edilen bütün bu bilgilere dayanarak ve irrigasyon süresini sabit tutabilmek amacıyla EndoVac grubundaki irrigasyon işlemi sırasında yalnızca mikrokanül kullanıldı ve protokol üç ardışık tur halinde uygulandı. Mikrokanülün uygulanması sırasında kanül; 6 sn çalışma boyunda, 6 sn çalışma boyundan 2 mm geride olacak şekilde yerleştirilerek kullanıldı. Mikrokanülün emme kapasitesini aşmamak amacıyla solüsyon akış hızı 2 ml/30 sn olarak belirlendi ve standardizasyon sağlanması amacıyla tüm deney gruplarında aynı hızla uygulama yapıldı.

Dhanalakshmi ve ark. (245) yaptıkları çalışmada irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu amacıyla Er:YAG lazer kullanmışlar, lazerin fiber optik ucunu pulpa odasına yaklaştırarak ışınlama yapmışlardır. George ve ark. (246) Er:YAG lazer fiber optik ucunu tam pulpa odasına hizalayabilmek amacıyla bir aparat kullanmışlardır. Vidas ve ark. (191) lazerle irrigasyon aktivasyonu esnasında oluşan güçlü hidrodinamik etkilerin, özellikle fiber optik uçlar apekse yakın konumlandırıldığında, irrigasyon solüsyonunun apikal daralım ötesine taşma riskini artırdığını bildirmişlerdir. Zan ve ark.nın (247) yaptıkları çalışmada Er:YAG lazer ayarı 2.0 W (100 mJ, 20 Hz) olarak belirlenmiştir. Lazerin el aksamına bağlı endodontik fiber optik ucu temassız ve odaklanmış modda çalıştırılmıştır. Kök kanalları dakikada 5 ml solüsyon akışı sağlanarak 3 dakika boyunca ışınlanmıştır. Çalışmamızda Zan ve ark.nın (247) yapmış oldukları çalışmadan hareketle Er:YAG lazer ayarları 2.0 W (100 mJ, 20 Hz) olarak belirlendi ve lazerin fiber optik ucu koronal rezervuara yerleştirilerek uygulama yapıldı. Schoop ve ark. (248) Er:YAG lazerin 0,5 W, 1 W ve 1,3 W güç ayarlarında uygulanması sırasında oluşan sıcaklık artışını infrared kamera

ile ölçmüşler, kök yüzeyinde 1 W'ta  $3,1 \pm 0,28$  °C artış tespit etmişlerdir. Çalışmamızda ısı artışının kontrolünü sağlamak amacıyla Schoop ve ark.nın (248) yaptıkları çalışma göz önünde bulundurularak lazerle aktivasyon ve irrigasyon eş zamanlı gerçekleştirildi.

Dos Santos ve ark. (249) yaptıkları çalışmada son irrigasyon prosedüründe distile su kullanımının dentin erozyonunu ve dokuya zarar verme riskini belirgin şekilde azalttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte organik doku çözme yeteneği ve antimikrobiyal etkisi olmadığı için distile su ile son yıkama prosedürü yalnızca öncesinde uygun irrigasyon basamakları uygulandığında avantajlıdır. Bazı çalışmalarda kök kanal irrigasyon prosedüründe NaOCl'nin son yıkama solüsyonu olarak tercih edilmesinin dentin matrisi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği ve rezin polimerizasyon sürecini engelleyebileceği bildirilmiştir. Bu durum da rezin içerikli patların ve fiber postların bağlanma dayanımını etkileyebilmektedir (250-252). Mevcut çalışmamızda literatürdeki bu bilgiler göz önünde bulundurularak irrigasyon protokolünde son irrigasyon solüsyonu olarak distile su kullanıldı. İğne ucu çalışma boyundan 1 mm geride konumlandırıldı ve solüsyon pasif bir şekilde 2 ml/30 sn akış hızında kök kanallarına verildi.

Kök kanal tedavisinde kullanılan farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin, irrigasyon uygulaması esnasında köklerin apikal daralımlarından periapikal dokulara taşabilen solüsyon miktarlarının değerlendirildiği çalışmamızda EndoVac grubunda anlamlı farklar bulunduğu için çalışmanın sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin köklerin apikal daralımından taşan irrigasyon solüsyonu miktarına olan etkisini değerlendiren çalışmalarda kullanılan irrigasyon aktivasyon yöntemleri arasında anlamlı farklar olduğu gösterilmiştir (165, 195, 237, 253, 254).

Desai ve ark. (165) yaptıkları çalışmada altı farklı irrigasyon aktivasyon yöntemi uygulamış ve işlem sonrası taşan solüsyon miktarlarını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmada Gİİ, EndoVac mikrokanül, EndoVac makrokanül, EndoAktivatör (EA), PUI ve RinsEndo grupları bulunmaktadır. EndoVac mikrokanül ve EndoVac makrokanül gruplarında neredeyse hiç irrigasyon taşması görülmediğinden en başarılı gruplar olmuşlardır. EA grubu istatistiksel olarak anlamsız ölçüde solüsyon taşması göstermiştir. RinsEndo grubunda en fazla irrigasyon

solüsyonu taşması ölçülmüş ve en başarısız grup olarak değerlendirilmiştir. Velmurugan ve ark. (195) EndoVac mikrokanül, EndoVac makrokanül, kapalı uçlu iğne ve açık uçlu iğne grupları bulunan çalışmalarında kök kanalı apikal daralımından taşan solüsyon miktarlarını değerlendirmişlerdir. Açık apeksli dişler üzerinde yaptıkları çalışmalarında en az solüsyon taşması ölçülen grubun EndoVac makrokanül grubu, en çok solüsyon taşması ölçülen grubun ise açık uçlu iğne grubu olduğunu bildirmişlerdir. Mitchell ve ark. (237) çalışmalarında anterior dişleri iki gruba ayırarak bir grubu 35/06, diğer grubu ise 50/06 boyutuna sahip eğeler ile prepare etmişlerdir. Her iki gruba da sırasıyla EA, EndoVac, Gİİ, PUI ve RispiSonic sistemlerini uygulayarak kök kanallarından agar jel ortamına solüsyon taşması miktarlarını değerlendirmişlerdir. Agar jel ortamında meydana gelen renklenmeyi analiz ederek 50/06 boyutundaki eğelerle prepare edilen grubun 35/06 boyutunda prepare edilen gruba göre daha fazla renklenmeye yol açtığını rapor etmişlerdir. Uygulanan irrigasyon yöntemleri arasında ise; irrigasyon solüsyonlarının apikal daralımdan taşma miktarının EndoVac sisteminin uygulandığı grupta en az, Gİİ grubunda ise en fazla olduğunu belirtmişlerdir. Alkahtani ve ark. (253) yaptıkları çalışmada kapalı uçlu iğne, açık uçlu iğne ve EndoVac irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin kök apikalinden taşan irrigasyon solüsyonu miktarlarına olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Oluşturdukları düzeneklerin ağırlıklarını işlem öncesi ve sonrası olacak şekilde ölçmüşler ve ortalama taşan solüsyon miktarlarını hesaplamışlardır. Deney grupları arasında en fazla ağırlık artışı gösteren grup açık uçlu iğne grubu, en az ağırlık artışı gösteren grup ise EndoVac grubu olmuştur. Ayrıca kapalı uçlu iğne kullanımının da açık uçlu iğne kullanımına göre taşan solüsyon miktarını anlamlı ölçüde azalttığını ifade etmişlerdir. Venumbaka ve ark. (254) 25 adet yeni çekilmiş süt azı dişi üzerinde yaptıkları çalışmada kökleri her grupta 29 adet kök olacak şekilde iki gruba ayırmışlar, bir gruba geleneksel irrigasyon iğnesi diğer gruba EndoVac irrigasyon aktivasyon sistemi ile uygulama yapmışlardır. İşlem öncesi ve sonrası olmak üzere kurdukları deney düzeneklerinin ağırlıklarını ölçmüşler ve ölçümleri arasındaki farkı değerlendirmişlerdir. EndoVac irrigasyon aktivasyon sisteminin uygulandığı grupta geleneksel irrigasyon iğnesi uygulanan gruba kıyasla daha az solüsyon taşması saptamışlardır. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde önceki araştırmalarda bildirilen verilerle paralel olarak EndoVac grubunda diğer tüm deney gruplarına kıyasla anlamlı düzeyde daha

az irrigasyon solüsyonu taşıdığı belirlenmiştir (165, 195, 237, 253, 254). Venumbaka ve ark. (254) EndoVac irrigasyon aktivasyon sistemi uygulandığında apikal bölgeden daha az miktarda solüsyon taşmasını; apikal negatif basınç prensibiyle çalışmasına, irrigasyon solüsyonunu kontrollü bir şekilde apikale yönlendirmesine, çalışma boyunda kullanıldığından daha güvenli bir sistem olmasına ve apikal anatomik farklılıkları daha iyi tolere etmesine bağlamışlardır. EndoVac irrigasyon aktivasyon sisteminin negatif basınç prensibi ile çalışmasının ve üretici firma talimatları doğrultusunda, diğer deney gruplarından farklı olarak, mikrokanülün çalışma boyuna yerleştirilerek uygulanmasının çalışma sonuçlarımız üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

EndoVac sisteminde irrigasyon solüsyonlarının apeks dışına taşma riskinin minimum olmasının temel nedeni, sistemin negatif basınç prensibine dayalı özel tasarımıdır. Pozitif basınçla solüsyonu aşağıya iten geleneksel yöntemlerin aksine, irrigasyon solüsyonu mikrokanüller aracılığıyla apikal bölgeden yukarıya doğru vakumla çekilir; böylece apikalde basınç birikimi engellenir. Mikrokanüller yalnızca solüsyonu geri emmek için tasarlandığından apeks dışına solüsyon verilmez ve kontrollü, tek yönlü bir akış sağlanır. Sürekli dolaşım sayesinde irrigantın kanal içinde hapsolmesi önlenir ve periapikal dokular korunur. Bu özellikler, EndoVac'ı güvenli ve etkin irrigasyon açısından geleneksel yöntemlere kıyasla belirgin şekilde avantajlı kılmaktadır.

İriboz ve ark.nın (137) Gİİ, SAF, PUI, EndoVac ve kontrol grubundan oluşan çalışmalarında irrigasyon solüsyonu taşması, pH duyalı agaröz jeldeki renklenmenin fotoğraflanması ile piksel cinsinden değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. SAF grubunda daha fazla dişte taşma gözlemlemekle birlikte piksel yüzdesi cinsinden Gİİ grubunda daha fazla miktarda irrigasyon solüsyonu taşması saptamışlardır. Taşdemir ve ark. (194) üst ve alt keser dişleri kullandıkları çalışmalarında Gİİ ve PUI gruplarında kök apikalinden taşan solüsyon miktarını Pipetman pipetleriyle ölçmüşler ve Gİİ uygulanan grupta PUI grubuna kıyasla daha fazla solüsyon taşması ile karşılaşmışlardır. Arslan ve ark. (205) Gİİ, PUI ve PIPS irrigasyon aktivasyon sistemlerinin irrigasyon sırasında taşan solüsyon miktarına olan etkilerini inceledikleri çalışmalarında taşan solüsyonu çiçek aranjman süngeri kullanarak değerlendirmişler; Gİİ, PUI, PIPS (0, 9W) ve PIPS (0,3W) grupları arasındaki farkı anlamsız olarak

bulmuşlardır. Sharma ve ark.nın (243) rezin kopya modeller üzerinde çalıştıkları araştırmada Gİİ, PUI, ve EndoVac irrigasyon yöntemlerinin apikal daralım bölgesinden taşan irrigasyon solüsyonu miktarına olan etkilerini incelemişlerdir. Oluşturulan düzenekleri yerçekimi etkisini de göz önünde bulundurabilmek adına ağız içi oklüzyon düzlemine uygun olacak şekilde pozisyonlandırmışlardır. EndoVac uygulamalarında, maksilla ile mandibula pozisyonları arasında anlamlı fark bulunmamış ve en düşük taşma değerleri elde edilmiştir. Buna karşılık PUI ve Gİİ uygulanan grupların, mandibula pozisyonlarında anlamlı derecede daha fazla solüsyon taşması gösterdiği saptanmıştır. Hatta bu gruplarda neredeyse uygulanan tüm solüsyonun apikalden ekstrüze olduğu gözlemlenmiştir. Rodríguez ve ark. (255) Gİİ, PUI, EA gruplarının solüsyon taşmasındaki etki düzeylerini değerlendirdikleri çalışmalarında gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmadığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalardan (137, 194, 243, 255) hareketle Gİİ uygulamalarında irrigasyon solüsyonu taşma miktarlarının genellikle diğer irrigasyon aktivasyon yöntemleriyle benzer düzeyde veya bir miktar daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılabilmeyle birlikte, Gİİ grubunda anlamlı düzeyde daha fazla solüsyon taşmasının rapor edildiği çalışmalar da mevcuttur (201, 228, 256). Çalışmamızda dişlerin apikal daralımından irrigasyon solüsyonu ekstrüzyon miktarının, literatürdeki bulgularla uyumlu olarak Gİİ grubunda diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu saptanmış; ancak bu farkın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ( $p>0,05$ ). Geleneksel yöntemlerle kullanılan irrigasyon iğneleri pozitif basınç prensibi ile kullanıldığından irrigasyon solüsyonlarının periapikal bölgeye taşma riski artmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde solüsyonun yönü ve miktarı tam olarak kontrol edilememektedir (190).

Çalışmamızda, geleneksel irrigasyon yönteminde apikal ekstrüzyonun daha fazla görülmesinin başlıca nedenleri; pozitif basınca dayalı olması ve operatör kontrolüne bağımlılığıdır. Enjektörle uygulanan basınç hassas şekilde ayarlanamadığından apeks yönüne fazla kuvvet iletilebilir. Ayrıca solüsyonun geri çıkış yolu sınırlı olduğundan apikal bölgede basınç birikerek taşma riski artar. İğne ucunun derine yerleştirilmesi, özellikle ucu açık iğnelerde, irrigantın doğrudan apeks dışına itilmesine yol açabilir. Apikal daralımın fizyolojik sınırlarının göz ardı edilmesi ve operatörün deneyim eksiklikleri de bu riski artıran diğer faktörlerdir.

Vidas ve ark. (191) yürüttükleri çalışmada açık uçlu irrigasyon iğnesi, yandan delikli irrigasyon iğnesi, PIPS ve Er:YAG lazer yöntemlerini değerlendirmiş; elde edilen bulgulara göre en fazla irrigasyon solüsyonu taşması açık uçlu iğne grubunda izlenmiş, en düşük solüsyon taşması ise PIPS grubunda tespit edilmiştir. Lazer kullanılan grupların hepsi irrigasyon iğnesi kullanılan gruplara kıyasla anlamlı ölçüde daha az miktarda solüsyon taşmasına neden olmuştur. Yao ve ark. (257) plastik materyalden oluşturdukları kök kanal modellerini kullanarak gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada Gİİ, Er:YAG lazer ve PUI irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin uygulanması esnasında kök apikalinde oluşan basıncı ölçmüşler ve buna bağlı olarak kök apikalinden solüsyon taşma riskini değerlendirmişlerdir. Yapılan ölçümler sonucu basınç değerlerinin en fazla olduğu grup Gİİ olmuştur. Gİİ grubunu sırasıyla LAI (70 mJ) grubu, LAI (50 mJ) grubu, PUI grubu ve LAI (30 mJ) grubunun takip ettiğini ve gruplar arasındaki farkların anlamlı olduğunu tespit etmişlerdir ( $p<0,05$ ). Çalışmanın ikinci bölümünde uç yerleştirme derinliği azaltılarak yapılan irrigasyonda, tüm sistemlerde apikal forameni aşan basınç değerlerinin düştüğü belirlenmiştir ve sıralama Gİİ>LAI>PUI şeklinde olmuştur. Bununla birlikte üç LAI grubu arasında anlamlı fark bulunmadığı rapor edilmiştir ( $p>0,05$ ). Bu çalışma Er:YAG lazer kullanımında apikal ekstrüzyon riskinin uç yerleştirme derinliği ve solüsyona iletilen enerji miktarı ile farklılık gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Çalışmamızda Yao ve ark.nın (257) bulgularına da dayanarak; Er:YAG lazerin uygulandığı deney grubunda Gİİ grubuna kıyasla daha az irrigasyon solüsyonu taşması görülmesinin, Er:YAG fiber optik ucunun koronal rezervuara uygulanması sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. Er:YAG lazer, fotomekanik etkilerle sıvı hareketi oluşturup pozitif basınç ve derin iğne penetrasyonu gerektirmediği için geleneksel yöntemle kıyasla daha kontrollü irrigasyon sağlar ve apikal ekstrüzyon miktarını azaltır. Ancak EndoVac sisteminde olduğu gibi negatif basınç ve apikal vakum mekanizması bulunmadığından; lazerle oluşan kavitasyon ve mikroakımlar, solüsyonun tamamen kontrolünü engelleyebilir ve apeks yönünde taşma riskini artırır. Bu nedenle Er:YAG lazer, geleneksel yöntemle göre daha güvenli, ancak EndoVac'a göre daha fazla ekstrüzyonla ilişkilidir.

Aydın ve ark.nın (189) Gİİ, EDDY, EndoVac, EA gruplarının kök apikal daralımından materyal taşınımını değerlendirdikleri çalışmalarında elde ettikleri verilere dayanarak PUI, EDDY ve Gİİ grupları arasında anlamlı bir fark bulunmadığını

rapor etmişlerdir ( $p>0,05$ ). Gündoğar ve ark.nın (258) farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin uygulanmasını takiben postoperatif ağrıyı değerlendirdikleri çalışmada 24 saat sonraki değerlendirme sonuçlarına göre sonra Gİİ, EA ve EDDY grupları arasında fark bulunmadığı bildirilmiştir. Dos Reis ve ark.nın (228) yaptıkları çalışmada örnekler pozitif basınçlı irrigasyon, PUI, EasyClean, XP-Endo Finisher ve EDDY gruplarına ayrılarak irrigasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. İrrigasyon sonrası agar jel içerisine yerleştirilmiş örneklerden taşan solüsyon miktarları mikro-BT kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen verilere göre en fazla irrigasyon solüsyonu taşıma miktarı anlamlı ölçüde EDDY grubunda görülmüştür ( $p<0,05$ ). EDDY grubunu sırasıyla EasyClean, PUI, pozitif basınçlı irrigasyon ve en az taşıma miktarı ile XP-Endo Finisher grupları takip etmiştir ancak bu gruplar arasındaki farkın anlamsız olduğu belirtilmiştir ( $p>0,05$ ). Çalışmamızda ulaşılan sonuçlarla benzer biçimde XP-Endo Finisher ve PUI gruplarında benzer miktarlarda apikal ekstrüzyon izlenmiştir. Dos Reis ve ark. (228), EDDY'nin çalışma şeklinin, kavitasyon oluşturarak akustik akım etkisini artırmasının ve geniş salınım gösteren hareket üretmesinin ekstrüzyon potansiyelini artırabileceğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda EDDY grubu Gİİ grubundan sonra irrigasyon solüsyonu taşıma miktarı en fazla olan deney grubudur ancak bu miktar gruplar arasında anlamlı sonuç oluşturacak düzeyde değildir ( $p>0,05$ ). Dos Reis ve ark.nın (228) yaptıkları deneyde kullanılan dişlerin kök ucu açık dişler olması, dişlerin agar jel ile doldurulmuş deney düzeneklerine yerleştirilmiş olması gibi metodolojik farklılıklar çalışmamızla aksi yönde sonuçlar elde edilmesinde etkili olmuş olabilir.

EDDY, poliamid bazlı, yüksek frekanslı salınım hareketi ile çalışan sonik irrigasyon aktivasyon sistemlerinden biridir. Bu sistemin apeks dışına solüsyon taşmasına diğer yöntemlere kıyasla daha fazla neden olmasının altında yatan bazı temel faktörler bulunmaktadır. EDDY aktivasyon yönteminin apikal ekstrüzyon riskini artırmasının başlıca nedenleri, yüksek frekansta (5000–6000 Hz) çalışarak irrigasyon solüsyonunda güçlü akışkan dinamikleri ve kavitasyon etkileri oluşturmasıdır. Bu yüksek enerjili titreşimler, kök kanalında hızlı sıvı hareketine ve apikal bölgede pozitif basınç artışına yol açarak irrigantın foramen apikale doğru itilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca polimer yapıya sahip esnek uçların apekse yakın konumlandırılabilmesi, solüsyonun doğrudan apikal bölgeye yönelmesine ve taşıma

riskinin artmasına katkıda bulunur. EDDY uçlarının sağladığı bu yoğun ve kontrolsüz sıvı sirkülasyonu, özellikle geniş veya oval apikal yapılarda ekstrüzyonu daha da belirgin hale getirebilir. Dolayısıyla, EDDY sistemi diğer yöntemlere kıyasla daha güçlü hidrodinamik etkiler oluşturmakta ve bu durum irrigasyon sırasında apikal taşma olasılığını artırmaktadır. Klinik uygulamalarda, bu riskin farkında olunarak, irrigasyon sırasında apeks seviyesine olan mesafe, uygulanan solüsyon miktarı ve irrigasyon süresi gibi parametrelere dikkat edilmesi önerilmektedir.

Sarıyılmaz ve ark. (236) 80 adet mandibular premolar dişi agar jel içerisine yerleştirerek Gİİ, XP-Endo Finisher, PUI ve EA irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin debris ve solüsyon taşma miktarına olan etkilerini değerlendirdikleri çalışmada taşan irrigasyon solüsyonu miktarlarının benzer oranda olduğunu, aralarındaki farkın istatistiksel olarak anlamsız bulunduğunu rapor etmişlerdir. Abat ve ark. (192) kök ucu açık dişlerde; Gİİ (çalışma boyundan 1 mm geri), Gİİ (çalışma boyundan 2 mm geri), EDDY (çalışma boyundan 1 mm geri), EDDY (çalışma boyundan 2 mm geri), XP-Endo Finisher (çalışma boyundan 1 mm geri), XP-Endo Finisher (çalışma boyundan 2 mm geri) ve SWEEPS irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin solüsyon taşma miktarlarına olan etkilerini inceledikleri çalışmalarında en fazla ekstrüzyon SWEEPS grubunda gözlemlenmiştir. XP-Endo Finisher ve Gİİ gruplarında 1 mm ve 2 mm kısa çalışma boylarında anlamlı fark görülmemiştir. EDDY grubundaki ekstrüzyon miktarı ise çalışma boyundan 1 mm kısa çalışıldığında, 2 mm'ye kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur. EDDY, XP-Endo Finisher ve Gİİ kıyaslamasında anlamlı fark rapor edilmemiştir. Bu çalışmada, mevcut çalışmamızda elde edilen verilerle uyumlu olarak EDDY, Gİİ ve XP-Endo Finisher irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin uygulandığı deney grupları benzer miktarlarda solüsyon taşması göstermiştir ( $p>0,05$ ). XP-Endo Finisher, EDDY ve PUI sistemleri arasında irrigasyon taşması açısından anlamlı fark olmamasının nedeni, bu yöntemlerin benzer akış dinamikleri ve apikal basıncı kontrol altında tutan mekanizmalarla çalışmalarıdır (236, 259). Çalışmamızda bu irrigasyon aktivasyon sistemlerinin, solüsyonları etkili şekilde kök kanalı boyunca dağıttığı ve apikal üçlü bölgesinde aşırı basınca yol açmadığı için deney gruplarında taşan solüsyon miktarlarının benzer olduğunu düşünmekteyiz.

XP-Endo Finisher, EDDY ve PUI gibi modern irrigasyon aktivasyon teknikleri, irrigasyon etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilmiş yöntemlerdir. Bu tekniklerin

apikal ekstrüzyon üzerindeki etkilerinin benzer düzeylerde olması, literatürde sıklıkla bildirilen bir bulgudur. Bu benzerliğin temelinde, söz konusu yöntemlerin irrigasyonu apikal yönde zorlayacak şekilde pozitif hidrodinamik basınç üretmemeleri yatmaktadır.

XP-Endo Finisher, Ni-Ti alaşımdan üretilmiş, yüksek elastisiteye sahip özel bir enstrümandır. C-şekilli kanallar da dahil olmak üzere kompleks anatomilere uyum sağlayarak, kanal duvarlarına temas etmeden irrigasyon solüsyonunu üç boyutlu olarak hareket ettirir. Ancak, bu hareket solüsyonu apikalden dışarı taşıracak bir basınç üretmemektedir. EDDY sistemi ise polimer bazlı, elastik bir uç yapısına sahiptir ve havayla çalışan piezoelektrik bir motor aracılığıyla yüksek frekansta salınım üretir. Üretilen bu salınım, kanal içerisindeki solüsyonun vortex benzeri bir akış ile aktive edilmesini sağlar. Bu sistemin düşük sertlikteki uç yapısı sayesinde kanal duvarlarına minimal temas sağlanmakta, aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun apikal yönde kontrolsüz bir şekilde taşması engellenmektedir. PUI ise, genellikle 25 veya 30 numara pasif bir ultrasonik uç kullanılarak gerçekleştirilir. Ultrasonik titreşim, solüsyon içerisinde kavitasyon ve akustik mikroakım (streaming) oluşturarak solüsyonun hareketini sağlar. Ancak bu yöntemde de uç kanal duvarlarına temas ettirilmeden çalışıldığı ve pozitif basınç uygulanmadığı için irrigasyon solüsyonunun apikal foramen dışına zorlanması engellenmiş olur.

Söz konusu yöntemlerin hepsinde irrigasyon solüsyonu aktivasyonu, daha çok kanal sisteminin orta ve koronal bölgelerinde etkili olup, apikal bölgede ise sıvı hareketi daha sınırlı kalmakta ve bu durum apikalde oluşan hidrostatik basıncın kontrol altında kalmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu tür çalışmaların gerçekleştirildiği deneysel modellerde, kullanılan dişlerin apikal çapları, solüsyon hacmi, uygulama süresi ve uçların kanal içerisindeki pozisyonları gibi parametrelerin standartlaştırılması; yöntemler arası ekstrüzyon miktarlarının birbirine yakın düzeyde kalmasına katkı sağlamaktadır.

Çalışma, standartlaştırılmış şartlar altında yürütülmüş olsa da, *in vitro* modelin klinik senaryoları bütünüyle taklit etme potansiyeli sınırlı kalmaktadır. 2022 yılında yayımlanan sistematik bir derlemede, apikalden taşan materyal miktarını değerlendiren mevcut çalışmalar kapsamlı biçimde incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Mevcut metodolojilerin her birinin çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu

ancak hiçbirinin ideal ve klinik gerçekliğe en yakın sonuçları sağlayamadığı ifade edilmiştir (260). Literatürde apikal daralım bölgesinden irrigasyon solüsyonu taşma miktarlarının değerlendirildiği çalışmalarda periapikal doku direncinin farklı ortamlar oluşturularak taklit edilmesi gerektiği bildirilmiştir (183, 185, 226). Çalışmamızda periapikal doku direncinin taklit edilmediği deney modelleri temel alınmıştır (13, 182). Bu durum çalışmamızın limitasyonu olarak düşünülebilir. Ayrıca mevcut çalışmada yalnızca tek kök ve tek kanala sahip alt premolar dişlerin tercih edilmesi ve yerçekimi etkisinin göz ardı edilmesi de çalışmanın limitasyonları olarak değerlendirilebilir.

Çalışmamızdan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, negatif basınç prensibiyle çalışan EndoVac irrigasyon aktivasyon sisteminin kök kanalı apikal daralımından solüsyon taşmasını anlamlı ölçüde azalttığı görülmektedir ( $p<0,05$ ).

Endodontik tedavilerin başarısı, yalnızca kök kanal sisteminin mekanik olarak şekillendirilmesine değil; aynı zamanda irrigasyon yoluyla mikroorganizmaların, doku artıklarının ve toksinlerin etkin bir şekilde uzaklaştırılmasına da bağlıdır. Ancak irrigasyon sırasında kullanılan solüsyonların apikal foramen dışına taşarak periapikal dokularla temas etmesi; inflamasyon, ağrı, iyileşmenin gecikmesi ve nadiren de olsa ciddi komplikasyonlara neden olabilmektedir. Bu nedenle irrigasyon sistemlerinin hem dezenfeksiyon etkinliğini artırması hem de apikal ekstrüzyon riskini en aza indirmesi, klinik açıdan ideal kabul edilmektedir.

EndoVac, negatif basınç prensibiyle çalışan bir irrigasyon aktivasyon sistemidir ve bu yönüyle pozitif basınca dayalı geleneksel irrigasyon tekniklerinden ve pozitif akımlı aktivasyon yöntemlerinden önemli ölçüde ayrılmaktadır. Sistem, irrigasyon solüsyonunu koronaldan kanal içerisine verirken, apikal bölgeden negatif basınç yoluyla geri aspirasyon sağlar. Böylece solüsyon, apikal üçlü bölgesine kadar etkin bir şekilde ulaştırılabilmekte ve apikal foramenin ötesine taşmadan kontrollü biçimde uzaklaştırılmaktadır. Bu özellik, EndoVac sistemini irrigasyon güvenliği açısından ayrıcalıklı kılmakta ve klinik uygulamalarda öne çıkarmaktadır.

EndoVac irrigasyon aktivasyon sisteminin solüsyon ekstrüzyonunu minimal düzeyde tutması, bir dizi önemli klinik avantajı beraberinde getirmektedir. Öncelikle postoperatif ağrı ve inflamasyon riskini azaltmaktadır. Periapikal dokulara irrigasyon solüsyonunun teması, doku irritasyonu ve inflamatuvar yanıtın tetiklenmesine neden olabilmektedir. Ancak EndoVac sisteminin düşük ekstrüzyon profili sayesinde tedavi

sonrası spontan ağrı, perküsyon hassasiyeti ve şişlik gibi klinik semptomların azaldığı söylenebilir.

Ayrıca periapikal iyileşmenin hızlanmasına katkı sağlamaktadır. Apikal bölgede meydana gelen kimyasal travmanın minimize edilmesi, doku rejenerasyon sürecini desteklemekte ve özellikle geniş apikal foramene sahip ya da immatür dişlerde tedavi başarısını olumlu yönde etkilemektedir. Bu durum, EndoVac sistemini yalnızca standart vakalarda değil, aynı zamanda komplikasyon riski yüksek olgularda da değerli bir seçenek haline getirmektedir.

Bunun yanı sıra, irrigasyon solüsyonunun apikal üçlüye kadar etkin bir şekilde ulaştırılması ve negatif basınç sayesinde geri emilmesi, apikal bölgenin temizliğinde yüksek başarı sağlamaktadır. Bu özellik, geleneksel pozitif basınçlı sistemlerin apikal bölgeye irrigasyon solüsyonunu iletmekte yaşadığı güçlüklerle kıyaslandığında önemli bir üstünlük olarak değerlendirilmektedir.

EndoVac sisteminin sunduğu bir diğer kritik avantaj, kimyasal ekstrüzyon kaynaklı komplikasyonların önlenmesidir. Özellikle NaOCl ekstrüzyonu, klinik açıdan en ciddi komplikasyonlardan biri olup, kontrolsüz basınçla apikal bölgeye yönlendirilen solüsyonlarla doğrudan ilişkilidir. EndoVac, negatif basınç prensibiyle çalıştığı için irrigasyon solüsyonunun apikal dokulara doğru itilmesini engeller ve bu tür komplikasyonların görülme sıklığını minimize eder.

Buna ek olarak, periapikal doku bütünlüğünün bozulduğu, örneğin kistik lezyonların, periapikal granülomların veya geniş apikal patolojilerin bulunduğu olgularda irrigasyon sırasında taşma riski çok daha yüksektir. EndoVac sistemi, bu tür yüksek riskli vakalarda güvenli irrigasyon yapılmasına olanak sağlayarak tedavi sürecini desteklemektedir. Dolayısıyla hem standart vakalarda hem de apikal hassasiyetin kritik olduğu durumlarda güvenle tercih edilebilmektedir.

Sonuç olarak, EndoVac irrigasyon aktivasyon sistemi; irrigasyon güvenliğini ön planda tutan, düşük apikal ekstrüzyon riski ile postoperatif konforu artıran ve periapikal iyileşmeyi hızlandıran bir yaklaşım sunmaktadır. Yüksek irrigasyon etkinliği, kimyasal komplikasyon risklerini azaltması ve özellikle apikal doku bütünlüğünün zayıfladığı olgularda güvenli kullanım imkânı sağlaması, bu sistemi klinik uygulamalarda değerli kılmaktadır. Bu yönüyle EndoVac, yalnızca güvenli bir irrigasyon yöntemi olmakla kalmamakta, aynı zamanda tedavi başarısını artıran, hasta

konforunu ön plana çıkaran ve komplikasyon riskini minimize eden modern bir irrigasyon yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır.

Güncel endodontik literatür, kök kanal sisteminin kompleks morfolojisi nedeniyle yalnızca mekanik preparasyonla yeterli dezenfeksiyonun sağlanamayacağını ortaya koymakta; bu bağlamda irrigasyonun ve özellikle irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin klinik başarıdaki belirleyici rolünü vurgulamaktadır. Son yıllarda geliştirilen ultrasonik, sonik, lazer destekli ve negatif basınç sistemlerine dayalı aktivasyon teknikleri, irrigasyon solüsyonlarının lateral kanallar, isthmuslar ve apikal delta gibi anatomik yapılara penetrasyonunu artırarak mikrobiyal yükün azaltılmasında önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojiler solüsyonun apikalden taşma riskini de minimize etme potansiyeline sahiptir. Nitekim özellikle negatif basınç sistemlerinin apikal ekstrüzyonu sınırladığına dair kanıtlar giderek artmaktadır. Bu doğrultuda, irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin doğru endikasyonla ve uygun teknik parametrelerle uygulanması hem periapikal dokularda meydana gelebilecek inflamatuvar komplikasyonların önlenmesine hem de uzun dönem tedavi başarısının artırılmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, klinisyenlerin irrigasyon protokollerini güncel bilimsel veriler ışığında yeniden yapılandırmaları, vaka bazlı risk değerlendirmesi yaparak apikal basınç kontrolüne yönelik teknikleri tercih etmeleri ve özellikle apikal bölgeye yaklaşırken irrigasyonun güvenliğini önceleyen stratejiler geliştirmeleri önem arz etmektedir. Elde edilen bulgular, irrigasyon aktivasyon teknolojilerinin yalnızca dezenfeksiyon etkinliğini değil, aynı zamanda komplikasyon oranlarını da doğrudan etkileyebileceğini göstermektedir. Bu durum diş hekimliğinde minimal invaziv ve biyouyumlu tedavi prensiplerinin irrigasyon aşamasına da entegre edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmamızın sonuçları, irrigasyon solüsyonu ekstrüzyon miktarları bakımından yöntemler arasında belirgin farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. En düşük ekstrüzyon miktarı EndoVac grubunda gözlenmiş olup, bu durum sistemin negatif basınç prensibiyle çalışması ve irrigasyon solüsyonunu apikal üçlüye kadar güvenle ulaştırırken kontrollü bir şekilde geri uzaklaştırmasından kaynaklanmaktadır. EndoVac'tan sonra en az taşma görülen PUI grubunda ise ultrasonik titreşimlerin sağladığı etkin akışkan hareketi irrigasyon başarısını artırmakla birlikte, pozitif basınç etkisi tamamen elimine edilemediği için belirli düzeyde ekstrüzyon gözlenmiştir. XP-

Endo Finisher grubunda irrigasyon solüsyonunun apikal bölgeye ulaşma kapasitesi ve esnek yapısının sağladığı yüzey teması avantaj sağlasa da, mekanik aktivasyonun oluşturduğu akışkan hareketleri apikalden belirli miktarda taşmaya yol açmıştır. Er:YAG lazer grubunda, yüksek enerjili fotoakustik akımların oluşturduğu güçlü akışkan dinamikleri, ekstrüzyon olasılığını etkileyebilecek bir ortama zemin hazırlayabilmektedir. Lazer uygulama ucunun yerleştirilme derinliği ve cihazın ürettiği enerjinin karakteristiği irrigasyon solüsyonu taşma riskini etkileyebilmektedir. EDDY grubunda gözlenen ekstrüzyon miktarı, cihazın yüksek frekanslı vibrasyonlarının oluşturduğu yoğun hidrodinamik basınç ile ilişkilidir. En yüksek taşma miktarı ise geleneksel iğne irrigasyonu grubunda saptanmış olup, manuel basınç kontrolünün sınırlı olması ve iğnenin apikal bölgeye yaklaşma eğilimi bu sonucu açıklamaktadır. Sonuç olarak, irrigasyon yöntemleri arasında EndoVac sistemi en güvenli seçenek olarak öne çıkarken, diğer yöntemlerin apikal ekstrüzyon potansiyelleri dikkate alındığında klinik uygulamalarda dikkatli değerlendirilmesi gerektiği söylenebilir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kök kanal tedavisinde kullanılan farklı irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin köklerin apikal daralımlarından periapikal dokulara taşan solüsyon miktarları üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmamızda;

1. EndoVac grubu ile diğer tüm deney grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunduğu belirlendi ( $p<0,05$ ).
2. EndoVac dışındaki diğer deney grupları olan Gİİ, EDDY, XP-Endo Finisher, PUI ve Er:YAG lazer arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı ( $p>0,05$ ).
3. Uygulanan irrigasyon aktivasyon yönteminden bağımsız olarak tüm deney gruplarında irrigasyon solüsyonu taşması gözlemlendi.
4. İstatistiksel olarak anlamlı olarak en az irrigasyon solüsyonu taşma miktarının EndoVac grubunda olduğu tespit edildi ( $p<0,05$ ).
5. İstatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte en çok irrigasyon solüsyonu taşma miktarının Gİİ grubunda olduğu tespit edildi ( $p>0,05$ ).
6. Çalışmada elde edilen verilere dayanarak negatif basınç prensibi ile çalışan EndoVac irrigasyon aktivasyon sisteminin, klinik uygulamadaki güçlüklerine karşın, irrigasyon işlemi esnasında apikal daralımdan materyal taşmasını en aza indirmesi, pratikte anlamlı bir avantaj olarak değerlendirilebilir.
7. Çalışmamızda, irrigasyon solüsyonu taşması tüm gruplarda belirli düzeyde görülmüş; en az taşma EndoVac grubunda saptanmıştır. Bu nedenle klinisyenlerin yöntem seçiminde yalnızca etkinliği değil, olası ekstrüzyon riskini de dikkate alması önemlidir. EndoVac gibi negatif basınçlı sistemler bu riski azaltmada avantaj sunsa da, irrigasyon protokolünün dikkatle planlanması ve apikal dokuların korunmasına özen gösterilmesi klinik başarı için kritik görünmektedir.
8. Apikal daralımdan taşan materyali inceleyen çalışmalarda güvenilir sonuç için periapikal dokuların basıncının deney ortamına gerçekçi şekilde yansıtılması gerekir. Mevcut düzenekler bu açıdan yetersizdir. Bu nedenle, periapikal dokuyu daha iyi taklit eden modellere ihtiyaç vardır.

## KAYNAKLAR

1. Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 16(10):498-504, 1990.
2. Chubb DWR. A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success. *Australian Endodontic Journal*, 45(1):5-11, 2019.
3. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *Journal of Endodontics*, 36(4):703-707, 2010.
4. Zapata RO, Bramante CM, de Moraes IG, Bernardineli N, Gasparoto TH, Graeff MS, et al. Confocal laser scanning microscopy is appropriate to detect viability of enterococcus faecalis in infected dentin. *Journal of Endodontics*, 34(10):1198-1201, 2008.
5. Love RM. Invasion of dentinal tubules by root canal bacteria. *Endodontic Topics*, 9(1):52-65, 2004.
6. Gulabivala K, Ng Y, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiological Measurement*, 31(12):R49, 2010.
7. Siqueira Jr JF, Alves FR, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MA, et al. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *Journal of Endodontics*, 39(8):1044-1050, 2013.
8. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *Journal of Endodontics*, 1(7):238-242, 1975.
9. Paqué F, Al Jadaa A, Kfir A. Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. *International Endodontic Journal*, 45(5):413-418, 2012.
10. Dennis D, Farahanny W, Prasetya W, Batubara F. Biological and mechanical principles of chemomechanical preparation in root canal therapy: a review. *International Journal of Clinical Dentistry*, 14(2):187-198, 2021.
11. Galler K, Grubmüller V, Schlichting R, Widbiller M, Eidt A, Schuller C, et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and

- photoacoustic activation. *International endodontic journal*, 52(8):1210-1217, 2019.
12. Elmsallati EA, Wadachi R, Suda H. Extrusion of debris after use of rotary nickel-titanium files with different pitch: A pilot study. *Australian Endodontic Journal*, 35(2):65-69, 2009.
  13. Tanalp J, Güngör T. Apical extrusion of debris: a literature review of an inherent occurrence during root canal treatment. *International Endodontic Journal*, 47(3):211-221, 2014.
  14. Gondim Jr E, Setzer FC, Dos Carmo CB, Kim S. Postoperative pain after the application of two different irrigation devices in a prospective randomized clinical trial. *Journal of Endodontics*, 36(8):1295-1301, 2010.
  15. Romualdo PC, de Oliveira KMH, Nemezio MA, Küchler EC, Silva RAB, Nelson Filho P, et al. Does apical negative pressure prevent the apical extrusion of debris and irrigant compared with conventional irrigation? A systematic review and meta-analysis. *Australian Endodontic Journal*, 43(3):129-137, 2017.
  16. Del Fabbro M, Taschieri S, Testori T, Francetti L, Weinstein RL. Surgical versus non-surgical endodontic re-treatment for periradicular lesions. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3), 2007.
  17. Brito PR, Souza LC, de Oliveira JCM, Alves FR, De Deus G, Lopes HP, et al. Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 35(10):1422-1427, 2009.
  18. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*, 10(1):30-76, 2005.
  19. Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics*, 10(1):77-102, 2005.
  20. Siqueira JF, Araújo MC, Garcia PF, Fraga RC, Dantas CJS. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *Journal of Endodontics*, 23(8):499-502, 1997.

21. Siqueira Jr JF, Alves FR, Almeida BM, de Oliveira JCM, Rôças IN. Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or self-adjusting file to disinfect oval shaped root canals. *Journal of Endodontics*, 36(11):1860-1865, 2010.
22. Card SJ, Sigurdsson A, Ørstavik D, Trope M. The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *Journal of Endodontics*, 28(11):779-783, 2002.
23. Tan BT, Messer HH. The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size. *Journal of Endodontics*, 28(9):658-664, 2002.
24. Kim S, Kim Y. Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *International Endodontic Journal*, 35(7), 2002.
25. Ricucci D, Siqueira Jr JF. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of Endodontics*, 36(8):1277-1288, 2010.
26. Versiani M, Martins J, Ordinola Zapata R. Anatomical complexities affecting root canal preparation: a narrative review. *Australian Dental Journal*, 68:S5-S23, 2023.
27. Wu MK, R'oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 89(6):739-743, 2000.
28. Ørstavik D, Kerekes K, Molven O. Effects of extensive apical reaming and calcium hydroxide dressing on bacterial infection during treatment of apical periodontitis: a pilot study. *International Endodontic Journal*, 24(1):1-7, 1991.
29. Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G. The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *International Endodontic Journal*, 24(3):119-125, 1991.
30. Senia ES, Marshall FJ, Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 31(1):96-103, 1971.

31. Bence R, Madonia JV, Weine FS, Smulson MH. A microbiologic evaluation of endodontic instrumentation in pulpless teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 35(5):676-683, 1973.
32. Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *Journal of Endodontics*, 1(4):127-135, 1975.
33. McComb D, Smith D, Beagrie G. The results of in vivo endodontic chemomechanical instrumentation: a scanning electron microscopic study. *International Endodontic Journal*, 9(1):11-18, 1976.
34. Şen BH, Safavi KE, Spångberg LS. Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals. *Journal of Endodontics*, 25(4):235-238, 1999.
35. Clark Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM. Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *Journal of Dentistry*, 31(4):275-281, 2003.
36. Zehnder M. Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32(5):389-398, 2006.
37. Alaçam T. Endodonti. Özyurt Matbaacılık, Ankara, 2012.
38. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *European Journal of Oral Sciences*, 89(4):321-328, 1981.
39. Çalt S, Serper A. Smear layer removal by EGTA. *Journal of Endodontics*, 26(8):459-461, 2000.
40. Coolidge ED. The diagnosis and treatment of conditions resulting from diseased dental pulps. *The Journal of the National Dental Association*, 6(4):337-349, 1919.
41. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *International Dental Journal*, 58(6):329-341, 2008.
42. Pashley DH. Smear layer: physiological considerations. *Operative Dentistry, Supplement*, 3:13-29, 1984.
43. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13:113-117, 2002.

44. Estrela C, Sydney GB, Figueiredo JAP, Estrela CRdA. A model system to study antimicrobial strategies in endodontic biofilms. *Journal of Applied Oral Science*, 17:87-91, 2009.
45. Hidalgo E, Bartolome R, Dominguez C. Cytotoxicity mechanisms of sodium hypochlorite in cultured human dermal fibroblasts and its bactericidal effectiveness. *Chemico-biological Interactions*, 139(3):265-282, 2002.
46. Gomes B, Ferraz C, ME V, Berber V, Teixeira F, Souza Filho F. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of enterococcus faecalis. *International Endodontic Journal*, 34(6):424-428, 2001.
47. Waltimo T, Ørstavik D, Siren E, Haapasalo M. In vitro susceptibility of candida albicans to four disinfectants and their combinations. *International Endodontic Journal*, 32(6):421-429, 1999.
48. Szabó EV, Huszta B, Polyák M, Ruksakiet K, Bernáth R, Ghidán Á, et al. Antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite and hyper-pure chlorine dioxide in the depth of dentin tubules in vitro. *BMC Oral Health*, 23(1):930, 2023.
49. Siqueira Jr JF, Rôças IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 26(6):331-334, 2000.
50. Gatot A, Arbelle J, Leiberman A, Yanai Inbar I. Effects of sodium hypochlorite on soft tissues after its inadvertent injection beyond the root apex. *Journal of Endodontics*, 17(11):573-574, 1991.
51. Pelka M, Petschelt A. Permanent mimic musculature and nerve damage caused by sodium hypochlorite: a case report. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106(3):e80-e83, 2008.
52. Markose G, Cotter C, Hislop W. Facial atrophy following accidental subcutaneous extrusion of sodium hypochlorite. *British Dental Journal*, 206(5):263-264, 2009.
53. Bowden JR, Ethunandan M, Brennan PA. Life-threatening airway obstruction secondary to hypochlorite extrusion during root canal treatment. *Oral Surgery*,

- Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics, 101(3):402-404, 2005.
54. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dental Clinics*, 54(2):291-312, 2010.
  55. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *British Dental Journal*, 216(6):299-303, 2014.
  56. Siqueira Jr J, Lopes H. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *International Endodontic Journal*, 32(5):361-369, 1999.
  57. Ørstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Dental Traumatology*, 6(4):142-149, 1990.
  58. Cruz Filho AMd, Paula EAd, Pécora JD, Sousa Neto MDd. Effect of different EGTA concentrations on dentin microhardness. *Brazilian Dental Journal*, 13:188-190, 2002.
  59. Ram Z. Chelation in root canal therapy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 49(1):64-74, 1980.
  60. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic Topics*, 27(1):74-102, 2012.
  61. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International Endodontic Journal*, 36(12):810-830, 2003.
  62. Chandra S, Gopikrishna V. *Grossmann's Endodontic Practice*. 13<sup>th</sup> ed. Wolters Kluwer Health, Chennai, India, 2014.
  63. Serper A, Çalt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *Journal of Endodontics*, 28(7):501-502, 2002.
  64. Nygaard Ostby B. Chelation in root canal therapy. Ethylendiamine tetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontologisk Tidskrift*, 65:3-11, 1957.
  65. Crumpton BJ, Goodell GG, McClanahan SB. Effects on smear layer and debris removal with varying volumes of 17% REDTA after rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*, 31(7):536-538, 2005.

66. Doumani M, Habib A, Doumani A, Seirawan M, Sadeka M, Alnofiai S. A review: the applications of EDTA in endodontics (Part I). *International Organization of Scientific Research-Journal of Dental and Medical Sciences*, 16(9):83-85, 2017.
67. Goldberg F, Spielberg C. The effect of EDTAC and the variation of its working time analyzed with scanning electron microscopy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 53(1):74-77, 1982.
68. Tomson PL, Simon SR. Contemporary cleaning and shaping of the root canal system. *Primary Dental Journal*, 5(2):46-53, 2016.
69. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *Journal of Endodontics*, 9(4):137-142, 1983.
70. Goldman M, Goldman LB, Cavaleri R, Bogis J, Lin PS. The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: part 2. *Journal of Endodontics*, 8(11):487-492, 1982.
71. Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics*, 13(4):147-157, 1987.
72. Cengiz T, Aktener B, Piskin B. The effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants: a scanning electron microscopic study. *International Endodontic Journal*, 23(3):163-171, 1990.
73. Stewart GG. Chelation and flotation in endodontic practice: an update. *The Journal of the American Dental Association*, 113(4):618-622, 1986.
74. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *International Endodontic Journal*, 36(6):411-415, 2003.
75. Von der Fehr FR, Östby BN. Effect of EDTAC and sulfuric acid on root canal dentine. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 16(2):199-205, 1963.
76. Paqué F, Rechenberg DK, Zehnder M. Reduction of hard-tissue debris accumulation during rotary root canal instrumentation by etidronic acid in a sodium hypochlorite irrigant. *Journal of Endodontics*, 38(5):692-695, 2012.

77. Yadav HK, Tikku A, Chandra A, Yadav RK, Patel DK. Efficacy of etidronic acid, BioPure MTAD and SmearClear in removing calcium ions from the root canal: an in vitro study. *European Journal of Dentistry*, 9(04):523-528, 2015.
78. Ulusoy Ö, Mantı A, Çelik B. Nanohardness reduction and root dentine erosion after final irrigation with ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acids. *International Endodontic Journal*, 53(11):1549-1558, 2020.
79. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *Journal of Endodontics*, 31(11):817-820, 2005.
80. Zehnder M, Schicht O, Sener B, Schmidlin P. Reducing surface tension in endodontic chelator solutions has no effect on their ability to remove calcium from instrumented root canals. *Journal of Endodontics*, 31(8):590-592, 2005.
81. Castagnola R, Martini C, Colangeli M, Pellicciotta I, Marigo L, Grande NM, et al. In vitro evaluation of smear layer and debris removal and antimicrobial activity of different irrigating solutions. *European Endodontic Journal*, 9(1):81, 2024.
82. Razumova S, Brago A, Kryuchkova A, Troitskiy V, Bragunova R, Barakat H. Evaluation of the efficiency of smear layer removal during endodontic treatment using scanning electron microscopy: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1):151, 2025.
83. Chia MSY, Parolia A, Lim BSH, Jayaraman J, de Moraes Porto ICC. Effect of QMix irrigant in removal of smear layer in root canal system: a systematic review of in vitro studies. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(3), 2020.
84. Baumgartner JC, Ibay AC. The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *Journal of Endodontics*, 13(2):47-51, 1987.
85. Ballal NV, Jain H, Rao S, Johnson AD, Baeten J, Wolcott JF. Evaluation of SmearOFF, maleic acid and two EDTA preparations in smear layer removal from root canal dentin. *Acta Odontologica Scandinavica*, 77(1):28-32, 2019.
86. Ballal NV, Kandian S, Mala K, Bhat KS, Acharya S. Comparison of the efficacy of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid in smear layer removal from instrumented human root canal: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 35(11):1573-1576, 2009.

87. Ballal N, Mala K, Bhat K. Effect of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on the dissolution of human pulp tissue: an in vitro study. *International Endodontic Journal*, 44(4):353-356, 2011.
88. Sunny G, Doddwad PK, Shenvi S. Comparative evaluation of effect of N-acetyl cysteine, maleic acid, and ethylenediaminetetraacetic acid on the depth of dentinal tubule penetration of an epoxy resin-based root canal sealer: a confocal laser scanning microscopy study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(4):309-313, 2025.
89. Breschi L, Gobbi P, Mazzotti G, Falconi M, Ellis TH, Stangel I. High resolution SEM evaluation of dentin etched with maleic and citric acid. *Dental Materials*, 18(1):26-35, 2002.
90. Coleman WH, Chen D, Li Yq, Cowan AE, Setlow P. How moist heat kills spores of *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology*, 189(23):8458-8466, 2007.
91. Jin X, Kim J, Parus S, Lubman DM, Zand R. On-line capillary electrophoresis/microelectrospray ionization-tandem mass spectrometry using an ion trap storage/time-of-flight mass spectrometer with SWIFT technology. *Analytical Chemistry*, 71(16):3591-3597, 1999.
92. Fraiss S, Ng YL, Gulabivala K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *International Endodontic Journal*, 34(3):206-215, 2001.
93. Jones CG. Chlorhexidine: is it still the gold standard? *Periodontology* 2000, 15:55-62, 1997.
94. Basrani B, Ghanem A, Tjäderhane L. Physical and chemical properties of chlorhexidine and calcium hydroxide containing medications. *Journal of Endodontics*, 30(6):413-417, 2004.
95. Carrilho M, Carvalho RMd, De Goes M, Di Hipolito V, Geraldini S, Tay FR, et al. Chlorhexidine preserves dentin bond in vitro. *Journal of Dental Research*, 86(1):90-94, 2007.
96. Babich H, Wurzbürger B, Rubin Y, Sinensky M, Blau L. An in vitro study on the cytotoxicity of chlorhexidine digluconate to human gingival cells. *Cell Biology and Toxicology*, 11:79-88, 1995.

97. Portenier I, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M. Killing of *Enterococcus faecalis* by MTAD and chlorhexidine digluconate with or without cetrimide in the presence or absence of dentine powder or BSA. *Journal of Endodontics*, 32(2):138-141, 2006.
98. Basrani B. Chlorhexidine gluconate. *Australian Endodontic Journal*, 31(2):48-52, 2005.
99. Drews DJ, Nguyen AD, Diederich A, Gernhardt CR. The interaction of two widely used endodontic irrigants, chlorhexidine and sodium hypochlorite, and its impact on the disinfection protocol during root canal treatment. *Antibiotics*, 12(3):589, 2023.
100. Surender L, Shikha A, Swathi A, Manaswini C, Habeeb A, Prabha SS. Alexidine: a safer and an effective root canal irrigant than chlorhexidine. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(7):ZC18, 2017.
101. Varadan P, Ganesh A, Konindala R, Nagendrababu V, Ashok R, Deivanayagam K. Comparison of the antibacterial efficacy of alexidine and chlorhexidine against *enterococcus faecalis*: an in vitro study. *Cureus*, 9(10), 2017.
102. Zorko M, Jerala R. Alexidine and chlorhexidine bind to lipopolysaccharide and lipoteichoic acid and prevent cell activation by antibiotics. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 62(4):730-737, 2008.
103. Tandjung L, Waltimo T, Hauser I, Heide P, Decker EM, Weiger R. Octenidine in root canal and dentine disinfection ex vivo. *International Endodontic Journal*, 40(11):845-851, 2007.
104. Meißner A, Hasenclever D, Brosteanu O, Chaberny IF. Effect of daily antiseptic body wash with octenidine on nosocomial primary bacteraemia and nosocomial multidrug-resistant organisms in intensive care units: design of a multicentre, cluster-randomised, double-blind, cross-over study. *British Medical Journal Open*, 7(11):e016251, 2017.
105. Tirali RE, Turan Y, Akal N, Karahan ZC. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of NaOCl and octenisept in elimination of endodontic pathogens. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 108(5):e117-e120, 2009.

106. Giardino L, Ambu E, Becce C, Rimondini L, Morra M. Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *Journal of Endodontics*, 32(11):1091-1093, 2006.
107. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, et al. A new solution for the removal of the smear layer. *Journal of Endodontics*, 29(3):170-175, 2003.
108. Baumgartner JC, Johal S, Marshall JG. Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, 33(1):48-51, 2007.
109. Tay FR, Mazzoni A, Pashley DH, Day TE, Ngoh EC, Breschi L. Potential iatrogenic tetracycline staining of endodontically treated teeth via NaOCl/MTAD irrigation: a preliminary report. *Journal of Endodontics*, 32(4):354-358, 2006.
110. Giardino L, Ambu E, Savoldi E, Rimondini R, Cassanelli C, Debbia EA. Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite, MTAD, and Tetraclean against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Journal of Endodontics*, 33(7):852-855, 2007.
111. Haapasalo M, Qian W, Shen Y. Irrigation: beyond the smear layer. *Endodontic Topics*, 27(1):35-53, 2012.
112. Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *International Endodontic Journal*, 45(4):363-371, 2012.
113. Ma J, Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. A new noninvasive model to study the effectiveness of dentin disinfection by using confocal laser scanning microscopy. *Journal of Endodontics*, 37(10):1380-1385, 2011.
114. Iqbal A. Antimicrobial irrigants in the endodontic therapy. *International Journal of Health Sciences*, 6(2):186, 2012.
115. Steinberg D, Heling I, Daniel I, Ginsburg I. Antibacterial synergistic effect of chlorhexidine and hydrogen peroxide against *streptococcus sobrinus*, *streptococcus faecalis* and *staphylococcus aureus*. *Journal of Oral Rehabilitation*, 26(2):151-156, 1999.

116. Beltz RE, Torabinejad M, Pouresmail M. Quantitative analysis of the solubilizing action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp and dentin. *Journal of Endodontics*, 29(5):334-337, 2003.
117. Heling I, Chandler N. Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules. *International Endodontic Journal*, 31(1):8-14, 1998.
118. Siqueira Jr J, Barnett F. Interappointment pain: mechanisms, diagnosis, and treatment. *Endodontic Topics*, 7(1):93-109, 2004.
119. Prado M, Júnior HMS, Rezende CM, Pinto AC, Faria RB, Simão RA, et al. Interactions between irrigants commonly used in endodontic practice: a chemical analysis. *Journal of Endodontics*, 39(4):505-510, 2013.
120. Gomes BP, Aveiro E, Kishen A. Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. *Brazilian Dental Journal*, 34(4):1-33, 2023.
121. Buck R, Eleazer P, Staat R, Scheetz J. Effectiveness of three endodontic irrigants at various tubular depths in human dentin. *Journal of Endodontics*, 27(3):206-208, 2001.
122. Manekk RS, Gharde P, Gattani R, Lamture Y, Gattani RG. Surgical complications and its grading: a literature review. *Cureus*, 14(5), 2022.
123. Omokanye LO, Durowade K, Biliaminu S, Salaudeen A, Panti A. Pregnancy outcomes following assisted reproduction technologies for infertile women at a public health institution in Nigeria. *Tropical Journal of Health Sciences*, 22(2):1-6, 2015.
124. Patel S, Rhodes J. A practical guide to endodontic access cavity preparation in molar teeth. *British Dental Journal*, 203(3):133-140, 2007.
125. AlRahabi MK. Evaluation of complications of root canal treatment performed by undergraduate dental students. *Libyan Journal of Medicine*, 12(1), 2017.
126. Taintor JF, Biesterfeld RC. A swallowed endodontic file: case report. *Journal of Endodontics*, 4(8):254-255, 1978.
127. De Sermeño RF, da Silva LAB, Herrera H, Herrera H, Silva RAB, Leonardo MR. Tissue damage after sodium hypochlorite extrusion during root canal treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 108(1):e46-e49, 2009.

128. Bernardi A, Teixeira CS. The properties of chlorhexidine and undesired effects of its use in endodontics. *Quintessence International*, 46(7), 2015.
129. Scarano A, Di Carlo F, Quaranta A, Piattelli A. Injury of the inferior alveolar nerve after overfilling of the root canal with endodontic cement: a case report. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 104(1):e56-e59, 2007.
130. Qi L, Wang, Xing, Wu Pl. Changes of root surface temperature generated by different bypassing warm gutta percha obturation methods. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 18(25):4009, 2014.
131. Seltzer S, Naidorf IJ. Flare ups in endodontics: I. etiological factors. *Journal of Endodontics*, 11(11):472-478, 1985.
132. Matusow RJ. The flare up phenomenon in endodontics: a clinical perspective and review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 65(6):750-753, 1988.
133. Balto K. Single or multiple visit endodontics: which technique results in fewest postoperative problems? *Evidence Based Dentistry*, 10(1):16-16, 2009.
134. Huang X, Ling J, Wei X, Gu L. Quantitative evaluation of debris extruded apically by using ProTaper Universal Tulsa rotary system in endodontic retreatment. *Journal of Endodontics*, 33(9):1102-1105, 2007.
135. Clarkson R, Moule A, Podlich H, Kellaway R, Macfarlane R, Lewis D, et al. Dissolution of porcine incisor pulps in sodium hypochlorite solutions of varying compositions and concentrations. *Australian Dental Journal*, 51(3):245-251, 2006.
136. Kerbl FM, DeVilliers P, Litaker M, Eleazer PD. Physical effects of sodium hypochlorite on bone: an ex vivo study. *Journal of Endodontics*, 38(3):357-359, 2012.
137. İriboz E, Bayraktar K, Türkaydın D, Tarçın B. Comparison of apical extrusion of sodium hypochlorite using 4 different root canal irrigation techniques. *Journal of Endodontics*, 41(3):380-384, 2015.
138. Nassar M, Hiraishi N, Tamura Y, Otsuki M, Aoki K, Tagami J. Phytic acid: an alternative root canal chelating agent. *Journal of Endodontics*, 41(2):242-247, 2015.

139. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature-Part 2. Influence of clinical factors. *International Endodontic Journal*, 41(1):6-31, 2008.
140. Gu Ls, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of Endodontics*, 35(6):791-804, 2009.
141. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *Journal of Endodontics*, 21(5):277-280, 1995.
142. Yilmaz A, Yalcin TY, Helvacioğlu Yigit D. Effectiveness of various final irrigation techniques on sealer penetration in curved roots: a confocal laser scanning microscopy study. *BioMed Research International*, 2020(1):8060489, 2020.
143. Boutsoukakis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis L. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady computational fluid dynamics model. *International Endodontic Journal*, 43(10):874-881, 2010.
144. Guerreiro Tanomaru JM, Loiola LE, Morgental RD, Leonardo RdT, Tanomaru Filho M. Efficacy of four irrigation needles in cleaning the apical third of root canals. *Brazilian Dental Journal*, 24(1):21-24, 2013.
145. Van der Sluis L, Gambarini G, Wu M, Wesselink P. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *International Endodontic Journal*, 39(6):472-476, 2006.
146. Rajeswari PR, Sivakumar AA, Sivakumar J, Soundappan JS, Chittrarasu M, Aravindhkumar A. Evaluating the influence of different irrigation needles on the apical cleaning efficacy of endodontic irrigation: an in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(4):336-342, 2025.
147. Shen Y, Gao Y, Qian W, Ruse ND, Zhou X, Wu H, et al. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *Journal of Endodontics*, 36(5):884-889, 2010.

148. Boutsoukias C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36(5):875-879, 2010.
149. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *Journal of Endodontics*, 36(8):1361-1366, 2010.
150. Al Hadlaq SM, A Turaiki SA, Al Sulami U, Saad AY. Efficacy of a new brush covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 32(12):1181-1184, 2006.
151. Wu M, Van Der Sluis L, Wesselink P. A preliminary study of the percentage of gutta percha filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta percha. *International Endodontic Journal*, 35(6):527-535, 2002.
152. Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *Journal of Endodontics*, 16(7):323-327, 1990.
153. Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M. Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96(5):614-617, 2003.
154. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy: a new concept of endodontic files and its implementation. *Journal of Endodontics*, 36(4):679-690, 2010.
155. Hof R, Perevalov V, Eltanani M, Zary R, Metzger Z. The self-adjusting file (SAF). Part 2: mechanical analysis. *Journal of Endodontics*, 36(4):691-696, 2010.
156. Alkahtany SM, Alfadhel R, AlOmair A, Durayhim SB. Characteristics and effectiveness of XP-Endo files and systems: a narrative review. *International Journal of Dentistry*, 2024(1):9412427, 2024.

157. Vaz Garcia ES, Vieira VTL, Petitet NPdSF, Moreira EJJ, Lopes HP, Elias CN, et al. Mechanical properties of anatomic finishing files: XP-Endo Finisher and XP-Clean. *Brazilian Dental Journal*, 29(2):208-213, 2018.
158. Virdee S, Seymour D, Farnell D, Bhamra G, Bhakta S. Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 51(6):605-621, 2018.
159. Karade P, Chopade R, Patil S, Hoshing U, Rao M, Rane N, et al. Efficiency of different endodontic irrigation and activation systems in removal of the smear layer: a scanning electron microscopy study. *Iranian Endodontic Journal*, 12(4):414, 2017.
160. Türker SA, Koçak MM, Koçak S, Sağlam BC. Comparison of calcium hydroxide removal by self-adjusting file, EndoVac, and CanalBrush agitation techniques: an in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 16(5):439-443, 2013.
161. Ragul P, Dhanraj M, Jain AR. Irrigation technique used in cleaning and shaping during endodontic treatment: a review. *Drug Invent Today*, 10(5):739-743, 2018.
162. Sarno MU, Sidow SJ, Looney SW, Lindsey KW, Niu Ln, Tay FR. Canal and isthmus debridement efficacy of the VPro EndoSafe negative-pressure irrigation technique. *Journal of Endodontics*, 38(12):1631-1634, 2012.
163. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Dental Traumatology*, 1(2):69-76, 1985.
164. Kanter V, Weldon E, Nair U, Varella C, Kanter K, Anusavice K, et al. A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems on canal cleanliness and obturation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112(6):809-813, 2011.
165. Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *Journal of Endodontics*, 35(4):545-549, 2009.

166. Bolles JA, He J, Svoboda KK, Schneiderman E, Glickman GN. Comparison of Vibrate, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *Journal of Endodontics*, 39(5):708-711, 2013.
167. Zeng C, Willison J, Meghil MM, Bergeron BE, Cutler CW, Tay FR, et al. Antibacterial efficacy of an endodontic sonic-powered irrigation system: an in vitro study. *Journal of Dentistry*, 75:105-112, 2018.
168. Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, et al. Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *Journal of Applied Oral Science*, 27:e20180045, 2019.
169. Donnermeyer D, Wyrsh H, Bürklein S, Schäfer E. Removal of calcium hydroxide from artificial grooves in straight root canals: sonic activation using EDDY versus passive ultrasonic irrigation and XPendo Finisher. *Journal of Endodontics*, 45(3):322-326, 2019.
170. Walmsley A. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *International Endodontic Journal*, 20(3):105-111, 1987.
171. Ahmad M, Ford TRP, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *Journal of Endodontics*, 13(3):93-101, 1987.
172. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *Journal of Endodontics*, 33(2):81-95, 2007.
173. Kimura Y, Wilder Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics: a review. *International Endodontic Journal*, 33(3):173-185, 2000.
174. Koba, Kimura, Matsumoto, Takeuchi, Ikarugi, Shimizu. A histopathological study of the morphological changes at the apical seat and in the periapical region after irradiation with a pulsed Nd: YAG laser. *International Endodontic Journal*, 31(6):415-420, 1998.
175. Esenaliev RO, Oraevsky AA, Letokhov VS, Karabutov AA, Malinsky TV. Studies of acoustical and shock waves in the pulsed laser ablation of biotissue. *Lasers in Surgery and Medicine*, 13(4):470-484, 1993.

176. Armengol V, Jean A, Rohanizadeh R, Hamel H. Scanning electron microscopic analysis of diseased and healthy dental hard tissues after Er:YAG laser irradiation: in vitro study. *Journal of Endodontics*, 25(8):543-546, 1999.
177. Bader C, Krejci I. Indications and limitations of Er:YAG laser applications in dentistry. *American Journal of Dentistry*, 19(3):178, 2006.
178. Blanken J, De Moor RJG, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers in Surgery and Medicine*, 41(7):514-519, 2009.
179. Jezeršek M, Jereb T, Lukač N, Tenyi A, Lukač M, Fidler A. Evaluation of apical extrusion during novel Er: YAG laser-activated irrigation modality. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 37(9):544-550, 2019.
180. Haapasalo M, Wang Z, Shen Y, Curtis A, Patel P, Khakpour M. Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 40(8):1178-1181, 2014.
181. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, Woo SM. 12-month healing rates after endodontic therapy using the novel GentleWave system: a prospective multicenter clinical study. *Journal of Endodontics*, 42(7):1040-1048, 2016.
182. Myers GL, Montgomery S. A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and Canal Master techniques. *Journal of Endodontics*, 17(6):275-279, 1991.
183. Hachmeister DR, Schindler WG, Walker III WA, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *Journal of Endodontics*, 28(5):386-390, 2002.
184. Altundasar E, Nagas E, Uyanik O, Serper A. Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112(4):e31-e35, 2011.
185. Mitchell RP, Yang SE, Baumgartner JC. Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*, 36(2):338-341, 2010.
186. Siqueira Jr J, Pérez A, Marceliano Alves M, Provenzano J, Silva S, Pires F, et al. What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using

- micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *International Endodontic Journal*, 51(5):501-508, 2018.
187. Chaudhry H, Wildan T, Popat S, Anand R, Dhariwal D. Before you reach for the bleach. *British Dental Journal*, 210(4):157-160, 2011.
  188. Paixão S, Gomes PS, Fernandes MH, Rodrigues C, Grenho L. Comparative evaluation of ultrasonic and sonic irrigant activation systems: assessing extrusion risk, debridement, and biofilm removal in distinct apical preparation sizes. *Applied Sciences*, 14(9):3904, 2024.
  189. Uğur Aydın Z, Erdönmez D, Ateş MO, Doğan T. Efficacy of different irrigation activation systems on bacterial extrusion. *Australian Endodontic Journal*, 47(2):137-142, 2021.
  190. Yost RA, Bergeron BE, Kirkpatrick TC, Roberts MD, Roberts HW, Himel VT, et al. Evaluation of four different irrigating systems for apical extrusion of sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 41(9):1530-1534, 2015.
  191. Vidas J, Snjaric D, Braut A, Carija Z, Persic Bukmir R, De Moor RJ, et al. Comparison of apical irrigant solution extrusion among conventional and laser-activated endodontic irrigation. *Lasers in Medical Science*, 35(1):205-211, 2020.
  192. Abat VH, Bayrak GD, Gündoğar M. Assessment of apical extrusion in regenerative endodontics: a comparative study of different irrigation methods using three-dimensional immature tooth models. *Odontology*, 113(1):213-221, 2025.
  193. Li S, Tang M, Wang X, Yang J. Comparison of shaping ability and apical debris extrusion using four different nickel-titanium single-file systems. *International Journal of Biomaterials*, 2025(1):2161833, 2025.
  194. Tasdemir T, Er K, Celik D, Yildirim T. Effect of passive ultrasonic irrigation on apical extrusion of irrigating solution. *European Journal of Dentistry*, 2(03):198-203, 2008.
  195. Velmurugan N, Sooriaprakas C, Jain P. Apical extrusion of irrigants in immature permanent teeth by using EndoVac and needle irrigation: an in vitro study. *Journal of Dentistry*, 11(4):433, 2014.

196. Psimma Z, Boutsoukios C, Vasiliadis L, Kastrinakis E. A new method for real-time quantification of irrigant extrusion during root canal irrigation ex vivo. *International Endodontic Journal*, 46(7):619-631, 2013.
197. Ruiz Hubbard EE, Gutmann JL, Wagner MJ. A quantitative assessment of canal debris forced periapically during root canal instrumentation using two different techniques. *Journal of Endodontics*, 13(12):554-558, 1987.
198. Kum KY, Spångberg L, Cha BY, Il Young J, Seung Jong L, Chan Young L. Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *Journal of Endodontics*, 26(12):719-723, 2000.
199. Ok E, Altunsoy M, Nur BG, Aglarci OS, Çolak M, Güngör E. A cone-beam computed tomography study of root canal morphology of maxillary and mandibular premolars in a Turkish population. *Acta Odontologica Scandinavica*, 72(8):701-706, 2014.
200. Vangala A, Doshi SR, Aparadh A. Apical extrusion of sodium hypochlorite using various mechanical activators. *World Journal of Dentistry*, 7(3):146-149, 2011.
201. Helvacioğlu Kıvanç B, Deniz Arisu H, Yanar NÖ, Silah HM, İnam R, Görgül G. Apical extrusion of sodium hypochlorite activated with two laser systems and ultrasonics: a spectrophotometric analysis. *BMC Oral Health*, 15(1):71, 2015.
202. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation-literature review and case reports. *International Endodontic Journal*, 33(3), 2000.
203. Sim T, Knowles J, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *International Endodontic Journal*, 34(2):120-132, 2001.
204. D'Souza N, Santhosh A, Kumari A, Murthy CS, Gowda V, Mallandur S. Effect of different irrigation activation systems using continuous chelating irrigation protocol on the removal of smear layer in the apical third of root canals: An In Vitro scanning electron microscope study. *Endodontology*, 36(1):49-53, 2024.
205. Arslan H, Akcay M, Ertas H, Capar ID, Saygili G, Meşe M. Effect of PIPS technique at different power settings on irrigating solution extrusion. *Lasers in Medical Science*, 30(6):1641-1645, 2015.

206. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *International Endodontic Journal*, 34(5):390-398, 2001.
207. Iqbal M, Firic S, Tulcan J, Karabucak B, Kim S. Comparison of apical transportation between ProFile™ and ProTaper™ NiTi rotary instruments. *International Endodontic Journal*, 37(6):359-364, 2004.
208. Ruddle CJ. The ProTaper endodontic system: geometries, features, and guidelines for use. *Dentistry Today*, 20(10):60-67, 2001.
209. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Uysal B. Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *Journal of Endodontics*, 40(9):1482-1484, 2014.
210. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Ertas H. An in vitro comparison of apically extruded debris and instrumentation times with ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File Adaptive, and HyFlex instruments. *Journal of Endodontics*, 40(10):1638-1641, 2014.
211. Gu XH, Mao CY, Kern M. Effect of different irrigation on smear layer removal after post space preparation. *Journal of Endodontics*, 35(4):583-586, 2009.
212. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of Endodontics*, 28(1):17-19, 2002.
213. Darda S, Madria K, Jamenis R, Heda A, Khanna A, Sardar L. An in-vitro evaluation of effect of EDTAC on root dentin with respect to time. *Journal of International Oral Health*, 6(2):22, 2014.
214. Kuah HG, Lui JN, Tseng PS, Chen NN. The effect of EDTA with and without ultrasonics on removal of the smear layer. *Journal of Endodontics*, 35(3):393-396, 2009.
215. Abarajithan M, Dham S, Velmurugan N, Valerian Albuquerque D, Ballal S, Senthilkumar H. Comparison of Endovac irrigation system with conventional irrigation for removal of intracanal smear layer: an in vitro study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112(3):407-411, 2011.
216. Karataşlıoğlu E, Tosun S. Alternatif bir irrigasyon solüsyonu olarak melatoninin smear tabakası uzaklaştırma etkinliğinin incelenmesi: sem

- çalışması. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 29(4):576-581, 2019.
217. Kökçü GD, Güral A, Altunkaynak B, Kayaoğlu G. Son yıkamada kullanılan %5 ve %17 EDTA çözeltilerinin smear tabaka ve debris uzaklaştırma etkinliklerinin ve dentin mikrosertliğine etkilerinin karşılaştırılması: in vitro çalışma. *Acta Odontologica Turcica*, 33(2):63-68.
  218. Ferraz C, Gomes N, Gomes B, Zaia A, Teixeira F, Souza Filho F. Apical extrusion of debris and irrigants using two hand and three engine-driven instrumentation techniques. *International Endodontic Journal*, 34(5):354-358, 2001.
  219. Lu Y, Wang R, Zhang L, Li H, Zheng Q, Zhou X, et al. Apically extruded debris and irrigant with two Ni-Ti systems and hand files when removing root fillings: a laboratory study. *International Endodontic Journal*, 46(12):1125-1130, 2013.
  220. Tanalp J, Kaptan F, Sert S, Kayahan B, Bayırlı G. Quantitative evaluation of the amount of apically extruded debris using 3 different rotary instrumentation systems. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 101(2):250-257, 2006.
  221. Üstün Y, Çanakçı B, Dinçer A, Er O, Düzgün S. Evaluation of apically extruded debris associated with several Ni-Ti systems. *International Endodontic Journal*, 48(7):701-704, 2015.
  222. Camoes IC, Salles MR, Fernando MVM, Freitas LF, Gomes CC. Relationship between the size of patency file and apical extrusion of sodium hypochlorite. *Indian Journal of Dental Research*, 20(4):426-430, 2009.
  223. Williams C, Reid J, Sharkey S, Saunders W. In-vitro measurement of apically extruded irrigant in primary molars. *International Endodontic Journal*, 28(4):221-225, 1995.
  224. Uzunoglu E, Görduysus M. Apical extrusion of debris and irrigant using novel preparation systems. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 15(4):423-427, 2014.
  225. Salzgeber RM, Brilliant JD. An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *Journal of Endodontics*, 3(10):394-398, 1977.

226. Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *Journal of Endodontics*, 39(4):521-524, 2013.
227. Azim AA, Aksel H, Margaret Jefferson M, Huang GTJ. Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. *Clinical Oral Investigations*, 22(2):1055-1061, 2018.
228. Dos Reis S, Cruz VM, Duarte MAH, da Silveira Bueno CE, Vivan RR, Pelegri RA, et al. Volumetric analysis of irrigant extrusion in immature teeth after different final agitation techniques. *Journal of Endodontics*, 46(5):682-687, 2020.
229. Fairbourn DR, McWalter GM, Montgomery S. The effect of four preparation techniques on the amount of apically extruded debris. *Journal of Endodontics*, 13(3):102-108, 1987.
230. McKendry DJ. Comparison of balanced forces, endosonic, and step-back filing instrumentation techniques: quantification of extruded apical debris. *Journal of Endodontics*, 16(1):24-27, 1990.
231. Güven Y, Uygun AD, Arslan H. Efficacy of EDDY, ultrasonic activation, XP-endo finisher and needle irrigation on the removal of mTAP from artificially created grooves in root canals. *Australian Endodontic Journal*, 47(3):639-644, 2021.
232. Silva FdM, Macedo IFA, Resende PD, Tavares WLF, Buono VTL, Santos Lda, et al. XP-Endo finisher behaviour and irrigant temperature in intracanal environment: clinical measurements. *International Endodontic Journal*, 58(1):141-149, 2025.
233. Türker SA, Kaşıkçı S. The effect of XP-endo finisher and XP-endo finisher r supplementary files on the apical debris extrusion during retreatment. *Turkish Endodontic Journal*, 6(1):14-18, 2021.
234. Marques da Silva B, Alberton C, Tomazinho F, Gabardo M, Duarte MAH, Vivan RR, et al. Effectiveness of five instruments when removing calcium hydroxide paste from simulated internal root resorption cavities in extracted

- maxillary central incisors. *International Endodontic journal*, 53(3):366-375, 2020.
235. Hassan E, Sharaan M, Ragab M. Cleaning efficacy and debris extrusion using XP-endo Finisher and XP-endo Finisher R as supplementary files during retreatment: an in vitro study. *European Endodontic Journal*, 7(1):40, 2022.
  236. Sarıyılmaz E, Keskin C. Apical extrusion of debris and irrigant using XP-Endo Finisher, EndoActivator, passive ultrasonic irrigation or syringe irrigation. *Meandros Medical and Dental Journal*, 19(2):127-131, 2018.
  237. Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *Journal of Endodontics*, 37(12):1677-1681, 2011.
  238. Seghayer I, Lee AH, Cheung GS, Zhang C. Effect of passive ultrasonic irrigation, Er, Cr:YSGG laser, and photon-induced photoacoustic streaming against *Enterococcus faecalis* biofilms in the apical third of root canals. *Bioengineering*, 10(4):490, 2023.
  239. De Vasconcelos Neves G, Dos Santos KSA, de Souza Sales EAL, de Moura RQ, Barros DGM, Gominho LF, et al. Antibacterial effect of photodynamic therapy on root canal disinfection combined with different irrigation protocols. *Iranian Endodontic Journal*, 15(2):90, 2020.
  240. Miller TA, Baumgartner JC. Comparison of the antimicrobial efficacy of irrigation using the EndoVac to endodontic needle delivery. *Journal of Endodontics*, 36(3):509-511, 2010.
  241. Siu C, Baumgartner JC. Comparison of the debridement efficacy of the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. *Journal of Endodontics*, 36(11):1782-1785, 2010.
  242. Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*, 33(5):611-615, 2007.
  243. Sharma R, Kumar V, Logani A, Chawla A, Sharma S, Koli B. Effect of gravity on periapical extrusion of irrigating solution with different irrigation protocols in immature anterior teeth. *European Endodontic Journal*, 5(2):150, 2020.
  244. Kungwani ML, Prasad KP, Khiyani TS. Comparison of the cleaning efficacy of EndoVac with conventional irrigation needles in debris removal from root

- canal: an in-vivo study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 17(4):374-378, 2014.
245. Dhanalakshmi P, Kumar K, Rashmi K, Brigit B, Shwetha R, Neelakantappa KK. Quantification of calcium ions from the irrigants activated with Erbium-Doped Yttrium Aluminum Garnet (Er:YAG) Laser in the root dentin: an in vitro atomic absorption spectrophotometer study. *Cureus*, 15(11), 2023.
  246. George R, Walsh LJ. Apical extrusion of root canal irrigants when using Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers with optical fibers: an in vitro dye study. *Journal of Endodontics*, 34(6):706-708, 2008.
  247. Zhan R, Hubbezoğlu I, Sümer Z, Tunç T, Tanalp J. Antibacterial effects of two different types of laser and aqueous ozone against *Enterococcus faecalis* in root canals. *Photomedicine and Laser Surgery*, 31(4):150-154, 2013.
  248. Schoop U, Moritz A, Kluger W, Patruta S, Goharkhay K, Sperr W, et al. The Er:YAG laser in endodontics: results of an in vitro study. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 30(5):360-364, 2002.
  249. Dos Santos MC, da Silveira Teixeira C, Garcia LdFR, Henriques B, Tay FR, Bortoluzzi EA. Heated distilled water with or without continuous ultrasonic irrigation improves final irrigation efficacy and reduces dentine erosion. *Journal of Dentistry*, 103:103507, 2020.
  250. Verma D, Taneja S, Kumari M. Efficacy of different irrigation regimes on the push-out bond strength of various resin based sealers at different root levels: an in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 21(2):125-129, 2018.
  251. Scelza M, Da Silva D, Scelza P, De Noronha F, Barbosa I, Souza E, et al. Influence of a new push-out test method on the bond strength of three resin based sealers. *International Endodontic Journal*, 48(8):801-806, 2015.
  252. Souza MA, Bonacina LV, Ricci R, Rauber MGP, Zuchi N, Hoffmann IP, et al. Influence of final irrigation protocols and type of resin cement on bond strength of glass fiber posts in root dentin previously treated with photodynamic therapy. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 26:224-228, 2019.

253. Alkahtani A, Al Khudhairi TD, Anil S. A comparative study of the debridement efficacy and apical extrusion of dynamic and passive root canal irrigation systems. *BMC Oral Health*, 14(1):12, 2014.
254. Venumbaka NR, Baskaran P, Mungara J, Chenchugopal M, Elangovan A, Vijayakumar P. Comparative evaluation of endovac and conventional irrigating syringe on apical extrusion in primary molars: an in vitro study. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 42(5):355-360, 2018.
255. Rodríguez Figueroa C, McClanahan SB, Bowles WR. Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, EndoActivator or syringe irrigation. *Journal of Endodontics*, 40(10):1622-1626, 2014.
256. Genc Sen O, Kaya M. Comparative safety of needle, EndoActivator, and laser activated irrigation in overinstrumented root canals. *Photomedicine and Laser Surgery*, 36(4):198-202, 2018.
257. Yao K, Satake K, Watanabe S, Ebihara A, Kobayashi C, Okiji T. Effect of laser energy and tip insertion depth on the pressure generated outside the apical foramen during Er:YAG laser activated root canal irrigation. *Photomedicine and Laser Surgery*, 35(12):682-687, 2017.
258. Gündoğar M, Sezgin GP, Kaplan SS, Özyürek H, Uslu G, Özyürek T. Postoperative pain after different irrigation activation techniques: a randomized, clinical trial. *Odontology*, 109(2):385-392, 2021.
259. Nasr El Din S, Hassan R. The efficacy of various irrigation techniques on the removal of double antibiotic paste from simulated immature roots and the amount of apically extruded debris. *British Dental Journal Open*, 10(1):2, 2024.
260. Tanalp J. A critical analysis of research methods and experimental models to study apical extrusion of debris and irrigants. *International Endodontic Journal*, 55:153-177, 2022.