

MERYEM RANA
YETIŐKUL

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ SAĞ. BİL.
ENST.

DOKTORA TEZİ

İSTANBUL
2023

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

(DOKTORA TEZİ)

**KALSİYUM SİLİKAT ESASLI PATLARIN OVAL
KANALLI DİŞLERİN KIRILMA DİRENCİ ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

MERYEM RANA YETİŞKUL

**DANIŞMAN
PROF. DR. HANDAN ERSEV**

**ENDODONTİ ANABİLİM DALI
ENDODONTİ DOKTORA PROGRAMI**

İSTANBUL-2023

TEZ ONAYI



BEYAN



İTHAF

Aileme ithaf ediyorum.



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca bilimsel ve mesleki tecrübesi ile yoluma ışık tutan değerli hocam ve danışmanım *Prof. Dr. Handan ERSEV'e*,

Eğitimimde emeği geçen başta Anabilim Dalı Başkanı *Prof. Dr. Faruk HAZNEDAROĞLU* ve *Doç. Dr. Ayça YILMAZ* olmak üzere İstanbul Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nın çok değerli öğretim üyelerine,

Doktora eğitimim sürecinde özellikle klinik alanda bana hep yol gösteren ve desteğini esirgemeyen değerli *Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı Selçuk GÖKYAY* ve *Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer Emir DİNÇOL'a*,

Tez sürecinde bilgilerinden yararlanmama izin veren sevgili arkadaşlarım *Dr. Dt. Rüya ULUÖZ* ve *Dr. Dt. İlkin ŞEMİ'ye*,

Doktora hayatımı keyifli bir yolculuk haline getiren sevgili arkadaşlarım *Dt. Alp SİRMAN*, *Dr. Dt. Osman ÜNLÜ*, *Dt. Ayşenur ÖZTÜRK*, *Dr. Dt. Uğur AKSOY*, *Dr. Dt. Pelin BOZBULUT*, *Dr. Dt. Bulut Hakan ŞAHİN* ve tüm diğer asistan arkadaşlarıma,

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi doktora sürecinde de desteğini hep hissettiğim sevgili arkadaşım *Dt. İmge ÇAKIR ŞENYÜZ'e*,

Doğduğum günden itibaren hayatın her alanında olduğu gibi bu süreçte de sabrını, ilgisini, sevgisini ve desteğini esirgemeyen canım annem ve babama çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	İİ
İTHAF.....	İİİ
TEŞEKKÜR.....	İV
İÇİNDEKİLER	V
TABLolar LİSTESİ.....	Vİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ	Vİİİ
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ	İX
ÖZET	X
ABSTRACT.....	Xİ
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Dikey Kök Kırıkları	4
2.1.1. Etiyolojisi.....	5
2.1.2. Görülme Sıklığı.....	5
2.2. Kök Kanalı Tedavisinin Dişlerin Kırılma Direncine Etkisi.....	6
2.2.1. Giriş Kavitesi Hazırlanmasının Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi	7
2.2.2. Kök Kanallarının Şekillendirilmesinin Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi.....	8
2.2.3. Kök Kanallarının Doldurulmasının Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi	10
2.2.4. Kanal Tedavisi Sonrasında Uygulanan Kuronal Restorasyonun Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi	11
2.3. Yıkama Solüsyonları.....	12
2.3.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....	14
2.3.2. Etilendiamintetraasetikasit (EDTA).....	15
2.4. Kanal Dolgu Materyalleri	18
2.4.1. Epoksi Reçine Esaslı Kanal Patları.....	21
2.4.1.1. AH Plus (De Trey, Dentsply, Konstanz, Almanya).....	21
2.4.2. Kalsiyum Silikat Esaslı Kanal Patları	22
2.4.2.1. TotalFill BC (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre).....	25

2.4.2.2. BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Fransa).....	26
2.4.3. Kanal Patlarının Dentine Bağlanma Dayanımlarını İnceleyen Çalışmalar	26
2.4.3.1. Yıkama Solüsyonlarının Kanal Patlarının Dentine Bağlanma Dayanımına Etkisini İnceleyen Çalışmalar.....	29
2.4.4. Kanal Patlarının Dişlerin Kırılma Direncine Etkisini İnceleyen Çalışmalar	32
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	38
4. BULGULAR.....	44
5. TARTIŞMA.....	48
6. SONUÇLAR.....	63
KAYNAKLAR	64
ETİK KURUL KARARI	92
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI.....	93
ÖZGEÇMİŞ	94

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2-1: Endodontide Kullanılan Güncel Yıkama Solüsyonları

Tablo 2-2: Piyasada Bulunan Kalsiyum Silikat Esaslı Kanal Patları

Tablo 4-1: Grupların Kırılma Direnci Değerleri (Newton) (n=12)

Tablo 4-2: Grupların İkili Karşılaştırmaları

Tablo 4-3: Son Yıkama Protokolünden Bağımsız Olarak Kanal Patı Gruplarının Kırılma Direnci Değerleri (Newton)

Tablo 4-4: Son Yıkama Protokolünden Bağımsız Olarak Kanal Patı Gruplarının Kırılma Direnci Değerlerinin İkili Karşılaştırmaları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3-1: Çekilmiş Diş Örneklerinin Gruplanması

Şekil 3-2: Çalışmamızda Kullanılan Kanal Patları

Şekil 3-3: Universal Test Cihazı (Autograph AG-X; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)

Şekil 3-4: Kırılma Direnci Testi Sonrası Oluşan Dikey Kök Kırıkları

Şekil 4-1: Grupların Kırılma Direnci Değerleri (Newton)

Şekil 4-2: Son Yıkama Protokolünden Bağımsız Olarak Kanal Patı Gruplarının Kırılma Direnci Değerleri (Newton)

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

NaOCl: sodyum hipoklorit

EDTA: etilendiamintetraasetikasit

mm: milimetre

dk: dakika

rpm: devir sayısı/dakika

Ncm: Newton santimetre

NiTi: nikel-titanyum

MTA: mineral trioksit agregat

ark.: arkadaşları

in vitro: laboratuvar ortamında

in vivo: canlı ortamda

°C: santigrat derece

P: istatistiksel anlam değeri

ÖZET

Yetişkul, M.R. (2023). Kalsiyum Silikat Esaslı Patların Oval Kanallı Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisinin Karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Endodonti Anabilim Dalı. Doktora Tezi. İstanbul.

Bu çalışmada TotalFill BC (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) ve BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Fransa) patlarının oval kök ve kanallı dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkilerinin, iki farklı son yıkama protokolü sonrasında AH Plus (De Trey, Dentsply, Konstanz, Almanya) patınıniki ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. 96 adet alt insan keser dişi kullanılan çalışmada, dişlerin kuronları köklerin boyu 14 mm kalacak şekilde uzaklaştırılmış ve örnekler rastgele 8 gruba ayrılmıştır (n=12). Negatif kontrol grubundaki kökler şekillendirilmemiş ve doldurulmamıştır. Şekillendirme sonrasında son yıkama %17'lik EDTA ve distile su ile gerçekleştirilmiştir. Pozitif kontrol grubundaki kökler doldurulmamıştır. Kök kanalları AH Plus, TotalFill BC veya BioRoot RCS patları ile tek kon tekniği kullanılarak doldurulmadan önce, kalan 6 gruptan 3 tanesinde ilave olarak %2,5'lik NaOCl ile yıkama yapılmıştır. 9 mm'si dışarıda kalacak şekilde akrilik bloklara gömülen örnekler kırık gerçekleşene dek 1 mm/dk hız ile dikey yönde kuvvet uygulanmış ve kırılma anındaki yük değeri Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir. İstatistiksel analiz Mann-Whitney U Testi ile yapılmıştır ($P < 0.05$). Negatif kontrol grubundaki köklerin kırılma direnci değerleri, diğer gruplardakinden anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Diğer grupların ikili karşılaştırmalarında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Kalsiyum silikat esaslı patlar, yıkamanın NaOCl ile sonlandırıldığı gruplarda daha başarılı sonuçlar sergilemiştir. AH Plus, TotalFill BC veya BioRoot RCS kullanılarak yapılan kanal dolgusu, oval yatay kesitli kanala sahip oval köklerin şekillendirme ile azalan kırılma direncini geri kazandırmada yeterli olmamıştır. Kalsiyum silikat esaslı patlar, AH Plus ile benzer sonuçlar vermiştir. Kalsiyum silikat esaslı patların kullanıldığı gruplarda NaOCl ile son yıkama, köklerin kırılma direncini olumlu yönde etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırılma direnci, AH Plus, TotalFill BC, BioRoot RCS, oval kanal

ABSTRACT

Yetiskul, M.R. (2023). Comparison of the Fracture Resistance of Teeth with Oval Canals Obturated Using Calcium Silicate-Based Sealers. Istanbul University, Institute of Health Sciences, Department of Endodontics. Doctoral Thesis. Istanbul.

The aim was to compare the fracture resistance of oval roots with oval canals filled with TotalFill BC (FKG, La Chaux-de-Fonds, Switzerland), BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, France) or AH Plus (De Trey, Dentsply, Konstanz, Germany) following two final irrigation protocols. Ninety-six human mandibular incisors were decoronated to a length of 14 mm and randomly divided into 8 groups (n=12). In the negative control group, no instrumentation was carried out. Following root canal instrumentation in the other groups, final irrigation was performed using 17%EDTA and distilled water. The positive control group was left unfilled. Before filling the roots using AH Plus, TotalFill BC or BioRoot RCS with the single-cone technique, an additional irrigation with 2.5%NaOCl was performed in three of the remaining 6 groups. All of the roots were then embedded in acrylic resin blocks, leaving 9 mm of the coronal part exposed and subjected to a vertical loading force of 1 mm/min. The maximum load to produce fracture (N) was recorded. The data were analyzed using Mann-Whitney U test ($P<0.05$). Intact roots in the negative control group showed a significantly higher fracture resistance. Pairwise comparisons of the other groups revealed no significant differences. Calcium-silicate based sealers performed better when the final irrigant was NaOCl. AH Plus, TotalFill BC or BioRoot RCS did not adequately reinforce the oval roots with oval canals. Calcium silicate-based sealers performed similarly to AH Plus. In calcium-silicate based sealer groups, final irrigation with NaOCl seemed to have a positive effect on the fracture resistance of roots.

Key Words: Fracture resistance, AH Plus, TotalFill BC, BioRoot RCS, oval canal

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Endodontik tedavinin amacı; çürük, travma veya enfeksiyon nedeniyle hasara uğrayan dişlerin rehabilite edilerek ağızda uzun süre fonksiyon göstermesidir. Çürük ve travma sebebiyle kırılmaya meyilli olan dişler, giriş kavitesi açılması ve kök kanallarının mekanik şekillendirilmesi ile daha fazla doku kaybına uğramakta ve kırılmalara daha yatkın hale gelmektedir (Sedgley & Messer, 1992). Dikey kök kırıkları, endodontik tedavinin başarısını olumsuz yönde etkileyen önemli bir komplikasyondur ve genellikle dişin çekimiyle sonuçlanır (Meister Jr, Lommel, & Gerstein, 1980; Trope & Ray Jr, 1992).

Kök kanallarının doldurulması ile apikal ve kuralonel yönde mikrosızıntı oluşmaması ve kalan kök yapısının fonksiyonel kuvvetlere karşı daha dirençli olması hedeflenmektedir (Johnson, Stewart, Nielsen, & Hatton, 2000; Muliyar ve ark., 2014). Kalan kök yapısını daha dirençli hale getiren bir kanal dolgu materyalinin seçiminin, dişin uzun dönem başarısı için faydalı olacağı düşünülmektedir. Günümüzde en sık kullanılan kök kanalı dolgu materyalleri, güta-perka ve kanal patlarının kombinasyonudur (Gulsahi, Cehreli, Kuraner, & Dagli, 2007; Karapınar Kazandag, Sunay, Tanalp, & Bayirli, 2009). Kanal patlarının, güta-perka ve dentin arasında kalan boşlukları doldurması ve aynı zamanda dentinle iyi bir bağlantı kurması beklenir (Komabayashi ve ark., 2020). Dentinle iyi bağlantı kuran bir kanal patının, kök dentini ve kor materyalinin bir bütün oluşturmasına katkıda bulunacağı ve dişleri kırılmalara karşı daha dirençli hale getireceği düşünülmektedir (Schäfer, Zandbiglari, & Schäfer, 2007).

Epoksi reçine esaslı AH Plus patının çinko oksit ojenol, cam iyonomer, silikon ve metakrilat reçine esaslı patlara kıyasla dentine bağlanma yeteneklerinin üstün olduğunu ve bu patla doldurulan dişlerin kırılmalara karşı daha dirençli olduğunu bildiren *in vitro* çalışmalar bulunmaktadır (Fisher, Berzins, & Bahcall, 2007; Rahimi, Jainan, Parashos, & Messer, 2009; Uzunoglu-Özyürek, Eren, & Karahan, 2018). Son yıllarda biyouyumluluk ve antibakteriyel özellikleriyle öne çıkan kalsiyum silikat esaslı patların mineralize bir ara yapı oluşumunu uyarması ile dentine bağlanma yeteneklerinin de oldukça iyi olduğu ve kor materyali kullanılmadığında da başarılı bir kanal dolgusu sağladığı üretici firma tarafından öne sürülmektedir ("FKG; TotalFill

broşür," ; "Septodont; BioRoot RCS broşür," ; Sungur, Altundasar, Uzunoglu, & Yilmaz, 2016). Buna rağmen bu patların fizikokimyasal özellikleri, adezyon yetenekleri ve dişlerin kırılma direncine etkileri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmakta ve sonuçları hala tartışılmaktadır (Donnermeyer, Burklein, Dammaschke, & Schafer, 2019; Silva ve ark., 2019). Bu bilgiler ışığında bu çalışmada kalsiyum silikat esaslı patların dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkisinin AH Plus patı ile kıyaslanarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Dikey kök kırıkları, özellikle mezio-distal yönde dar bukko-lingual yönde geniş olan oval yatay kesite sahip köklerde gözlenmektedir (Gutmann, 1992). Lertchirakarn ve ark, kök yatay kesiti ile birlikte kök kanallarının da yatay kesitinin oval olmasının dişleri kırılmalara karşı daha yatkın hale getirdiğini bildirmişlerdir (Lertchirakarn, Palamara, & Messer, 2003b). Literatürde kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dişlerin kırılma direncine etkisinin incelendiği çalışmaların çoğunda alt küçük azı dişlerinin kullanıldığı görülmüş (Almohaimede, Almanie, Alaathy, & Almadi, 2020; Celikten, Uzuntas, & Gulsahi, 2015; Ghoneim, Lutfy, Sabet, & Fayyad, 2011; Hegde & Arora, 2015; Topcuoglu, Tuncay, Karatas, Arslan, & Yeter, 2013; Uzunoglu Ozyurek & Aktemur Turker, 2019) ve bu çalışmada hem kanal hem de kök yatay kesitinin oval olduğu alt keser dişlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

Kök kanallarının şekillendirilmesini takiben, kanalların doldurulmasından önce yapılan yıkama, son yıkama olarak adlandırılır. Son yıkama protokolünde, kök kanallarının şekillendirilmesi sırasında kullanılan aletlerin yüzeyde oluşturduğu tabaka olan smear tabakasının uzaklaştırılması ve ardından kanalların antimikrobiyal bir solüsyonla yıkanması önerilir (Basrani & Haapasalo, 2012). Sodyum hipoklorit solüsyonu, endodontik tedavide en yaygın olarak kullanılan antimikrobiyal yıkama solüsyonu olmakla beraber, bu solüsyonun son yıkama solüsyonu olarak kullanılmasının AH Plus patının dentinle bağlantısına olumsuz etkisi olduğu bildirilmiş ve epoksi reçine esaslı patlar ile kanal dolgusu uygulanırken son yıkama solüsyonu olarak kullanılmaması tavsiye edilmiştir (Neelakantan, Sharma, Shemesh, & Wesselink, 2015; Neelakantan, Subbarao, Subbarao, De-Deus, & Zehnder, 2011). Literatürde diğer kanal patları adına böyle bir değerlendirme yapabilmek için yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple bu çalışmada, sodyum hipoklorit solüsyonunun son

yıkama solüsyonu olarak kullanılmasının, kalsiyum silikat esaslı patların kırılma direnci üzerindeki etkisinin de araştırılması amaçlanmıştır.

Tüm bu bilgiler ışığında bu çalışmada, güncel kalsiyum silikat esaslı kanal patları olan TotalFill BC ve BioRoot RCS patlarının, iki farklı son yıkama protokolü sonrasında, oval kanallı dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkilerinin endodontide altın standart (Silva ve ark., 2019) kabul edilen AH Plus patı ile kıyaslanarak incelenmesi amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dikey Kök Kırıkları

Kök boyunca uzunlamasına veya oblik yönde ilerleyen kırıklar, dikey kök kırıkları olarak adlandırılırlar (Parashos & Messer, 2006; Rivera & Walton, 2008). Dikey kök kırıkları, endodontik tedavinin en önemli komplikasyonlarından. Genellikle tedaviden uzun süre sonra oluşurlar ve prognozu dişlerin çekilmesi ile sonuçlanır (Tamse, Fuss, Lustig, & Kaplavi, 1999; Zandbiglari, Davids, & Schafer, 2006). Amerikan Endodontistler Birliği'nin terimler sözlüğünün son güncellemesine göre dikey kök kırıkları, mezio-distal veya bukko-lingual yönde gelişebilir ve kırık segmentleri birbirinden tam olarak ayrılmamıştır ("Glossary of Endodontic Terms," AAE 2020). Benzer klinik tablonun görüldüğü ancak kırık segmentlerinin birbirinden ayrıldığı vakalar (split root), dikey kök kırıklarından ayrılmaktadır. Dikey kök kırıklarında kırık hattı kökün her seviyesinde başlayabilir, krunale veya apikale doğru her iki yönde de ilerleyebilir (Berman & Hargreaves, 2020).

Dikey kök kırıkları, mikroorganizmaların periapikal dokulara ulaşması için bir yol oluşturarak periapikal hastalıklara sebep olurlar (Hegde, Shetty, & Godara, 2008). Yapılan çalışmalarda klinik bulgular arasında künt karakterli ağrı, normalden daha krunalde lokalize sinüs yolu, şişlik ve derin periodontal cep varlığı bildirilmiştir (Meister Jr ve ark., 1980; Pitts & Natkin, 1983; Testori, Badino, & Castagnola, 1993) ancak bu bulguların iyileşmeyen kök kanal tedavili dişlerde de benzer olması teşhisi zorlaştırmaktadır (Lustig, Tamse, & Fuss, 2000; Tsesis, Rosen, Tamse, Taschieri, & Kfir, 2010). Erken dönemde radyografik bulgu olmayabilirken, ilerleyen dönemde lokalize derin periodontal cep varlığı ve radyolojik muayenede kök boyunca 'J şeklinde' lezyon görülmesi karakteristik bulgulardandır (Tamse, Fuss, Lustig, Ganor, & Kaffe, 1999; Tamse, Kaffe, Lustig, Ganor, & Fuss, 2006). Radyolojik muayenede periapikal radyografi veya konik ışınli bilgisayarlı tomografiden yararlanılmaktadır. Wang ve ark., periapikal radyografilerde vakaların yalnızca %35,7'sinde kırık hattının ayırt edilebildiğini rapor etmişlerdir (Wang, He, Sun, Lu, & Ni, 2012). Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, periapikal radyografilere göre daha hassas ve doğru sonuç verebilmektedir (Valizadeh, Khosravi, & Azizi, 2011; Varshosaz, Tavakoli, Mostafavi, & Baghban, 2010).

Dikey kök kırıklarının prognozu çoğunlukla iyi değildir ve özellikle tek köklü dişlerde dişin çekilmesi önerilir. Çekim ertelendiğinde periradiküler kemik kaybı artmakta ve bu durum tedavi planlamasını zorlaştırmaktadır. Tedavi planlamasında teşhisin erken dönemde konulması önemlidir. Literatürde kırık hattının ağız dışında restore edildikten sonra dişin replante edilmesi de bir seçenek olarak sunulmuştur ancak bu tedavilerin uzun dönem başarısı şüphelidir. (Kawai & Masaka, 2002; Khasnis, Kidiyoor, Patil, & Kenganal, 2014; Kudou & Kubota, 2003; Lustig ve ark., 2000; Taschieri, Tamse, Del Fabbro, Rosano, & Tsesis, 2010)

2.1.1. Etiyolojisi

Çürük, travma ve dental işlemler sonrasında diş bütünlüğünün bozulması sonucunda dişler kırılmaya yatkın hale gelmektedir (Sedgley & Messer, 1992). Endodontik prosedürler, dikey kök kırıklarıyla en çok ilişkilendirilen dental işlemlerdir (Bender & Freedland, 1983; Cohen, Blanco, & Berman, 2003). Endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılma sebepleri arasında; giriş kavitesinin veya kök kanallarının gereğinden fazla genişletilmesi, kanalların doldurulması esnasında uygulanan yatay ve dikey kuvvetler, pulpektomi sonrası dişin nem oranının azalması, post uygulamaları sırasında fazla miktarda dentin kaldırılması veya aşırı kuvvet uygulanması sayılmaktadır (Sedgley & Messer, 1992). Bununla beraber, endodontik tedavide kullanılan yıkama solüsyonları, şelasyon ajanları ve kök kanalı medikamanları gibi kimyasal ajanların dentin kolajen yapısını değiştirmesi ile de dişler kırılmaya yatkın hale gelebilmektedir (Kishen, 2006). Dişlerin kök veya kanal yatay kesitlerinin oval şekilli olması, aşırı oklüzal yük veya prematür kontaklar, diş yapısında bulunan mikro çatlaklar da kök kırıklarına zemin hazırlamaktadır (Berman & Hargreaves, 2020).

2.1.2. Görülme Sıklığı

Dikey kök kırıkları, en sık olarak kök kanalı tedavisi görmüş dişlerde gözlenir (Cohen ve ark., 2003) ve kök kanalı tedavisi görmüş dişlerde görülme oranı %3,69-25 olarak bildirilmiştir (Bornstein, Wölner-Hanssen, Sendi, & Von Arx, 2009; Fuss, Lustig, & Tamse, 1999; Morfis, 1990; See, Ho, Huang, Hung, & Chang, 2019; Touré ve ark., 2011; Vire, 1991). Dikey kök kırıkları; yaşla beraber dentin yapısında değişiklik meydana gelmesi, dişlerin oklüzal kuvvetlere daha uzun süre maruz kalmış olması ve dişlerdeki büyük boyutlu restorasyonların varlığı ile ilişkili olarak geriatrik hastalarda daha sık görülmektedir (Kishen, 2006; Liao, Chen, Pan, Chang, & Jeng, 2021). Dikey

kök kırıkları, diş çürüğü ve periodontal hastalıktan sonra dişlerin kaybedilmesinde üçüncü en önemli faktör olarak bildirilmiştir (Kishen, 2006).

Dikey kök kırıkları, özellikle mezio-distal yönde dar, bukko-lingual yönde geniş olan oval yatay kesitli dişlerde gözlenir. Çoğunlukla bukko-lingual yönde bir hat izlerler ancak oblik yönde de gelişebilirler (Gutmann, 1992). Oval yatay kesitli köklerde dentin kalınlığı proksimalde daha incedir ve bu dişlerde oklüzal kuvvetlerin yarattığı stresler, yuvarlak yatay kesitli köklerde olduğu gibi düzenli bir şekilde dağılmamaktadır. Proksimal dentinin incilmesi ile bu stresler, ovallığın eğim açısının en düşük olduğu bukkal ve lingual uçlarda yoğunlaşmakta ve bukko-lingual yöndeki kırıklara zemin hazırlamaktadır (Lertchirakarn ve ark., 2003b). Vasiliadis ve ark. (Vasiliadis, Darling, & Levers, 1983), oval yatay kesitli dişlerde kökün bukkal ve lingualindeki dentinin sert doku oranının proksimaldekilere göre farklılık gösterdiğini, Russell ve ark. (Russell, Chandler, Hauman, Siddiqui, & Tompkins, 2013) da bu farklılığın dentinin sertlik ve dayanıklılığını etkileyebileceğini bildirmişlerdir.

Dikey kök kırıklarına en yatkın olan diş grubu çoğunlukla oval yatay kesite sahip olan alt keser dişler, alt ve üst küçük azı dişleri, alt büyük azı dişlerinin mezial kökleri ve üst büyük azı dişlerinin mezio-bukkal kökleridir (Lertchirakarn ve ark., 2003b; Tamse, Fuss, Lustig, & Kaplavi, 1999). Lertchirakarn ve ark. (Lertchirakarn ve ark., 2003b), sonlu elemanlar analizi yöntemi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında, oval yatay kesitli kanala sahip dişlerin kırılmaya yatkın olduklarını belirtmekle birlikte; hem kök hem de kanal yatay kesitinin oval olmasının dişlerin kırılma olasılığını arttırdığını bildirmişlerdir. Alt keser dişlerde çoğunlukla hem kök hem de kök kanalının yatay kesitinin oval olması ve proksimal dentinin oldukça ince olması, bu diş grubunu kırığa oldukça yatkın hale getirmektedir (Lertchirakarn ve ark., 2003b).

2.2. Kök Kanalı Tedavisinin Dişlerin Kırılma Direncine Etkisi

Kök kanalı tedavisi görmüş dişler travma veya oklüzal stresler karşısında canlı dişlere göre kırılmalara daha yatkın olabilmektedir. Dikey kök kırıkları, diş çürükleri ve periodontal hastalıklar sonrası dişlerin kaybedilmesinde üçüncü en yaygın faktör olarak bildirilmiştir (Kishen, 2006). Dikey kök kırıklarının en yaygın olarak iyatrojenik endodontik işlemlerden kaynaklandığı bildirilmiştir (Tamse, 1988). Takeuchi ve ark. (Takeuchi, Yamamoto, Tomofuji, & Murakami, 2009) retrospektif çalışmalarında dikey kök kırığı gözlenen dişlerin %94'ünün kök kanalı tedavisi görmüş dişler olduğunu rapor

etmişlerdir. Kök kanalı tedavisi tekrarında tedavi prosedürlerinin tekrarlanması ile artan doku kaybı nedeniyle diş bir miktar daha zayıflayabilmektedir. Çeşitli çalışmalarda birden fazla kök kanalı tedavisi görmüş dişlerde kök kırığı görülme oranının, primer tedavi görmüş dişlere kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (García-Guerrero ve ark., 2018; Karygianni, Krengel, Winter, Stampf, & Wrbas, 2014).

Literatürde, kök kanalı tedavisi sonrası dişin canlılığını yitirmesi ile dentindeki su oranının azaldığını ve bu sebeple dişlerin kırılmaya daha yatkın hale geldiğini belirten görüşler mevcuttur (Shemesh, Lindtner, Portoles, & Zaslansky, 2018; Winter & Karl, 2012). Pulpa dokusu bir pompa görevi görerek, kanal içindeki ve dentin tübüllerindeki sıvıların hareketliliğini sağlamaktadır. Dentin her ne kadar tükürük ve periodontal aralıktaki sıvı yardımıyla nemleniyor olsa da, kök kanalı tedavisinde pulpa dokusunun uzaklaştırılması ile dentindeki su oranı büyük ölçüde etkilenmektedir. Dentin dokusundaki su kaybı; düzensiz büzülme, mekanik gerilmelere ve özellikle gerilimin yüksek olduğu alanlarda gerilim enerjisinin artmasına sebep olmaktadır. Bu gerilmeler ve büzülme, var olan mikroçatlakların ilerlemesi için potansiyel bir etki oluşturarak kök kırıklarına zemin hazırlayabilmektedir (Yan ve ark., 2021).

Kök kanalı tedavisi; giriş kavitesi ile pulpa odasına ulaşıldıktan sonra, kök kanallarındaki vital ve nekrotik artıkların aletlerle mekanik olarak ve kimyasal solüsyonlarla uzaklaştırılması ve temizlenmesi, kök kanallarının antimikrobiyal solüsyonlar ve medikamanlarla dezenfekte edilmesi ve ardından kanalların doldurulması aşamalarından oluşmaktadır. Giriş kavitesinin açılması ve kök kanallarının mekanik olarak şekillendirilmesi sonucunda diş dokusunda kayıplar meydana gelmekte ve dişlerin kırılmaya karşı direnci azalmaktadır (Assif, Nissan, Gafni, & Gordon, 2003; Cobankara, Unlu, Cetin, & Ozkan, 2008; Lang, Korkmaz, Schneider, & Raab, 2006). Bununla beraber yıkama solüsyonlarının dentinin yüzey yapısında değişikliğe sebep olması ve kanal dolgusu aşamasında dişlerin streslere maruz kalması da dişlerin direncini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Kishen, 2006; Sedgley & Messer, 1992).

2.2.1. Giriş Kavitesi Hazırlanmasının Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi

Kök kanalı tedavisi gerektiren dişlerin çoğunda; çürük, travma veya büyük restorasyonlar sebebiyle dentin dokusunda kayıplar oluşmuştur. Kök kanalı tedavisi öncesinde giriş kavitesi açılması ile kalan diş dokusu bir miktar daha

zayıflayabilmektedir. Giriş kavitesi hazırlanırken, kavitenin çürükten tamamen arındırılması ile birlikte, mekanik şekillendirmede kullanılan aletlerin kanala kolay bir şekilde yerleştirilebilmesi ve kanal dolgusunun uygulanabilmesi için yeterli bir alan oluşturulması hedeflenmektedir. Aletlerin kanallara düz-çizgi girişi sağlayabileceği şekilde açılan geleneksel endodontik kavite, mekanik şekillendirme sırasında oluşabilecek prosedürel hataların en aza indirgenmesini ve kanal dolgusunun daha rahat uygulanabilmesini sağlarken, sağlam dentin dokusunda bir miktar kayba neden olmaktadır (Al Amri ve ark., 2016; Lang ve ark., 2006; Patel & Rhodes, 2007). Günümüzde sağlam dentin dokusunu korumak adına minimal invaziv ve konservatif giriş kavileri fikri geliştirilmiştir. Esnek NiTi aletler, etkin yıkama aktivasyon yöntemleri ve daha iyi görüş sağlayan büyütme sistemlerinin geliştirilmesi sayesinde bu tip kaviler ile kök kanalı tedavisi uygulanması mümkün olabilmektedir. Buna rağmen, dar bir giriş kavitesi varlığında basamak ve kök perforasyonu gibi iyatrojenik hataların oluşma riski artmakta ve ayrıca kanallara düz bir giriş sağlanamadığında yıkama iğnelerinin kanala yeterli derinlikte yerleştirilebilmesi zorlaşmaktadır (Mannan, Smallwood, & Gulabivala, 2001; Sabeti ve ark., 2018). Plotino ve ark. (Plotino ve ark., 2017), konservatif kaviteye sahip dişlerin direncinin geleneksel kaviteye sahip dişlere kıyasla yüksek olduğunu bildirirken, diğer *in vitro* çalışmalarda konservatif giriş kavitesi uygulanan dişlerle geleneksel giriş kavitesi uygulanan dişlerin kırılma dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (Moore, Verdellis, Kishen, Dao, & Friedman, 2016; Rover ve ark., 2017; Sabeti ve ark., 2018).

2.2.2. Kök Kanallarının Şekillendirilmesinin Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi

Günümüzde kök kanallarının şekillendirilmesinde el eğeleri ve döner aletler kullanılmaktadır. Şekillendirme sırasında aletlerin kanal duvarına temas etmesiyle kanal duvarlarında stres yoğunluğu artmaktadır (Arslan, Karataş, Capar, Özsu, & Doğanay, 2014; Kim, Sung, ve ark., 2013). Bu stres artışı kanal duvarlarında çatlak çizgileri oluşturabilmekte veya dentinde mevcut olan mikro çatlakların ilerlemesine sebep olarak kök kırıklarına zemin hazırlayabilmektedir (Karataş, Gündüz, Kırıcı, & Arslan, 2016; Wilcox, Roskelley, & Sutton, 1997; Yoldas, Yilmaz, Atakan, Kuden, & Kasan, 2012). Bier ve ark. (Bier, Shemesh, Tanomaru-Filho, Wesselink, & Wu, 2009), döner aletlerin el aletlerine kıyasla daha çok dentin defekti veya başlangıç çatlak çizgileri

oluşturduğunu rapor etmişler ve bunun sebebinin döner aletlerin şekillendirme sırasında daha fazla devir tamamlaması ve kesit tasarımlarına bağlı olarak kesme etkinliklerinin farklı olmasıyla ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir.

Şekillendirmede kullanılan döner aletler, el eğelerine göre daha büyük koniklik açısına sahiptirler ve bu özellikleri ile enfekte dentin duvarlarının uzaklaştırılması kolaylaşmaktadır (Lam, Palamara, & Messer, 2005). Bununla birlikte koniklik açısının artmasıyla kalan dentin kalınlığında azalma olmaktadır (Capar, Altunsoy, Arslan, Ertas, & Aydinbelge, 2014). Özellikle oval kanalların döner aletler ile şekillendirilmesi ile yuvarlak bir şekil oluşması sonucunda periservikal dentinde fazla miktarda incelme olmakta ve dişler kırığa daha yatkın hale gelmektedir (Metzger, 2014). Munari ve ark. (Munari, Bowles, & Fok, 2019), sonlu elemanlar analizi uyguladıkları çalışmalarında, aynı stres miktarı altında daha büyük koniklik açısına sahip aletlerle şekillendirilen dişlerin kırılma oranının daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Sabeti ve ark. (Sabeti ve ark., 2018), .06 koniklik açısına sahip döner aletler ile şekillendirilen dişlerin direncinin, .04 koniklik açısı ile şekillendirilen dişlerle benzer olduğunu ancak .08 koniklik açısı ile şekillendirilen dişlerin direncinin belirgin şekilde azaldığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte Rundquist ve ark. (Rundquist & Versluis, 2006), koniklik açısı arttığında kanal dolgusu sırasında uygulanan kompaksiyon kuvvetlerinin kanal duvarlarında daha rahat yayıldığını ve oluşan streslerin azaldığını belirtmişlerdir. Kanal içerisindeki streslerin dağılımını birden çok faktör etkilemektedir ve bu sebeple koniklik açısı seçilirken kanal anatomisi dikkate alınmalıdır. Kanalın orijinal formuna sadık kalınarak şekillendirme yapılmasının dentin yapısını koruyacağı ve dentin korunduğunda dişlerin kırılma direncinin daha az etkileneceği düşünülmektedir (Lang ve ark., 2006).

Resiprokasyon hareketi ile çalışan aletlerin, rotasyon hareketi ile çalışan sistemlere kıyasla dentinde daha yüksek oranda çatlak oluşturduğunu bildiren *in vitro* çalışmalar mevcuttur (Adorno, Yoshioka, & Suda, 2011; Bier ve ark., 2009; Bürklein, Tsotsis, & Schäfer, 2013; Hin, Wu, Wesselink, & Shemesh, 2013; Shemesh, Bier, Wu, Tanomaru-Filho, & Wesselink, 2009; Shemesh, Roeleveld, Wesselink, & Wu, 2011; Yoldas ve ark., 2012). Priya ve ark. (Priya ve ark., 2014), çoklu döner ege sistemlerinin tek ege sistemlerine kıyasla daha az mikro çatlak oluşturduğunu ve en az mikro çatlak oluşumunun ProTaper NEXT (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) sisteminde

gözlendiğini bildirmişlerdir. Karataş ve ark. (Karataş ve ark., 2015), farklı kinematiklerle çalışan döner ege sistemlerini kıyasladıkları çalışmada ProTaper NEXT ve TF Adaptive (Axis/SybronEndo, Orange, CA, ABD) sistemlerinin, ProTaper Universal (Dentsply Maillefer) ve WaveOne (Dentsply Maillefer) sistemlerine kıyasla daha az mikro çatlak oluşturduklarını rapor etmişlerdir. Çapar ve ark. (Çapar, Arslan, Akcay, & Uysal, 2014), farklı çoklu döner alet sistemlerini kıyasladıkları çalışmada ProTaper NEXT ve HyFlex (Coltene-Whaledent, Allstetten, İsviçre) sistemlerinin ProTaper Universal sistemine kıyasla daha az mikro çatlak oluşturduğunu bildirmişlerdir. Taç ve ark. (Taç, Kaya, & Falakaloğlu, 2018) da ProTaper Universal sisteminin Reciproc ve ProTaper NEXT sistemlerine kıyasla daha fazla mikro çatlak oluşturduğunu ve benzer şekilde Chole ve ark. (Chole ve ark., 2019), ProTaper NEXT ve ProTaper Gold (Dentsply Maillefer) sistemlerinin ProTaper Universal sistemine kıyasla daha az mikro çatlak oluşumuna sebep olduğunu bildirmişlerdir.

2.2.3. Kök Kanallarının Doldurulmasının Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi

Kök kanallarının doldurulması ile apikal ve kural yönde oluşabilecek mikrosızıntının engellenmesi ve doku kaybına uğrayan köklerin fonksiyonel kuvvetlere karşı daha dayanıklı hale gelmesi hedeflenmektedir (Johnson ve ark., 2000; Muliya ve ark., 2014). Zayıflayan kök yapısı her ne kadar kanal dolgu materyalleri ile daha dirençli hale gelse de, her zaman sağlam kökler kadar dayanıklı hale gelmeleri mümkün olmamaktadır. Dişlerin kırılma direnci üzerinde; diş morfolojisi, kullanılan dolgu materyali ve dolgu teknikleri etkilidir (Ersev, Yılmaz, Pehlivanoglu, Ozcan-Caliskan, & Erisen, 2012; Ersoy & Evcil, 2015; Karapinar Kazandag ve ark., 2009; Lertchirakarn, Timyam, & Messer, 2002; Patil, Banga, Pawar, Pimple, & Ganeshan, 2017).

Günümüzde kök kanallarının doldurulmasında; soğuk lateral kompaksiyon, tek kon veya sıcak güta-perka teknikleri uygulanmaktadır. Sıcak güta-perka teknikleri arasında; sıcak lateral/vertikal kompaksiyon, devamlı ısı ile dolgu tekniği, termoplastik güta-perka enjeksiyon teknikleri ve kor taşıyıcılı güta-perka sistemleri sayılabilir. Her tekniğin farklı avantaj ve dezavantajı bulunmakla beraber tek bir tekniğin daha üstün olduğuna dair bir görüş bulunmamaktadır (Aqrabawi, 2006; Ng, Mann, Rahbaran, Lewsey, & Gulabivala, 2007). Soğuk lateral kompaksiyon tekniği, uzun yıllardır uygulanan klinik olarak başarılı bir teknik olsa da (Aqrabawi, 2006; Marquis, Dao,

Farzaneh, Abitbol, & Friedman, 2006), spreader kullanımı sırasında kanal duvarlarında stres oluşturarak dentin defekti gelişimine neden olabilmektedir (Shemesh ve ark., 2009). Benzer şekilde sıcak vertikal kompaksiyon tekniklerinde kullanılan pluggerların da mikro çatlak oluşumuna yol açacak stresler oluşturabildiği bildirilmiştir (Shemesh, Wesselink, & Wu, 2010). Çapar ve ark. (Capar ve ark., 2015), tek kon tekniği uygulandığında, soğuk lateral kompaksiyon ve sıcak vertikal kompaksiyon tekniklerine kıyasla daha az mikro çatlak oluşumu gözlendiğini bildirmişlerdir. Ersoy ve Evcil (Ersoy & Evcil, 2015), kor taşıyıcılı güta-perka sistemi ile doldurulan alt küçük azı dişlerinin devamlı ısı, tek kon ve soğuk lateral kompaksiyon teknikleri ile doldurulan dişlere kıyasla daha dirençli olduğunu rapor etmişlerdir. Ersev ve ark. (Ersev ve ark., 2012), tek kon tekniği ile doldurulan dişlerin kırılma direncinin soğuk lateral kompaksiyonla doldurulan dişlere kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişler ve dolgu tekniğine bağlı olarak kanal patı tabakası kalınlığındaki farklılıkların da etkili bir faktör olabileceğini belirtmişlerdir.

2.2.4. Kanal Tedavisi Sonrasında Uygulanan Kural Restorasyonun Dişlerin Kırılma Direnci Üzerindeki Etkisi

Kök kanalı tedavisinin başarısı için tedavi aşamalarının doğru uygulanması ile birlikte iyi bir restorasyon yapılması gerekmektedir. Kural restorasyon ile, kural mikrosızıntının engellenmesi ve kaybedilen dokunun restore edilerek dişin çiğneme kuvvetlerine karşı direnç kazanması hedeflenir (García-Guerrero ve ark., 2018). Sonlu elemanlar analizi kullanılan bir çalışmada, Sınıf II kaviteye sahip bir endodontik giriş kavitesi açılması ile diş dokusunun %23,25 oranında kayba uğradığı ancak restorasyon uygulandıktan sonra dişin direncinin geri kazanıldığı gözlenmiştir (Zelic ve ark., 2015).

Epidemiyolojik bir çalışmada (Salehrabi & Rotstein, 2004) kök kanalı tedavisi görmüş dişlere 8 yıllık takip uygulanmış; dişlerin %3'ünün çekildiği ve çekilen dişlerin %85'inin direkt restorasyona sahip olduğu rapor edilmiştir. Stavropoulou ve Koidis (Stavropoulou & Koidis, 2007), kanal tedavili dişlerde 10 yıllık takip süresindeki başarı oranını kural restorasyonuna sahip dişlerde %81, direkt restorasyonlu dişlerde ise %63 olarak bildirmişlerdir. Direkt restorasyonların daha az zaman alması, ekonomik olması ve kural dokuyu koruması gibi avantajları bulunmaktadır (Sequeira-Byron, Fedorowicz, Carter, Nasser, & Alrowaili, 2015) ancak çalışmalarda direkt restorasyonun kırılmaya yatkın olduğu gösterilmiştir (García-Guerrero ve ark., 2018;

Karygianni ve ark., 2014). Bununla birlikte günümüzde adeziv teknolojisindeki yenilikler ile direkt restorasyonların başarısının artacağı düşünülmekte ve daha ileri araştırmalara ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Perdigão, Araujo, Ramos, Gomes, & Pizzolotto, 2021).

Kuronal doku kaybı çok fazla olan dişlerde post-kor uygulamaları yapılmaktadır. Post yuvası hazırlanması sırasında kök dentininden bir miktar daha kaldırılması ile dişler zayıflayabilmektedir. Aynı zamanda yerleştirilen postların kök kanalı duvarlarına stres uygulaması ile kama etkisi yaratarak dikey kök kırıklarına sebep olabileceği bildirilmiştir (Guzy & Nicholls, 1979; Heydecke, Butz, & Strub, 2001; Morgano, 1996; Trope & Ray Jr, 1992). Kullanılan post materyali, materyalin elastisite modülü, postun uzunluğu/genişliği kanal duvarında oluşacak streslerde ve dikey kök kırığı gelişiminde etkili olmaktadır (Romeed & Dunne, 2013). Fuss ve ark. (Fuss ve ark., 1999), dikey kök kırığı sebebiyle çekilen dişlerin %61,7'sinde post bulunduğunu rapor etmişlerdir. Buna rağmen farklı güncel klinik çalışmalarda post varlığı ile dikey kök kırıkları arasında direkt olarak ilişki kurulamamış ve daha ileri araştırmalara ihtiyaç olduğu kanısına varılmıştır (García-Guerrero ve ark., 2018; Karygianni ve ark., 2014; Salvi, Siegrist Guldener, Amstad, Joss, & Lang, 2007).

2.3. Yıkama Solüsyonları

Kök kanallarının yıkanması; pulpa artıkları, mikroorganizmalar ve dentin debrisinin kanallardan uzaklaştırılması amacıyla uygulanır ve kök kanalı tedavisinin en önemli aşamalarındandır. Yıkama işlemleri, şekillendirme işlemleri boyunca aletlerin kök kanalında rahatça hareket edebilmesini sağlar. Etkin yıkama için yıkama solüsyonlarının özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Günümüzde kullanılan yıkama solüsyonları Tablo 2-1'de gösterilmiştir (Agarwal, Raghu, Shetty, Gautham, & Souparnika, 2019; Basrani & Haapasalo, 2012).

Tablo 2-1: Endodontide Kullanılan Güncel Yıkama Solüsyonları

Endodontide Kullanılan Güncel Yıkama Solüsyonları
<p><u>A) Kimyasal Solüsyonlar</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl) 2. Klorheksidin

3. Antibiyotikler

4. Şelasyon Ajanları:

- Etilendiamintetraasetikasit (EDTA)
- Sitrik asit
- Zayıf şelatörler: etidronik asit, perasetik asit, kitozan, maleik asit, fitik asit

5. Kombine Ürünler:

- BioPure MTAD (Dentsply Tulsa Dental, Johnson City, TN)
- QMix 2in1 (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, USA)
- SmearClear (Kerr Endodontics, Orange, CA, USA)
- Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milano, Italy)

B) Doğal Solüsyonlar

1. Yeşil Çay
2. Triphala

Mekanik şekillendirme işlemleri sonrasında kanal duvarlarında oluşan tabaka, smear tabakası olarak adlandırılır. Smear tabakası; dentin debris, canlı ve nekrotik pulpa artıkları, bakteri ve pulpa hücrelerinden oluşur (Eick, Wilko, Anderson, & Sorensen, 1970; Pashley, 1992b). Smear tabakasının dentin tübülleri önünde bir bariyer oluşturarak kanal patlarının adezyonunu, penetrasyonunu ve dentine bağlanma dayanımlarını azaltabileceği rapor edilmiştir (Faria ve ark., 2013; Vilanova, Carvalho-Junior, Alfredo, Sousa-Neto, & Silva-Sousa, 2012). Ayrıca yüzey özelliklerinden dolayı mikroorganizmaların adezyonunu kolaylaştırdığı ve içerisinde mikroorganizma barındırdığı da bildirilmiştir (Baker, Eleazer, Averbach, & Seltzer, 1975; Sen, Chugal, Liu, & Fleischmann, 2003; Yamada, Armos, & Goldman, 1983; Yang & Bae, 2002). Bu dezavantajları sebebiyle günümüzde smear tabakasının yıkama solüsyonları ile kök kanallarından uzaklaştırılması önerilmektedir (Zehnder, 2006). Smear tabakasının kaldırılması ile dentin tübüllerinin ağızları açık hale gelmekte ve kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonu kolaylaşmaktadır (Ballal, Tweeny, Khechen, Prabhu, & Tay, 2013). Smear tabakasının tamamen uzaklaştırılması için şelasyon ajanlarının sodyum hipoklorit ile kombine olarak kullanılması gerekmektedir (Haapasalo, Qian, & Shen, 2012).

2.3.1. Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

Sodyum hipoklorit (NaOCl), kök kanallarının temizlenmesinde günümüzde en sık olarak kullanılan yıkama solüsyonudur (Dunavant, Regan, Glickman, Solomon, & Honeyman, 2006; Siqueira Jr, Rôças, Favieri, & Lima, 2000). Kök kanallarında, %0,5-6 arasında değişen orandaki konsantrasyonları kullanılmaktadır (Gu ve ark., 2017). Vital ve nekrotik dokuların uzaklaştırılması amacıyla kullanılan NaOCl, endodontide doku çözücü etkisi olan tek solüsyon olması yanında yüksek antimikrobiyal özelliğe sahiptir. Yüksek antimikrobiyal özelliği ile özellikle biyofilm varlığında kullanımı önem kazanmaktadır (Cobankara, Ozkan, & Terlemez, 2010; Haapasalo, Shen, Wang, & Gao, 2014; Stojicic, Zivkovic, Qian, Zhang, & Haapasalo, 2010). NaOCl'nin su ile iyonize olması ile ortama sodyum ve hipoklorit iyonları salınır ve hipokloröz asit (HOCl) oluşur (Haapasalo ve ark., 2014). HOCl ve hipoklorit iyonları, amino asit bozunmasına ve hidrolize neden olmaktadır. HOCl, amino gruplarıyla reaksiyona girerek güçlü bir oksidan olan kloramin oluşturur. Kloramin, bakteri hücrelerinin vital fonksiyonlarına etki etmekte ve bakteri enzimlerinin inhibisyonuna sebep olmaktadır (Estrela ve ark., 2002).

Dentinin organik kısmında bulunan kolajen yapı, dişin esneklik, sertlik ve direncine katkıda bulunmaktadır (Balooch ve ark., 1998; Kruzic & Ritchie, 2008; Nazari, Bajaj, Zhang, Romberg, & Arola, 2009). Kolajen lifleri, polipeptid zincirlerinden oluşur ve hidroksiapatit yapıdaki kapsüllerle çevrilidir. NaOCl'nin proteolitik etkisi ile bu polipeptid zincirler parçalanarak kolajen yapıda hasar oluşmaktadır (Hülsmann, 2013). Kolajen liflerinin hasar görmesi ile dentinin bükülme direnci ve elastisite modülünde azalma olmakta ve ayrıca yüzeyde erozyon gerçekleşmektedir (Pascon, Kantovitz, Sacramento, Nobre-Dos-Santos, & Puppini-Rontani, 2009; Violich & Chandler, 2010). NaOCl'nin %3'ten yüksek olan konsantrasyonlarının, 15 dakika boyunca uygulanmasının kolajen hasarına sebep olabileceği bildirilmiştir (Rath, Yiu, Matinlinna, Kishen, & Neelakantan, 2020). NaOCl'nin inorganik yapı üzerinde etkisi olmadığından dolayı kolajen lifleri hidroksiapatit tarafından korunduğu sürece NaOCl'den daha az etkilenmektedir (Gu ve ark., 2017; Mohammadi, 2008; Oyarzún, Cordero, & Whittle, 2002). Smear tabakasının uzaklaştırılmasında kullanılan kalsiyum şelatörleri, hidroksiapatit yapının uzaklaşmasına neden olmaktadır. Kalsiyum şelatörleri sonrası NaOCl ile yıkama yapıldığında kolajen hasarı daha fazla olmaktadır. NaOCl'nin mineralize kolajen lifleri

üzerindeki etkisi temas süresi ve konsantrasyonuna bağlıdır (Gu ve ark., 2017; Zhang, Tay, ve ark., 2010). Kolajen yapıda hasar oluşmasının, epoksi reçine esaslı patların bağlantısını olumsuz yönde etkileyebileceği ve ayrıca dentinin mekanik direncinin azalmasına neden olabileceği bildirilmiştir (Gu ve ark., 2017; Neelakantan ve ark., 2011).

2.3.2. Etilendiamintetraasetikasit (EDTA)

Etilendiamintetraasetikasit (EDTA), smear tabakasının uzaklaştırılmasında günümüzde en yaygın olarak kullanılan şelasyon ajanıdır. Güçlü bir şelatör olan EDTA, dentindeki kalsiyum iyonlarını bağlayarak kalsiyum şelatları oluşturur ve dentinde dekalsifikasyona sebep olur (Agarwal ve ark., 2019; Darrag, 2014; Silva, Guedes, Nakadi, Pécora, & Cruz-Filho, 2013). EDTA'nın smear tabakasının inorganik kısmını etkili bir şekilde uzaklaştırması dışında biyofilm tabakasının dentin yüzeyinden ayrılmasına da yardımcı olduğu bildirilmiştir. Endodonti pratiğinde en sık olarak %17'lik çözeltisi kullanılmaktadır (Basrani & Haapasalo, 2012).

Mello ve ark. (Mello, Kammerer, Yoshimoto, Macedo, & Antoniazzi, 2010), 5 mL %17'lik EDTA solüsyonunun 3 dakika uygulanmasının smear tabakasını kaldırmada etkili olduğunu rapor etmişlerdir. EDTA'nın uzun süreli kullanımının dentinde erozyona sebep olarak dentinin elastisite modülü ve bükülme direncini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (De-Deus, Paciornik, & Mauricio, 2006; Girard, Paqué, Badertscher, Sener, & Zehnder, 2005; Silva ve ark., 2013). Dentinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki bu değişimler dişleri kırılmaya yatkın hale getirebilmektedir (Silva ve ark., 2013; Tuncel ve ark., 2015). Uzunoglu ve ark. (Uzunoglu, Aktemur, Uyanik, Durmaz, & Nagas, 2012), 1 dk %17'lik EDTA ve 10 dk %5'lik EDTA uygulamasının dişlerin kırılma direncine olumsuz etkisi olmadığını, 10 dk %17'lik EDTA uygulamasının ise dişlerin kırılma direncini düşürdüğünü bildirmişler ve EDTA'nın eroziv etkisinin solüsyonun konsantrasyon ve temas süresi ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalt ve Serper (Çalt & Serper, 2002) de 10 dk %17'lik EDTA uygulamasının dentin erozyonuna neden olduğunu ve %17'lik EDTA solüsyonunun 1 dk kullanılmasının yeterli olduğunu bildirmişlerdir.

Dentin dokusu organik ve inorganik yapıdan oluşmaktadır ve dentindeki kalsiyum ve fosfor elementleri içeren hidroksipatit kristalleri, inorganik yapının temelini oluşturmaktadır. Dentinle temas eden kimyasal ajanların dentinin kimyasal

yapısında değişikliklere neden olabildiği ve dentin yüzeyindeki kalsiyum/fosfor oranını değiştirdiği rapor edilmiştir (Doğan & Çalt, 2001; Hennequin & Douillard, 1995; Rotstein ve ark., 1996). Kalsiyum/fosfor oranının değişmesiyle birlikte organik ve inorganik doku dağılımında değişikliklerin oluşmasıyla dentinin yüzey ve çözünürlük özellikleri değişmekte ve bu değişimler dental materyallerin dentine bağlanmasına etki edebilmektedir (Rotstein ve ark., 1996; Ruse & Smith, 1991; Van Meerbeek, Lambrechts, Inokoshi, Braem, & Vanherle, 1992). Şelasyon ajanları, dentinde demineralizasyon ve yumuşatma etkisi göstermekte ve smear tabakasının inorganik kısmını uzaklaştırarak kök kanallarının kemomekanik temizliğine yardımcı olmaktadır (Doğan & Çalt, 2001). Smear tabakasının tamamen kaldırılması için ise şelasyon ajanlarına ek olarak organik doku çözücü NaOCl'nin kullanılması gerekmektedir (Goldman, Goldman, Cavaleri, Bogis, & Lin, 1982; Yamada ve ark., 1983). Son yıkamada EDTA'nın ardından NaOCl solüsyonu kullanıldığında NaOCl'nin açığa çıkan kolajeni deproteinize etmesi ile dentin erozyonunda artış olduğu bildirilmiştir (Baumgartner & Mader, 1987). Niu ve ark. (Niu, Yoshioka, Kobayashi, & Suda, 2002) 1 dk ve 3 dk %15'lik EDTA uygulaması ile belirgin dentin erozyonu gözlenmediğini ancak %15'lik EDTA sonrası %6'lık NaOCl solüsyonu uygulandığında dentin erozyonu gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Doğan ve Çalt (Doğan & Çalt, 2001), %17'lik EDTA'nın tek başına kullanımı ile dentinin mineral yapısında büyük bir değişiklik olmadığını ancak %2,5'lik NaOCl ile kombine kullanımının dentinin kalsiyum/fosfor oranında belirgin değişikliğe neden olduğunu bildirmişlerdir.

Smear tabakası kaldırıldığında dentin tübüleri açık hale gelmekte ve temas yüzey alanı artmaktadır; bu sayede de kanal patlarının dentine bağlantısının daha iyi olduğu düşünülmektedir (Sayin, Serper, Cehreli, & Kalayci, 2007). Şelasyon ajanlarının kullanımı ile dentinde kolajen liflerin açığa çıktığı rapor edilmiştir (De-Deus ve ark., 2006). EDTA ile smear tabakasının inorganik tabakasının kaldırılmasının, kolajenin amino grupları ile bağlantı kuran epoksi reçine esaslı AH Plus patının dentine bağlantısına olumlu etki ettiği bildirilmiştir (De-Deus, Namen, Galan Jr, & Zehnder, 2008; Fisher ve ark., 2007; Hashem, Ghoneim, Lutfy, & Fouda, 2009; Sly, Moore, Platt, & Brown, 2007). Bununla birlikte açığa çıkan kolajenin deproteinize olmasına neden olan EDTA-NaOCl yıkama sıralamasının epoksi reçine esaslı patların bağlantısını olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir (Neelakantan, Sharma, ve ark., 2015; Neelakantan ve ark., 2011). Kalsiyum silikat esaslı materyaller ise mineralize bir ara

yapı oluşturarak dentinle etkileşime girmektedir (Benezra, Wismayer, & Camilleri, 2018; Viapiana ve ark., 2016). Şelasyon ajanlarının inorganik yapıya etkisi yalnızca smear tabakasında değil, dentin yüzeyinde de etkili olmaktadır (Lottanti, Gautschi, Sener, & Zehnder, 2009). Dentinin mineral yapısında değişiklik olması ise teorik olarak mineral yapı ile bağlantı kuran kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dentine bağlantısının değişen kalsiyum/fosfor oranından farklı şekilde etkilenebileceğini düşündürmektedir (Carvalho, Prado, ve ark., 2017).

EDTA'nın kalsiyum silikat esaslı patların dentine bağlanmalarına etkisi üzerinde ortak bir bilgi bulunmamaktadır. Donnermeyer ve ark. (Donnermeyer, Vahdat-Pajouh, Schäfer, & Dammaschke, 2019), son yıkama solüsyonu olarak EDTA kullanıldığında BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Fransa) patının bağlanma dayanımının belirgin şekilde azaldığını bildirmişlerdir. Harik ve ark. (Harik, Salameh, Habchi, & Camilleri, 2016), EDTA ile son yıkama yapıldığında BioRoot RCS patının kalsiyum salınımının azaldığını ve EDTA'nın materyalin dentinle temas yüzeyinde oluşan kalsiyum fosfat birikiminde azalmaya yol açtığını rapor etmişlerdir. Agarwal ve ark. (Agarwal ve ark., 2019), farklı şelasyon ajanları ile yıkama yaptıkları dişlerde BioRoot RCS kanal patının dentine bağlanma dayanımını en düşük olarak EDTA ile son yıkama yapılan dişlerde gözlemlemişlerdir. Carvalho ve ark. (Carvalho, Prado, ve ark., 2017) ise farklı şelasyon ajanlarının TotalFill BC (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) patının bağlanma dayanımına etkisinin istatistiksel olarak farklı olmadığını bildirmişlerdir. Neelakantan ve ark. (Neelakantan, Nandagopal, Shemesh, & Wesselink, 2015), son yıkamada NaOCl-EDTA ve EDTA-NaOCl yıkama sıralaması uygulandığında kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dentine bağlanma dayanımınlarını benzer bulmuşlardır. Özkoçak ve ark. (Ozkocak & Sonat, 2015), son yıkamada NaOCl ve EDTA solüsyonlarının Endosequence BC (BUSA, Savannah, USA) patının dentine bağlanma dayanımı üzerindeki etkisinin farklı olmadığını bildirmişlerdir. Gündoğar ve ark. (Gündoğar, Sezgin, Erkan, & Özyılmaz, 2019) ise farklı son yıkama solüsyonlarının Endosequence BC patının dentine bağlanma dayanımlarına etkisini incelemişler ve EDTA ile son yıkama yapıldığında bağlanma dayanımının NaOCl ile son yıkama yapılmasına kıyasla daha yüksek bulmuşlardır.

2.4. Kanal Dolgu Materyalleri

Kök kanallarının doldurulmasında kor materyali ile kanal patlarının kombinasyonu kullanılmaktadır. Grossman'a göre (Grossman, 1988) ideal bir kanal patı;

1. Karıştırıldığında homojen, kök kanalına kolaylıkla yerleştirilebilecek ve kanal duvarlarına adezyon sağlayabilecek yapıda olmalı,
2. Kök kanalını hem apikal hem de lateral yönde kapatabilmeli,
3. Radyopak olmalı,
4. Kök kanalı içinde büzülme göstermemeli,
5. Diş dokularını boyamamalı,
6. Antibakteriyel özellik göstermeli,
7. Sertleşme süresi yeterli olmalı,
8. Doku sıvılarında çözünme göstermemeli,
9. Periapikal dokuları irite etmemeli,
10. Gerektiğinde kök kanalından kolaylıkla uzaklaştırılabilir.

Günümüzde bu özelliklerin tümünü sağlayan bir kanal patı bulunmamaktadır (Berman & Hargreaves, 2020).

Kök kanallarının doldurulmasında en sık olarak kullanılan kor materyali güta-perkadır (Ørstavik, 2005). Güta-perkanın plastik yapıda olması, manipülasyonunun kolay olması, minimal düzeyde toksik özellik göstermesi, radyopak olması ve kanaldan uzaklaştırmak gerektiğinde çözücülerle yumuşatılabilmesi temel avantajlarıdır (Berman & Hargreaves, 2020). Tüm bu fiziksel ve biyolojik avantajlarına rağmen dentin duvarlarına bağlanma yeteneği yoktur. Bu sebeple kök kanallarının doldurulmasında mutlaka bir kanal patı ile beraber kullanılması gerekmektedir (Gambarini & Tagger, 1996). Kanal patları, kor materyali ve dentin arasındaki boşlukların, lateral ve aksesuar kanalların ve kanal içerisindeki düzensizliklerin doldurulması amacıyla kullanılmaktadır (Lee, Williams, Camps, & Pashley, 2002). Piyasada farklı içeriklerde birçok kanal patı bulunmakta ve yenileri de geliştirilmektedir. Kanal patlarının klinik koşullarda iyi performans gösterebilmesi için bu patların özelliklerinin bilinmesi klinisyen için faydalı olacaktır (Zhou ve ark., 2013). Kanal patlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

Akıcılık özelliği, kemo-mekanik preparasyondan sonra kanal duvarında oluşan düzensizliklerin kanal patı ile doldurulması üzerinde etkili olan özelliktir. Kanal patının akıcılığı az olduğunda bu düzensizlikleri doldurması güçleşirken fazla olduğunda ise periapikal bölgeye taşma riski artar. Akıcılık için ideal bir değer yoktur ancak akışkan bir kanal patının dentine bağlanmasının daha iyi olduğu bildirilmiştir. Akıcılık özelliği; toz/likit oranına, partikül boyutuna, sertleşme süresine, ortamın ısı ve nem oranına bağlı olarak değişmektedir (Kaplan, Ormaechea, Picca, Canzobre, & Ubios, 2003; Vermilyea, De Simon, & Huget, 1978; Watts, Combe, & Greener, 1981; Weisman, 1970).

Film kalınlığı, belirli bir yük altındaki minimal kalınlıktır. Film kalınlığı, tek kon tekniği uygulanan kanal dolgularında kor materyalinin çalışma uzunluğuna tam olarak yerleşmesinde etkili bir faktördür (Ørstavik, 1982). Film kalınlığının az olması, kanal patının kök kanalı içerisindeki boşluk ve düzensizliklere nüfuz edebilmesini de kolaylaştırır (Gambarini, Testarelli, Pongione, Gerosa, & Gagliani, 2006).

Çözünürlük, sıvı varlığında maddenin moleküllerine ayrılmasıdır. Kanal patlarının doku sıvılarında çözünebildiği bilinmektedir (Ørstavik, 1983; Peters, 1986). Defektli restorasyon, çatlaklar gibi sebeplerle oluşan boşluklardan veya apikalden doku sıvılarının sızması ile patın çözünmesi sonrası kanal dolgusunun örtücülüğü bozulmaktadır (Kim, Kim, Yi, & Seo, 2015; Leakage, 2002).

Asidite ve alkalinite, kanal patının pH değeri ile belirlenir. Alkali pH değeri, kanal patının biyouyumluluğunu, osteojenik potansiyelini ve antibakteriyel yeteneğini olumlu yönde etkilemektedir (Desai & Chandler, 2009; Mchugh, Zhang, Michalek, & Eleazer, 2004; Okabe, Sakamoto, Takeuchi, & Matsushima, 2006; Zhou ve ark., 2013).

Adezyon, farklı türdeki moleküllerin birbirini çekmesi ile oluşan kuvvete denir. Adezyon; adeziv materyalin ve uygulandığı yüzeyin yüzey enerjisi, yüzey gerilimi, ıslanabilme yeteneği, temizliği ve pürüzlülüğü gibi faktörlere ilişkilidir (Erickson, 1992; Finger, Inoue, & Asmussen, 1994). Ayrıca, ısıl genişleme katsayılarındaki farklılıklar ve sonrasındaki boyutsal değişiklikler nedeniyle oluşan gerilimler, adezyonu etkileyebilmektedir (Saleh, Ruyter, Haapasalo, & Ørstavik, 2002). Adeziv özellikleri iyi olan bir kanal patı, dentine daha iyi bağlanma gösterir ve mikrosızıntının azalmasına yardımcı olur (Ørstavik, Eriksen, & Beyer-Olsen, 1983). Kanal patlarının dentin

adezyonunun iyi olmasının dişlerin kırılmaya karşı direncini arttırabileceği bildirilmiştir (Johnson ve ark., 2000).

Kanal patları içeriklerine göre; çinko oksit ojenol, kalsiyum hidroksit, cam iyonmer, silikon, metakrilat reçine, epoksi reçine ve kalsiyum silikat esaslı patlar olarak gruplandırılırlar. Çinko oksit ojenol esaslı patların epoksi reçine esaslı patlara kıyasla daha sitotoksik olduğu, mikrosızıntıyı engellemede yetersiz kaldığı ve bu patlarla doldurulan dişlerin kırılma direncinin diğer patlara kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir (Adanir, Cobankara, & Belli, 2006; Huang, Tai, Chou, & Chang, 2002; Uzunoglu-Özyürek ve ark., 2018). Kalsiyum hidroksit esaslı patların dentine bağlanma yeteneğinin zayıf olduğu gösterilmiştir (Wennber & Niom, 1990). Cam iyonmer simanın dentine bağlanmasının iyi olması sebebiyle kanal patı olarak kullanılması önerilmiştir (Pitt Ford, 1979) ancak kök kanalından uzaklaştırılması gerektiğinde sökülmesinin güç olması (Friedman, Löst, Zarrabian, & Trope, 1995) ve antimikrobiyal etkinliğinin çok düşük olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Heling & Chandler, 1996). Silikon esaslı patlar, polimerizasyon büzülmesi göstermemesi (Ørstavik, 2005) yönünden avantajlı olmakla birlikte örtücülük yetenekleri tartışmalıdır (Brackett ve ark., 2006; Kontakiotis, Tzanetakis, & Loizides, 2007; Monticelli ve ark., 2007; Özok, Van Der Sluis, Wu, & Wesselink, 2008).

Kanal patlarının dentinle olduğu gibi kor materyali ile de bağlanması ve monoblok yapı oluşturması amacıyla farklı kanal dolgusu sistemleri geliştirilmiştir. Resilon (Resilon Research, LLC, Madison, Connecticut, ABD), Epiphany (Pentron clinical technologies, CT, ABD), RealSeal (SybronEndo, Orange, CA) ve Resinate (Obtura Spartan, Earth City, MO), monoblok yapı oluşturmak adına üretilen reçine esaslı kanal dolgusu materyalleridir (Darcey, Roudsari, Jawad, Taylor, & Hunter, 2016; Shanahan & Duncan, 2011). Aktiv-GP (Brasseler, ABD) konunun dış yüzeyi cam iyonmerle kaplanmıştır ve cam iyonmer esaslı kanal patları ile kullanılmak üzere üretilmiştir (Fransen ve ark., 2008). Benzer şekilde kalsiyum silikat esaslı patların kor materyali ile bağlanması amacıyla biyoseramik nanopartiküllerle kaplı konlar piyasaya sunulmuştur ("Brasseler; BC Points broşür,").

2.4.1. Epoksi Reçine Esaslı Kanal Patları

İlk olarak Schröder tarafından tanıtılan (Schroeder, 1981) epoksi reçine esaslı patlar, geliştirilmiş formülleriyle endodontide sıklıkla kullanılmaktadır (Torabinejad, Kettering, & Bakland, 1979; Wennberg, 1980). Epoksi reçine içerisindeki epoksi molekülleri ile dentindeki kolajenin amino molekülleri arasında kovalent bağ oluşması sayesinde bu patlar, dentinle sıkı bir bağlantı gerçekleştirirler (Fisher ve ark., 2007). Sitotoksik özellikleri sertleşme tamamlandığında azalmaktadır. Sitotoksikite ve antimikrobiyal özellikleri arasındaki korelasyon sebebiyle sertleştiğinde antimikrobiyal özellikleri de azalmaktadır (Brezhnev ve ark., 2019).

Metakrilat reçine esaslı patlarda bulunan UDMA (üretan dimetakrilat) molekülü nedeniyle sertleşme esnasında polimerizasyon büzülmesi gözlenirken (Hammad, Qualtrough, & Silikas, 2008), epoksi reçine esaslı patlar çok daha iyi boyutsal stabilite özelliği göstermektedirler (Zhou ve ark., 2013). Epoksi reçinelerin doku sıvılarından ve nemden daha az etkilendikleri (Bourne, Milner, & Alberman, 1959; Schroeder, 1981) ve çözünürlük değerlerinin oldukça düşük olduğu bildirilmiştir (Duarte ve ark., 2010; Flores ve ark., 2011; Marciano ve ark., 2011). Piyasada bulunan epoksi reçine esaslı patlar arasında AH 26 (De Trey, Dentsply, Konstanz, Almanya), AH Plus (De Trey, Dentsply), Adseal (Meta, Biomed, Cheongju, Güney Kore), Acroseal (Specialites-Septodont, Saint Maur-desFosses, Fransa), Radic-Sealer (KM, Seoul, Güney Kore) ve MM-Seal (Micro-Mega, Besancon, Cedex, Fransa) bulunmaktadır.

2.4.1.1. AH Plus (De Trey, Dentsply, Konstanz, Almanya)

1950'lerde Schröder tarafından geliştirilen AH 26 (De Trey, Dentsply) kanal patının sertleşirken formaldehit açığa çıkarması (Spångberg, Barbosa, & Lavigne, 1993) sebebiyle bu pat modifiye edilerek AH Plus patı üretime sunulmuştur. AH Plus, iki tüp halinde bulunur ve epoksi bisfenol reçine yapıdadır. Tüplerdeki içeriklerin eşit miktarda homojen bir kıvamda karıştırılması ile uygulamaya hazır hale gelmektedir. 37°C'de 8 saatte sertleşir. Otomatik şırınga içerisinde sunulan formu ise AH Plus Jet adı altında piyasaya sürülmüştür (Komabayashi ve ark., 2020). AH Plus, sertleşme süresinin yeterli olması, polimerizasyon büzülmesinin ve çözünürlüğünün düşük olması gibi üstün fiziko-kimyasal özellikleri ve dentinle sıkı bir bağlantı sağlaması sebebiyle günümüzde altın standart olarak kabul edilmektedir (Ersahan & Aydın, 2010; Silva ve ark., 2019; Souza ve ark., 2009; Versiani ve ark., 2006; Zhou ve ark., 2013). Dentine bağlanma

dayanımı ve dişlerin kırılma direnci üzerine yapılan çalışmalarda bir çok kanal patına kıyasla daha iyi sonuç vermektedir (Fisher ve ark., 2007; Rahimi ve ark., 2009; Silva ve ark., 2019; Uzunoglu-Özyürek ve ark., 2018). Çinko oksit ojenol esaslı patlar ve AH 26'ya göre daha az sitotoksik olmasına karşın AH Plus'ın sertleşmeden önce kalsiyum silikat esaslı ve silikon esaslı patlara göre daha sitotoksik olduğu bildirilmiştir (Komabayashi ve ark., 2020). Birçok olumlu özelliği bulunmasına rağmen osteojenik potansiyeli (Kim, Lee, ve ark., 2013) ve biyoaktif özellikleri bulunmamaktadır (Borges ve ark., 2012).

2.4.2. Kalsiyum Silikat Esaslı Kanal Patları

MTA ve Biodentine (Septodont, St. Maur-des-Fossés, Fransa) gibi kalsiyum ve silikat içeren simanlar, sızdırmaz bir örtücülük sağlaması ve iyi biyouyumluluk özellikleri sebebiyle; pulpa kuafajı, tamir materyali ve kök ucu dolgu materyali olarak uzun yıllardır diş hekimliğinde kullanılmaktadır (Torabinejad, Parirokh, & Dummer, 2018). Bu olumlu özellikleri, kalsiyum silikat esaslı materyallerin kök kanalı dolgu materyali olarak da kullanılabilmesini düşündürmüştür (Bogen & Kuttler, 2009). Kalsiyum silikat esaslı kanal patları, toz-likit veya kullanıma hazır halde bulunurlar. Bu patlar; alkali pH değerleri, biyolojik ortamda kimyasal stabilitelelerini korumaları, sızdırmazlık özellikleri, toksik olmamaları ve biyouyumlu olmaları gibi özellikleriyle günümüzde yoğun ilgi görmektedir (Donnermeyer, Burklein, ve ark., 2019).

Vücuda yerleştirildiğinde yabancı doku reaksiyonuna neden olmayan medikal ve dental alanda kullanılan seramikler, biyoseramik materyaller olarak adlandırılmaktadır (De Oliveira, De Souza Araújo, Da Silveira, Sobral, & De Vasconcelos Carvalho, 2018). Çevre dokularla olan etkileşimlerine göre; biyo inert, biyoaktif ve biyoözünür olarak kendi içinde sınıflandırılabilirler (De Oliveira ve ark., 2018; Raghavendra, Jadhav, Gathani, & Kotadia, 2017). Komabayashi ve ark (Komabayashi ve ark., 2020), 'biyoseramik' kelimesinin geniş bir grup ürünü kapsadığını ve kalsiyum silikat esaslı materyallerin yüzeyde hidroksiapatit yapıda bir tabaka oluşturması, biyoaktif özellikleri ve osteojenik etkileriyle diğer biyoseramik materyallerden ayrıldığını belirtmiştir. Literatürde bu kanal patları; biyoseramik esaslı, kalsiyum silikat esaslı veya trikalsiyum silikat esaslı olarak da adlandırılmıştır (Çalt Tarhan & Uzunoğlu Özyürek, 2010; Donnermeyer, Burklein, ve ark., 2019; Komabayashi ve ark., 2020; Rawtiya, Verma, Singh, Munuga, & Khan, 2013). Kalsiyum silikat materyali; bazı silikon (GuttaFlow

BioSeal, Coltène Whaledent, Langenau, Germany), reçine (Smartpaste Bio, DRFP Ltd, Stamford, UK) ve kalsiyum salisilat (MTA Fillapex, Angelus, Londrina, Brazil) esaslı patlarda da belli oranda bulunmaktadır fakat bu patlardaki biyolojik etkisi tartışmalıdır (Camilleri, Laurent, & About, 2014). Günümüzde piyasada bulunan kalsiyum silikat esaslı kanal patları Tablo 2-2’de verilmiştir.

Kalsiyum silikat esaslı patların ana maddesini oluşturan tri- ve dikalsiyum silikat tozları, su ile karıştırıldığında reaksiyona girer ve kalsiyum hidroksit içeren hidrate bir matriks oluşturur. Açığa çıkan silikon ve kalsiyum iyonlarının mineralizasyonu uyardığı, hidroksil iyonlarının ise pH’ı yükselterek patların antimikrobiyal özellik kazanmasını sağladığı bildirilmiştir (Koutroulis, Kuehne, Cooper, & Camilleri, 2019; Prati & Gandolfi, 2015; Tanomaru-Filho ve ark., 2017). Kalsiyum ve hidroksil iyonlarının, kanal patı sertleştikten sonra 1 ay boyunca salınmaya devam ettiği rapor edilmiştir (Gandolfi ve ark., 2015). Ortamda fosfat iyonları bulunduğunda, kalsiyum iyonlarının fosfat iyonlarıyla etkileşime girerek kalsiyum fosfat oluşturmasıyla apatit prekürsörleri uyarılmakta ve materyalin yüzeyinde hidroksiapatit benzeri kristaller oluşmaktadır. Patların dentinle etkileşime girdiği yüzeyde oluşan bu kristal tabaka ‘mineral infiltrasyon zonu’ olarak adlandırılmaktadır (Atmeh, Chong, Richard, Festy, & Watson, 2012; Watson, Atmeh, Sajini, Cook, & Festy, 2014)

Tablo 2-2: Piyasada Bulunan Kalsiyum Silikat Esaslı Kanal Patları

Piyasada Bulunan Kalsiyum Silikat Esaslı Kanal Patları

- İRoot SP (Innovative BioCeramix, Vancouver, Kanada) / Endosequence BC Sealer (BUSA, Savannah, ABD) / TotalFill BC Sealer (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, İsviçre)
- BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Fransa)
- Well-Root ST (Vericom, Gangwon-Do, Güney Kore)
- CeraSeal (Meta Biomed Co., Cheongju, Güney Kore)
- Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, PR, Brezilya)
- TechBiosealer Endo (Isasan SRL, Revello Porro, İtalya)
- ProRoot Endo Sealer (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, ABD)
- Nano-ceramic Sealer (B&L Biotech, Fairfax, ABD)
- DiaRoot Bioaggregate (Diadent Group International, Burnaby, BC, Kanada)

- Endoseal MTA (Maruchi, Wonju, Güney Kore)
- Endo CPM (EGEO S.R.L. Bajo Licencia MTM Argentina S.A., Buenos Aires, Arjantin)

Donnermayer ve ark. (Donnermayer, Burklein, ve ark., 2019), *in vitro* çalışmaların sonuçlarını derledikleri güncel makalelerinde kalsiyum silikat esaslı patların öne çıkan özelliklerini üç başlıkta incelemiştir:

Fiziko-kimyasal özellikleri:

- Akıcılık, radyoopasite, film kalınlığı ve çözünürlük özellikleri, yapılan çalışmaların çoğunda ISO standartları ile uyumlu bulunmuştur.
- BioRoot RCS patı fosfatla tamponlanmış serum fizyolojik solüsyonunda bekletildiğinde, *in vitro* şartlarda, materyalin yüzeyinde kalsiyum hidroksiapatit çökmesi görülmüştür. Bu durum patın biyoaktif özelliğinin göstergesidir.
- Tüm kalsiyum silikat esaslı kanal patları başlangıçta yüksek alkali değere sahiptir. BioRoot RCS patının uzun dönem alkali aktivite gösterdiği bildirilmiştir.

Biyolojik Özellikleri:

- Biyouyumludurlar, sitotoksik ve genotoksik özellik göstermediğini bildiren çalışmalar mevcuttur.
- Sert doku oluşumunu uyarırlar.
- Antimikrobiyal özellikleri iyidir.

Dentin ile İlişkileri:

- Epoksi reçine esaslı patlarla karşılaştırıldığında daha fazla sızıntıya sebep oldukları gösterilmiştir.
- iRoot SP patının diğer kalsiyum silikat esaslı patlara kıyasla dentin tübüllerine daha iyi penetre olduğu ve daha iyi dentine bağlanma dayanımı gösterdiğini bildiren *in vitro* çalışmalar mevcuttur.
- Dişlerde renkleşmeye sebep olmazlar.

- Kanal dolgusunda epoksi reçine esaslı patlara kıyasla daha fazla boşluk görülmüştür.
- Kök kanallarından uzaklaştırılabilir olduğu ancak bazı çalışmalarda uzaklaştırmanın güç olduğu bildirilmiştir.

2.4.2.1. TotalFill BC (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre)

2007 yılında Kanada'da piyasaya sunulan ve piyasadaki ilk kalsiyum silikat esaslı kanal patı olan iRoot SP (Innovative BioCeramix, Vancouver, Kanada) patı, Endosequence BC (BUSA, Savannah, ABD) adıyla Amerika'da kullanıma girmiş ve sonrasında TotalFill BC (FKG, La Chaux-de-Fonds, İsviçre) adıyla Avrupa'da piyasaya sürülmüştür (Ree & Schwartz, 2015; Trope, Bunes, & Debelian, 2015). İçeriği; kalsiyum fosfat, kalsiyum silikat, zirkonyum oksit, tantalum oksit ve dolduruculardan oluşur. Şırınga içerisinde kanala yerleştirilebilecek halde bulunmakta ve tek kullanımlık uçlar yardımıyla kanal içerisine iletilmektedir. Hidrofilik bir kanal patı olduğundan dolayı sertleşmesi için ortamda sıvı bulunması gerekmekte ve dolayısıyla kök kanalı ve dentin tübüllerindeki nem varlığı sertleşme için gereklidir (Debelian & Trope, 2016; Loushine ve ark., 2011). Çalışma süresi 4 saattir. Sertleşme süresi 4 saattir ancak sertleşme reaksiyonu kök kanalı içerisindeki sıvı varlığı ile ilişkili olduğundan kuru kanallarda 10 saatten fazla olabileceği bildirilmiştir ("Busa Dental; TotalFill BC broşür,").

Sertleştikten sonra pH değeri 12 ve üzerindedir. Yüksek pH değeri ile kalsiyum hidroksite benzer antimikrobiyal özellik gösterir, biyouyumlu ve biyoaktifdir (Donnermeyer, Burklein, ve ark., 2019; Lee, Kim, Lee, Kim, & Kim, 2019; Xuereb, Vella, Damidot, Sammut, & Camilleri, 2015). Bununla beraber içeriğindeki kalsiyum fosfat monofazının kalsiyum salınımını azalttığı rapor edilmiştir (Schembri-Wismayer & Camilleri, 2017). Kök kanallarında büzülme göstermediği, aksine bir miktar genişleme gösterdiği ve akıcılık özelliğinin de iyi olmasıyla başarılı bir kanal dolgusu sağladığı bildirilmiştir (Al-Haddad & Che Ab Aziz, 2016; Boyadzhieva, Dimitrova, Filipov, & Zagorchev, 2017; Ghoneim ve ark., 2011). Sıcak güta-perka tekniklerinde kullanılması için Totalfill BC Sealer HiFlow formu piyasaya sunulmuştur. HiFlow formu ısıya daha dirençlidir, ısıtıldığında vizkozitesi düşüktür ve daha radyoopaktır (Chen ve ark., 2020). Kanal tedavisi tekrarında geleneksel yöntemlerle kök

kanallarından uzaklaştırılabileceği bildirilmiştir (Oltra, Cox, Lacourse, Johnson, & Paranjpe, 2017).

2.4.2.2. BioRoot RCS (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Fransa)

2015 yılında Septodont firması tarafından üretilen BioRoot RCS, toz ve likit bileşenlerinden oluşur. Toz içerisinde trikalsiyum silikat, zirkonyum oksit, povidon; su bazlı olan likit içerisinde ise kalsiyum klorid ve polikarboksilat bulunur (Donnermeyer, Burklein, ve ark., 2019). Aktif biyosilikat teknolojisine sahiptir ve bu teknoloji, ham maddenin alüminyum ve kalsiyum sülfat açığa çıkmadan saf trikalsiyum silikata dönüşmesini sağlamaktadır (Colombo ve ark., 2018; Khalil, Naaman, & Camilleri, 2016). 1 kaşık toz ve 5 damla likidin karıştırılmasıyla homojen bir hal aldıktan sonra kök kanallarına uygulanır. Çalışma süresi 15 dakika, sertleşme süresi ise 4 saattir ("Septodont; BioRoot RCS broşür,").

BioRoot RCS patının *in vitro* koşullarda periodontal ligament hücreleri üzerinde anjiyojenik ve osteojenik büyüme faktörlerini uyarıcı etkisi olduğu bildirilmiştir (Camps, Jeanneau, El Ayachi, Laurent, & About, 2015). Diğer kanal patlarına kıyasla daha düşük sitotoksositeye sahiptir. Dentin ve kemik gibi sert dokuların oluşumunu uyarmasıyla biyoaktif özellik göstermektedir. BioRoot RCS patının, yüksek biyouyumluluk ve antibakteriyel özellik gösterdiği bildirilmiştir (Arias-Moliz & Camilleri, 2016; Colombo ve ark., 2018; Dimitrova-Nakov ve ark., 2015; Prüllage, Urban, Schäfer, & Dammaschke, 2016). Yüksek pH değerine sahiptir ve alkali özelliğini uzun süre koruyabildiği bildirilmiştir (Donnermeyer, Burklein, ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada BioRoot RCS ve AH Plus patlarının sitotoksisite ve antibakteriyel özellikleri benzer olmakla beraber BioRoot RCS patının çözünürlük değeri, ISO 6876 standartlarına göre düşük bulunmuştur (Colombo ve ark., 2018). Sıcak güta-perka teknikleri ile kullanıldığında artan ısı ile akışkanlık, film kalınlığı ve çalışma süresi değişebilmektedir; bu sebeple soğuk kanal dolgusu teknikleri ile kullanılması önerilmektedir (Viapiana, Guerreiro-Tanomaru, Tanomaru-Filho, & Camilleri, 2014).

2.4.3. Kanal Patlarının Dentine Bağlanma Dayanımlarını İnceleyen Çalışmalar

Başarılı bir kök kanalı tedavisi için kök kanallarının diş dokularına adaptasyonu iyi olan dolgu materyalleri ile doku sıvıları ve bakterileri geçirmeyecek şekilde doldurulması gerekmektedir. İdeal bir kanal dolgusu için kanal patının kanaldaki

boşlukları tamamen örtmesi ve kor materyali ve kanal duvarlarına iyi bir şekilde bağlanması gerekmektedir (Hashem ve ark., 2009). Kanal dolgusu ile dentin arasında oluşan iyi bir bağlantının dişlerin kırılma direncine de katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Ribeiro ve ark., 2008). Restoratif diş tedavilerinde kullanılan yeni geliştirilmiş adeziv sistemlerin dentin bağlantısında büyük gelişmeler olmasına karşın dolgu materyallerinin kök dentini ile bağlantı kurması, kural dentine kıyasla daha zor olmaktadır (Carvalho, Tjäderhane, Manso, Carrilho, & Carvalho, 2009).

Kanal patları, kor materyali veya kanal dolgusu tekniği fark etmeksizin dentin bağlantısını sağlayan esas materyallerdir ve dentinle sıkı bir bağlantı kurması beklenmektedir (Berman & Hargreaves, 2020; Komabayashi ve ark., 2020). Epoksi reçine esaslı kanal patı olan AH Plus'ın epoksi halkalarının dentindeki amino gruplarıyla bağ kurması ile dentinle iyi bir bağlantı sağladığı bildirilmiştir (Fisher ve ark., 2007). Son yıllarda piyasaya sunulan kalsiyum silikat esaslı patların da mineralize bir ara yapı oluşumunu uyararak dentine sıkı bir şekilde bağlandığı üretici firma tarafından belirtilmektedir ("FKG; TotalFill broşür," ; "Septodont; BioRoot RCS broşür,").

Kanal patlarının dentine bağlanma dayanımı, kanal patı ve dentin arasında oluşan bağlantı yüzeyinin bütünlüğünün korunmasına yardımcı olan etkidir (Shipper, Ørstavik, Teixeira, & Trope, 2004; Üreyen Kaya, Keçeci, Orhan, & Belli, 2008). Kanal patlarının dentine bağlanma dayanımı, push-out bağlanma dayanımı testi ile değerlendirilmektedir ve bu testin etkili ve güvenilir bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Goracci ve ark., 2004; Tuncel ve ark., 2015). Kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının bağlanma dayanımlarını AH Plus patı ile kıyaslayarak inceleyen çeşitli *in vitro* çalışmalar bulunmaktadır.

Erşahan ve Aydın (Ersahan & Aydın, 2010), 4 farklı kanal patının dentine bağlanma dayanımlarını inceledikleri çalışmada, iRoot SP ve AH Plus patının, EndoREZ (Ultradent Inc, South Jordan, UT) ve Sealapex (SybronEndo Corporation, Orange, CA) patlarına kıyasla üstün sonuç verdiğini rapor etmişlerdir.

Tuncer ve ark. (Kara Tuncer, Tuncer, & Gökyay, 2014), AH Plus, iRoot SP ve MTA Fillapex patlarının dentine bağlanma dayanımları ve dentin tübüllerine penetrasyon derinliklerini değerlendirmişlerdir. AH Plus ve MTA Fillapex patlarında iRoot SP patına kıyasla daha iyi tübül penetrasyonu gözlenirken, AH Plus ve iRoot SP

patlarının dentine bağlanma dayanımları, MTA Fillapex patına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Kanal patlarının dentine bağlanmalarının dentin tübüllerine penetre olabilme yeteneği ile doğrudan ilişkili olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Nagaş ve ark. (Nagas, Cehreli, Uyanik, & Durmaz, 2014), iRoot SP patının dentine bağlanma dayanımını, farklı kor materyali kombinasyonu ve farklı kanal dolgusu sistemleri ile kıyaslamışlardır. Gruplarda iRoot SP patı sırasıyla; tek başına, güta-perka konu ile ve Resilon konu ile kullanılmıştır. Diğer gruplar ise sırasıyla; RealSeal SE (SybronEndo, Orange, CA)+Resilon, AH Plus+güta-perka, MTA Fillapex+güta-perka şeklinde oluşturulmuştur. En düşük dentin bağlanma dayanımı değeri MTA Fillapex+güta-perka grubunda gözlenmiştir. iRoot SP patının dentine bağlanma dayanımı, tek başına kullanıldığında, kor materyalleri ile kullanımına kıyasla daha iyi bulunmuş ve ayrıca iRoot SP patı tüm gruplardan daha iyi sonuç vermiştir.

Sağsen ve ark. (Sagsen, Ustün, Demirbuga, & Pala, 2011), iRoot SP, AH Plus ve MTA Fillapex patlarının dentine bağlanma dayanımlarını kıyaslamışlardır. MTA Fillapex patının dentine bağlanma dayanımı diğerlerine kıyasla oldukça düşük bulunurken, iRoot SP ve AH plus benzer sonuç vermişlerdir.

Donnermayer ve ark. (Donnermayer, Dornseifer, Schäfer, & Dammaschke, 2018), TotalFill BC, Endo CPM (EGEO S.R.L. Bajo Licencia MTM Argentina S.A., Buenos Aires, Argentina), BioRoot RCS ve AH Plus patlarının dentine bağlanma dayanımlarını inceledikleri çalışmada, AH Plus patının diğer patlara kıyasla anlamlı olarak daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Kalsiyum silikat esaslı patlarda ise en yüksek değerler TotalFill BC patı ile elde edilirken, en düşük değer Endo CPM patında gözlenmiştir.

Carvalho ve ark. (Carvalho, Grazziotin-Soares, ve ark., 2017), Endosequence BC sealer patının dentine bağlanma ve biyoaktivite özelliklerini değerlendirdikleri çalışmada, Endosequence BC patının dentine bağlanma dayanımını AH Plus patına kıyasla anlamlı düzeyde düşük bulmuşlardır.

Gade ve ark. (Gade, Belsare, Patil, Bhede, & Gade, 2015), lateral kompaksiyon ve sıcak vertikal kompaksiyon uygulanan dişlerde AH Plus, Endosequence BC ve Endomethasone N (Septodont) patlarının dentine bağlanma dayanımlarını incelemişlerdir. Lateral kompaksiyon tekniği uygulandığında AH plus diğer patlara

kıyasla anlamlı olarak daha iyi sonuçlar vermiştir. Sıcak vertikal kompaksiyon tekniği uygulandığında ise AH Plus ve Endosequence BC patı benzer sonuçlar vermiştir.

Amin ve ark. (Amin, Seyam, & El-Samman, 2012), kanal dolgusu öncesi kanal içi medikaman olarak kullanılan kalsiyum hidroksitin kanal patlarının bağlanma dayanımına etkisini değerlendirmişlerdir. Kalsiyum hidroksit uygulanmadan doldurulan gruplarda AH Plus patının iRoot SP ve MTA Fillapex patlarına kıyasla daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Kanal dolgusu öncesi kalsiyum hidroksit bekletilen kök kanallarında ise AH Plus ve iRoot SP patları, benzer sonuçlar vermiştir.

2.4.3.1. Yıkama Solüsyonlarının Kanal Patlarının Dentine Bağlanma Dayanımına Etkisini İnceleyen Çalışmalar

Kök kanallarının doldurulmasından önce yıkama solüsyonlarının etkili kullanımı; smear tabakasının organik ve inorganik kısmının uzaklaştırılması, dentin duvarlarının temizlenmesi ve kanal patlarının dentine bağlantısının güçlendirilmesi açısından oldukça önemlidir (Gündoğar ve ark., 2019). NaOCl, doku çözücü ve antimikrobiyal etkileriyle kök kanallarının temizlenmesi ve dezenfeksiyonunda günümüzde en sık olarak kullanılan yıkama solüsyonudur (Senia, Marshall, & Rosen, 1971; Siqueira Jr ve ark., 2000). Smear tabakasının kaldırılması amacıyla ise NaOCl ile kombine olarak şelasyon ajanlarının kullanılması gerekmektedir (Haapasalo ve ark., 2012). Smear tabakasının kaldırılması ile dentin tübüllerinin ağızları açık hale gelmekte ve kanal patının dentin tübüllerine penetrasyonu daha kolay olmaktadır (Ballal ve ark., 2013). Yıkama solüsyonlarının dentinin kimyasal ve yapısal özellikleri üzerinde değişikliğe sebep olabildiği (Doğan & Çalt, 2001; Pashley, 1992a) ve bu değişikliklerin kanal patlarının dentine bağlanmasına etkileri olabileceği bildirilmiştir (Dogan Buzoglu, Calt, & Gümüsderelioglu, 2007; Erickson, 1992). Yıkama solüsyonlarının AH Plus ve kalsiyum silikat esaslı patların dentine bağlanma dayanımına etkisini inceleyen çeşitli *in vitro* çalışmalar bulunmaktadır.

Neelakantan ve ark. (Neelakantan ve ark., 2011), 90 adet tek köklü çekilmiş diş kullandıkları çalışmada şekillendirme sırasında 50 adet örneğin kök kanallarını distile su ile kalan 40 örneğinkini ise %3'lük NaOCl ile yıkamışlardır. Distile su ile yıkanan örneklerin son yıkaması distile su, %3'lük NaOCl, %17'lik EDTA, %7'lik maleik asit veya %2'lik klorheksidin ile yapılarak 5 alt grup oluşturulmuştur. NaOCl ile yıkanan grubun son yıkama alt grupları ise sırasıyla %17'lik EDTA - %3'lük NaOCl, %3'lük

NaOCl - %17'lik EDTA, %7'lik maleik asit - %3'lük NaOCl, %3'lük NaOCl - %7'lik maleik asit şeklinde oluşturulmuştur. Tüm örnekler son olarak distile su ile yıkandıktan sonra kanallar kurutulmuş ve AH Plus patı ile doldurulmuştur. Son yıkamanın dekalsifiye edici ajanlarla yapıldığı gruplarda (EDTA, maleik asit) AH Plus'ın dentine bağlanma dayanımı, son yıkamanın NaOCl ile yapıldığı gruplara kıyasla belirgin olarak yüksek bulunmuştur. Klorheksidin sonuçlara etkisi olmadığı bildirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının, AH Plus'ın dentinin organik kısmına bağlandığı bilgisini destekler nitelikte olduğunu belirtmişlerdir.

Neelakantan ve ark. (Neelakantan, Sharma, ve ark., 2015), AH Plus, RoekoSeal (Coltene/Whaledent AG), Sealapex patlarının dentine bağlanma dayanımlarını farklı son yıkama protokolleri uygulayarak incelemişlerdir. Son yıkama gruplarında; %3'lük NaOCl - %17'lik EDTA, %17'lik EDTA - %3'lük NaOCl, %3'lük NaOCl - Qmix, distile su ve %3'lük NaOCl - distile su ile yıkama yapılmıştır. En yüksek dentine bağlanma dayanımı AH Plus grubunda bulunmuştur. FTIR (Fourier Transform Infrared Spektrofotometre) ile incelenen örneklerde AH Plus ve dentin kolajeni arasında kimyasal bağ oluştuğu gözlenmiştir. AH Plus patının dentine bağlanma dayanımı değerleri EDTA ve Qmix ile son yıkama yapılan gruplarda yüksek bulunurken, NaOCl ile son yıkama yapılan gruplarda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur.

Neelakantan ve ark. (Neelakantan, Nandagopal, ve ark., 2015), Endosequence BC, MTA Plus (Avalon Biomed Inc, Bradenton, FL) ve Tech Biosealer Endo (Isasan SRL, Rovellor Porro, Italy) patlarının dentine bağlanma dayanımlarını, farklı son yıkama protokollerini takiben, 7 günlük ve 3 aylık periyotlar sonrasında incelemişlerdir. Son yıkama gruplarında %3'lük NaOCl-%17'lik EDTA, %17'lik EDTA-%3'lük NaOCl, %6'lık NaOCl ve %18'lik etidronik asit karışımı, %3'lük NaOCl-Qmix ve %3'lük NaOCl-%2'lik klorheksidin ile yıkama yapılmıştır. Endosequence BC ve MTA Plus patları, NaOCl-etidronik asit ve NaOCl-Qmix ile son yıkama yapılan gruplarda Tech Biosealer Endo patına kıyasla daha yüksek dentine bağlanma dayanımı göstermişlerdir. NaOCl-EDTA, EDTA-NaOCl ve NaOCl-klorheksidin ile son yıkama yapılan gruplarda kanal patları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

Carvalho ve ark. (Carvalho, Prado, ve ark., 2017), farklı şelasyon ajanları olan %17'lik EDTA, %2,25'lik perasetik asit ve %10'luk sitrik asit solüsyonlarının, 7 ve 30 günlük periyotlar sonrasında, TotalFill BC, MTA Fillapex ve AH Plus patlarının dentine bağlanma dayanımlarına etkisini kıyaslamışlardır. Solüsyonların ve bekletme süresinin patların dentine bağlanma dayanımına belirgin etkisi olmadığı ancak kanal patı grupları arasında belirgin fark olduğu bildirilmiştir. AH Plus; TotalFill BC ve MTA Fillapex patlarına kıyasla anlamlı düzeyde yüksek dentine bağlanma dayanımı gösterirken, MTA Fillapex patı en düşük değerleri göstermiştir.

Shokouhinejad ve ark. (Shokouhinejad ve ark., 2013), Endosequence BC ve AH Plus patlarının dentine bağlanma dayanımlarını karşılaştırmışlardır. %17'lik EDTA ve ardından %5,25'lik NaOCl solüsyonu kullanılarak smear tabakası kaldırılan dişlerde her iki patın benzer sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Tuncel ve ark. (Tuncel ve ark., 2015), farklı şelasyon ajanlarının iRoot SP ve AH Plus patlarının dentine bağlanma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Yıkama gruplarında %17'lik EDTA, %9'luk etidronik asit, %1'lik perasetik asit veya distile su kullanılmıştır. Yıkama solüsyonlarından bağımsız olarak iRoot SP, AH Plus patına kıyasla belirgin olarak yüksek dentine bağlanma dayanımı göstermiştir. Şelasyon ajanlarının kullanımı her iki patın da dentine bağlanma dayanımını arttırsa da, distile su grubu ile istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark bulunmamıştır.

Gündoğar ve ark. (Gündoğar ve ark., 2019), QMix 2in1 (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK), %2,5'lik NaOCl, %17'lik EDTA ve %2'lik klorheksidin solüsyonlarının Endosequence BC kanal patının dentine bağlanma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Kanal patının dentine bağlanma dayanımı değeri yüksekten düşüğe QMix, EDTA, klorheksidin ve NaOCl grubu olarak sıralanmıştır. Endosequence BC patı ile kanal dolgusu yapılacağına QMix solüsyonunun son yıkama solüsyonu olarak iyi bir alternatif olduğu kanısına varmışlardır.

Özkoçak ve ark. (Ozkocak & Sonat, 2015), 4 farklı yıkama solüsyonu (distile su, kalsiyum hidroksit, NaOCl, EDTA) ve Er:YAG lazer uygulamasının AH Plus, Endosequence BC ve RealSeal patlarının dentine bağlanma dayanımlarına etkisini kıyaslamışlardır. AH Plus ve RealSeal patlarının dentine bağlanma dayanımları, NaOCl ile son yıkama yapılan grup dışında, Endosequence BC patına kıyasla yüksek bulunmuştur. Tüm pat gruplarında en yüksek dentine bağlanma dayanımı değeri, EDTA

ile son yıkama yapılan gruplarda gözlenmiştir. Dentine bağlanma dayanımının, kanal patlarının içerikleri ve yıkama protokollerinden etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Razmi ve ark. (Razmi, Bolhari, Dashti, & Fazlyab, 2016), NaOCl ve klorheksidin solüsyonları ile son yıkama yapılan kanallarda AH Plus, Adseal ve Endosequence BC patlarının farklı kanal içi nem koşullarındaki dentine bağlanma dayanımlarını incelemişlerdir. Adseal patının dentine bağlanma dayanımı, nem oranından ve yıkama solüsyonundan etkilenmemiştir. AH Plus grubunun dentine bağlanma dayanımı yıkama solüsyonundan etkilenmezken, kuru kanallarda daha yüksek bulunmuştur. Endosequence BC patının dentine bağlanma dayanımı ise kanal içi nem oranından etkilenmezken, klorheksidin ile son yıkama yapılan grupta daha düşük bulunmuştur.

Agarwal ve ark. (Agarwal ve ark., 2019), farklı şelasyon ajanlarının (%17'lik EDTA, %1'lik perasetik asit ve %0,2'lik kitozan) BioRoot RCS patının dentine bağlanma dayanımına etkisini incelemişlerdir. EDTA grubunda en düşük dentine bağlanma dayanımı gözlenirken, kitozan grubunda en yüksek dentine bağlanma dayanımı değeri gözlenmiştir. Araştırmacılar, kalsiyum silikat esaslı patların kullanımında daha zayıf şelatörlerin kullanılmasının daha etkili olabileceği ve bu konuda ileri araştırmaların faydalı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Ballal ve ark. (Ballal, Roy, & Zehnder, 2021), NaOCl solüsyonunun farklı oranları ve etidronik asitle kombine kullanımının AH Plus ve BioRoot RCS patının dentine bağlanma dayanımları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda NaOCl solüsyonunun oranı yükseldikçe AH Plus patının dentine bağlanmasına olumsuz etkisi olduğu ancak BioRoot RCS patının dentine bağlanmasına olumsuz etkisi olmadığı saptanmıştır. NaOCl-etidronik asit kombinasyonu ile yıkama yapılan gruplarda her iki patın da bağlanma dayanımının NaOCl ile yıkama yapılanlara kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

2.4.4. Kanal Patlarının Dişlerin Kırılma Direncine Etkisini İnceleyen Çalışmalar

Kök kanallarının doldurulmasının en önemli hedeflerinden biri, şekillendirme işlemleri ile zayıflayan kök yapısının kanal dolgu materyalleri ile güçlendirilmesidir (Johnson ve ark., 2000). Günümüzde kor materyali olarak çoğunlukla güta-perka kullanılmaktadır (Ørstavik, 2005). Bununla birlikte piyasada birçok çeşit kanal patı

bulunmakta ve dişlerin direncine katkıda bulunacak bir kanal dolgu patının seçimi kanal tedavisinin uzun dönem prognozunda önemlidir (Ersev ve ark., 2012; Uzunoglu-Özyürek ve ark., 2018).

Günümüzde dişlerin kırılma dirençlerinin *in vitro* koşullarda incelendiği çalışmalarda Universal test cihazı ile dişlere kuvvet uygulanmaktadır (Assif ve ark., 2003; Cobankara ve ark., 2008). Hidrolik veya elektromekanik sistemle çalışan bu cihaz, kontrollü bir hızla örneklere istenilen yönde kuvvet uygulamakta ve kırılma anındaki yük değeri, örneklerin kırılma direnci değeri olarak elektronik ortamda kaydedilmektedir. Cihazda sabit bir şekilde konumlanabilmesi için örnekler, akrilik reçine bloklara gömülmektedir (Ersev ve ark., 2012; Karapinar Kazandag ve ark., 2009; Sagsen, Ustun, Pala, & Demirbuga, 2012; Topcuoglu ve ark., 2013; Yusufoglu, Akman, Akbulut, & Eldeniz, 2019). Akrilik reçine bloklar alveoler kemiği taklit ederken, periodontal ligamentin taklit edilmesi amacıyla çoğunlukla elastomerik ölçü materyalleri kullanılmaktadır (Ersoy & Evcil, 2015; Hegde & Arora, 2015; Jamani, Harrington, & Wilson, 1989; Mandava ve ark., 2014; Yoshida, Koga, Peng, Tanaka, & Kobayashi, 2001). Hazırlanan örneklere kök kırığı oluşana dek kuvvet uygulanmakta ve dişlerin kırıldığı andaki maksimum kuvvet değeri Newton cinsinden elektronik ortamda kaydedilmektedir (Teixeira, Teixeira, Thompson, & Trope, 2004).

Literatür incelendiğinde AH Plus ve kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dişlerin kırılma direncine etkisini inceleyen çeşitli *in vitro* çalışmalar bulunmaktadır.

Yusufoğlu ve ark. (Yusufoğlu ve ark., 2019), iki farklı döner alet sistemi kullanıldığında BioRoot RCS, AH Plus ve GuttaFlow (Coltène Whaledent, Langenau, Germany) patlarının alt küçük azı dişlerinin kırılma direnci üzerindeki etkisini kıyaslamışlardır. Kanal patları arasında anlamlı bir fark gözlememişler ve One Shape döner alet sistemi ile şekillendirilen köklerin kırılma direncini ProTaper Universal ile şekillendirilen dişlerinkine göre yüksek bulmuşlardır.

Uzunoglu ve ark. (Uzunoglu Ozyurek & Aktemur Turker, 2019), AH 26, MTA Plus Sealer (Avalon Biomed Inc, Bradenton, FL) ve BioRoot RCS patlarının alt küçük azı dişlerinin kırılma direnci üzerindeki etkilerini, 1 haftalık ve 1 aylık periyotlar sonrasında incelemişlerdir. Kullanılan pat farketmeksizin kanal dolgusu, şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklerin kırılma direncinin geri kazandırılmasında yeterli olmamıştır. Bekletme süreleri arasında fark görülmemiştir.

AH 26 grubundaki kökler, MTA Plus grubundakilere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek kırılma direnci gösterirken, BioRoot RCS ile her iki pat arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Sağsen ve ark. (Sagsen ve ark., 2012), AH Plus, iRoot SP ve MTA Fillapex patlarının üst orta keser dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Pat grupları arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Kanalları doldurulan kökler, kanal dolgusu yapılmayan köklere kıyasla anlamlı düzeyde daha dirençli bulunmuş ve sağlam köklerle benzer sonuçlar vermişlerdir.

Dibaji ve ark. (Dibaji, Afkhami, Bidkhor, & Kharazifard, 2017), AH Plus, iRoot SP patları ve Resilon/Epiphany sisteminin tek köklü küçük azı dişlerinin kırılma direncine etkisini kıyaslamışlardır. Gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamış ve tüm pat gruplarında sağlam köklerle benzer değerler elde edilmiştir.

Ghoneim ve ark. (Ghoneim ve ark., 2011), farklı kanal dolgu sistemlerini alt küçük azı dişlerinde karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. iRoot SP ve AktiV GP (Brasseler, Savannah, GA, USA) kanal patları güta-perka ve AktiV GP konları ile kombine edilerek kullanılmıştır. iRoot SP patı/ActiV GP konu grubundaki kökler sağlam kökler kadar yüksek kırılma direnci göstermiş ve diğer gruplarla arasında anlamlı düzeyde fark bulunmuştur. En düşük kırılma direnci değerleri ActiV GP patı/güta-perka konu grubunda saptanmıştır.

Hedge ve Arora (Hegde & Arora, 2015), alt küçük azı dişlerinde SmartPasteBio patı/C Point konu (Endotechnologies, LLC, USA), Epiphany/Resilon konu, Endosequence BC patı/güta-perka konu ve AH Plus patı/güta-perka konu olmak üzere dört farklı kanal dolgusu sisteminin dişlerin kırılma direncine etkisini karşılaştırmışlardır. Endosequence BC patı/güta-perka konu gruplarındaki kökler, AH Plus patı/güta-perka konu grubundakilere kıyasla anlamlı olarak daha dirençli bulunmuştur.

Patil ve ark. (Patil ve ark., 2017), AH Plus, Apexit (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) ve Endosequence BC patlarının alt keser dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkisini kıyaslayarak incelemişlerdir. Endosequence BC patı ile doldurulan kökler en yüksek direnç değerini gösterirken, AH Plus ile doldurulan kökler, Apexit ile doldurulanlara göre daha dirençli bulunmuştur. Kanal dolgusu uygulanan kökler,

şekillendirilmiş fakat doldurulmamış köklere kıyasla daha dirençli bulunmuş, en yüksek değeri ise sağlam kökler sergilemiştir.

Çelikten ve ark. (Çelikten ve ark., 2015), kendi kon ve patına sahip olan üç sistemin (Activ GP, Endosequence BC ve SmartPasteBio) alt küçük azı dişlerinin kırılma direnci üzerine etkilerini incelemişler ve deney grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Kanal dolgusu uygulanan köklerin direnci, şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklerden anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur. AktiV GP ile doldurulan kökler ve sağlam köklerin kırılma direnci arasında istatistiksel fark bulunmamıştır.

Mandava ve ark. (Mandava ve ark., 2014), AH Plus, MetaSEAL ve MTA Fillapex kanal patlarının dişlerin kırılma direnci üzerine etkisini kıyaslamışlardır. AH Plus ile doldurulan kökler en yüksek kırılma direnci değerini gösterirken, MetaSEAL ve MTA Fillapex grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Sağlam kökler ve AH Plus ile doldurulan kökler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. MTA Fillapex ile doldurulan kökler, şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklerle benzer sonuç vermiştir.

Phukan ve ark. (Phukan, Mathur, Sandhu, & Sachdev, 2017), farklı patların alt küçük azı dişlerinin kırılma direncine olan etkisini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. AH Plus ve MTA Fillapex patlarıyla doldurulan kökler, Apexit patı ve çinko oksit öjenol ile doldurulan köklere kıyasla daha dirençli bulunmuştur.

Topçuoğlu ve ark. (Topcuoglu ve ark., 2013), Endosequence BC, Tech Biosealer Endo (Isasan, Como, Italy) ve AH Plus Jet patlarının alt küçük azı dişlerinin kırılma direncine etkilerini karşılaştırmışlardır. Tech Biosealer Endo ile doldurulan kökler diğer pat gruplarına göre daha düşük direnç değerleri verirken, şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklerle benzer sonuç vermiştir. AH Plus ve Endosequence BC pat grupları, istatistiksel olarak sağlam kökler kadar dayanıklı bulunmuştur.

Osiri ve ark. (Osiri, Banomyong, Sattabanasuk, & Yanpiset, 2018), TotalFill BC patı/konu ve AH Plus patı/güta-perka konu sistemlerinin dişlerin kırılma direncine etkisi ve dentin tübül penetrasyonlarını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Her iki sistemle doldurulan köklerin kırılma direnci, şekillendirilmiş ancak doldurulmayan köklere göre anlamlı düzeyde daha yüksek kırılma direnci değerleri göstermişler ve sağlam köklerle

benzer sonuçlar vermişlerdir. TotalFill BC, AH Plus'a kıyasla daha iyi dentine bağlanma dayanımı göstermiş ve kökün her seviyesine daha iyi penetre olabilmıştır.

Ersoy ve Evcil (Ersoy & Evcil, 2015), MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Paraná, Brazil) ve AH Plus patlarının 4 farklı dolgu tekniği (lateral kompaksiyon, tek kon, devamlı ısı, kor taşıyıcılı güta-perka) uygulanarak doldurulan alt küçük azı dişlerinin kırılma direncine etkisini kıyaslamışlardır. Kor taşıyıcılı güta-perka sistemi ile doldurulan kökler en dirençli olarak bulunmuştur. Diğer dolgu teknikleri köklerin direncinin geri kazandırılmasında yeterli olmamıştır. Kanal patlarının dişlerin kırılma direnci üzerinde etkisinin olmadığı bulunmuştur.

Saba ve ElAsfour (Saba & ElAsfour, 2019), AH Plus, Bioroot RCS ve Endoseal MTA (Maruchi, Wonju, Korea) patlarının alt küçük azı dişlerinin kırılma direncine etkisini incelemişler ve deney grupları ile kontrol grupları arasında anlamlı düzeyde fark bulmamışlardır.

Almohaimede ve ark. (Almohaimede ve ark., 2020), TotalFill BC ve AH Plus kanal patlarının alt küçük azı dişlerinin kırılma direncine etkisini incelemişlerdir. Deney grupları ve şekillendirilen ancak doldurulmayan kökler arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir fark bulmamışlar ve deney gruplarındaki köklerin sağlam köklere kıyasla anlamlı düzeyde düşük değerler gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Ersev ve ark. (Ersev ve ark., 2012), MetaSEAL (Parkell Inc, Edgewood, NY, USA) ve AH Plus kanal patlarının tek kon ve lateral kompaksiyon tekniği uygulandığında alt küçük azı dişlerinin kırılma direnci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tek kon tekniği ile kanalları doldurulan köklerin kırılma direncinin şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklerine kıyasla anlamlı düzeyde yüksek olduğunu göstermişlerdir. Kanal patları arasında istatistiksel düzeyde anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Karapınar Kazandağ ve ark. (Karapınar Kazandag ve ark., 2009), farklı kanal dolgu materyallerinin (AH Plus patı/güta-perka konu, Epiphany patı/Resilon konu, AktiV GP patı/AktiV GP konu, AktiV GP patı/güta-perka konu) tek köklü dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkilerini kıyaslamışlardır. Şekillendirilmiş ancak doldurulmamış kökler diğer gruplara kıyasla anlamlı düzeyde düşük kırılma direnci değerleri verirken, tüm dolgu materyali grupları sağlam köklerle benzer sonuç

göstermiştir. En yüksek kırılma direnci değerini AH Plus patı/güta-perka konu ile doldurulan dişlerde bulmuşlardır.

Lertchirakarn ve ark. (Lertchirakarn ve ark., 2002), Tubliseal (Kerr Sybron), AH Plus ve Ketac-Endo patlarının alt keser dişlerin kırılma direncine etkisini incelemiştir. Ketac-Endo ile doldurulan köklerin sağlam köklerle benzer sonuç gösterdiği ve TubliSeal ve AH Plus gruplarındakilere kıyasla anlamlı düzeyde yüksek kırılma direnci değerlerine sahip olduğu saptanmıştır. Şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklerin direncinin geri kazandırılmasında yalnızca Ketac-Endo kanal patı başarılı bulunmuştur.

Literatürde kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkisinde yıkama solüsyonlarının rolünü inceleyen tek çalışma bulunmaktadır.

Sungur ve ark. (Sungur ve ark., 2016), iRoot SP, MTA Fillapex ve AH 26 kanal patlarının dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkilerini iki farklı son yıkama solüsyonu (%5,25'lik NaOCl ve %2'lik klorheksidin) kullanarak kıyaslamışlardır. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur. MTA Fillapex ile doldurulan kökler diğer patlara kıyasla daha düşük direnç göstermiştir. Klorheksidin ile yıkanan kökler, NaOCl ile yıkanan köklere göre daha dirençli bulunmuştur. Son yıkama solüsyonu dikkate alınmadığında iRoot SP ve AH 26 benzer sonuçlar vermiştir. Çalışmada iRoot SP patı hem güta-perka konu ile hem de tek başına kullanılmıştır; iki grup karşılaştırıldığında güta-perka kullanılan gruptaki köklerin kırılma direnci daha yüksek bulunmuştur ancak her iki grup da AH 26/güta-perka grubu ile benzer sonuçlar vermiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Polikliniği'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışma öncesi İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'na başvurulmuş ve 20.06.2019 tarih ve 422 sayı numarası ile onay alınmıştır. Dişlerin kırılma dirençlerinin değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızda çekim endikasyonu ile İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı Kliniği'ne başvuran hastaların yeni çekilmiş alt keser dişleri kullanılmıştır. Çalışmamız ile ilgili G*power 3.1 programı ile yapılan güç analizinde çalışma grupları arasında kırılma direnci için etki büyüklüğü 0,51 bulunmuş (Ersoy & Evcil, 2015) (alfa hata olasılığı=0,05); güç değeri 0,80 alınarak yapılan örneklem genişliği analizinde minimum toplam örnek diş sayısı 96 (n=12) olarak bulunmuştur.

Kök kanalı ISO #15'den geniş, önceden kök kanalı tedavisi veya restoratif tedavi görmüş, rezortif defektli ve kök kanallarında kalsifikasyon olan dişler çalışmaya dahil edilmemiştir. Diş yüzeyleri x20 büyütme altında stereomikroskop (Leica, Leica Microsystems, Almanya) ile incelendikten sonra çatlak ve kırık görülen dişler de çalışmaya dahil edilmemiştir. Örneklerden, mezio-distal ve bucco-lingual yönde ayrı ayrı standart dijital periapikal röntgenler alınmıştır. Elde edilen radyografiler üzerinde ImageJ (National Institutes of Health and the Laboratory for Optical and Computational Instrumentation, University of Wisconsin, ABD) programı kullanılarak kök kanalının apikalden 5 mm uzaklıktaki bucco-lingual ve mezio-distal çapları belirlenmiştir. Uzun çapın kısa çapa olan oranı 2'den fazla olan kanallar oval kanal olarak kabul edilmiştir. Çalışmamızda yalnızca tek ve oval kanala sahip ve 23 ± 1 mm uzunlukta olan dişler kullanılmıştır. Dişlerin üzerindeki sert doku artıkları periodontal küret ile uzaklaştırılmış, ardından yumuşak doku artıklarının uzaklaştırılması için dişler, %5,25'lik sodyum hipoklorit solüsyonu içerisinde 10 dk süreyle bekletilmiştir. Örnekler, deney aşamasına kadar %0,1'lik timol solüsyonu içerisinde saklanmıştır. Seçilen dişlerin kuronları, mine-sement sınırından kök boyu 14 mm olacak şekilde su soğutması altında uzaklaştırılmış ve köklerin kuronal yüzeyleri düzleştirilmiştir.

Örnekler, her grupta 12 diş olacak şekilde rastgele seçilerek 8 gruba ayrılmıştır. Gruplardaki dişlerin kole bölgesindeki mezio-distal ve bukko-lingual yöndeki genişlikleri ölçülmüş ve istatistiksel analiz sonrasında gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ($P > 0,05$).



Şekil 3-1: Çekilmiş Diş Örneklerinin Gruplanması

Grup 1'deki köklerin kanalları şekillendirilmemiş ve doldurulmamıştır.

Diğer köklerin kanallarına #10 K tipi bir eğe yerleştirilmiş, aletin ucu lup (Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) ile x2,5 büyütme altında apikal foramenden görülünceye dek ilerletilmiş ve bu uzunluktan 1 mm kısa olacak şekilde çalışma uzunluğu belirlenmiştir. ISO #15 K tipi eğeler ile rehber yol hazırlanmıştır. Kök kanalları, sırasıyla çalışma uzunluğunda kullanılan ProTaper NEXT (Dentsply, Maillefer) sisteminin X1 ve X2 döner aletleri ile apikal yönde basınç uygulamadan ileri-geri hareket uygulanarak şekillendirilmiştir. X-smart™ Plus (Dentsply, Maillefer) endodontik motoruna takılan kanal aletleri üretici firmanın talimatları doğrultusunda

300 rpm hız ve 2 Ncm tork değerlerinde kullanılmıştır. Kanallar, her eğeleme işlemi sonrasında 2 mL %5,25'lik NaOCl (Promida, Türkiye) solüsyonu ile yıkanmıştır. Şekillendirme işlemleri tamamlandıktan sonra kök kanalları, 5 mL %17'lik EDTA (Promida, Türkiye) solüsyonu ve ardından 5 mL distile su ile yıkanmıştır. Kök kanalları ProTaper Next X2 kağıt konları (Dentsply, Maillefer) ile kurutulmuştur.

Grup 2'deki köklerin kanalları doldurulmamıştır. Kalan 6 grup son yıkama solüsyonuna göre iki alt gruba ayrılmıştır. 3 gruptaki örneklerin kanal dolguları, 2 mL %2,5'lik NaOCl ile ilave yıkama yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Gruplar aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

Grup 1 (A1): Şekillendirilmemiş ve doldurulmamış (negatif kontrol grubu)

Grup 2 (A2): Şekillendirilmiş ancak doldurulmamış (pozitif kontrol grubu)

Grup 3 (H1): AH Plus / %17'lik EDTA + distile su

Grup 4 (H2): AH Plus / %17'lik EDTA + distile su + %2,5'lik NaOCl

Grup 5 (T1): TotalFill BC / %17'lik EDTA + distile su

Grup 6 (T2): TotalFill BC / %17'lik EDTA + distile su + %2,5'lik NaOCl

Grup 7 (B1): BioRoot RCS / %17'lik EDTA + distile su

Grup 8 (B2): BioRoot RCS / %17'lik EDTA + distile su + %2,5'lik NaOCl

Çalışmamızda AH Plus (De Trey, Dentsply), TotalFill BC (FKG) ve BioRoot RCS (Septodont) kanal patları kullanılmıştır (Şekil3-2). Kanal patları, üretici firmanın talimatları doğrultusunda hazırlanmış ve #25 lentülo ile kanal içerisine iletilmiştir. Ardından kök kanalları, kanal patı ile kaplanmış ProTaper NEXT X2 güta-perka konları kullanılarak tek kon tekniği ile doldurulmuştur. Güta-perka konlarının fazla kısmı, Gutta Cut (VDW, Münih, Almanya) yardımıyla kanal ağzından 2 mm derinlikte kaldırılarak uzaklaştırılmıştır. Kanal ağzları geçici dolgu materyali Coltosol (Coltene) ile kapatılmıştır. Örnekler, kanal patlarının tam olarak sertleşmesi için 37°C'de %100 nemli ortamda 2 hafta bekletilmiştir.



A



B



C

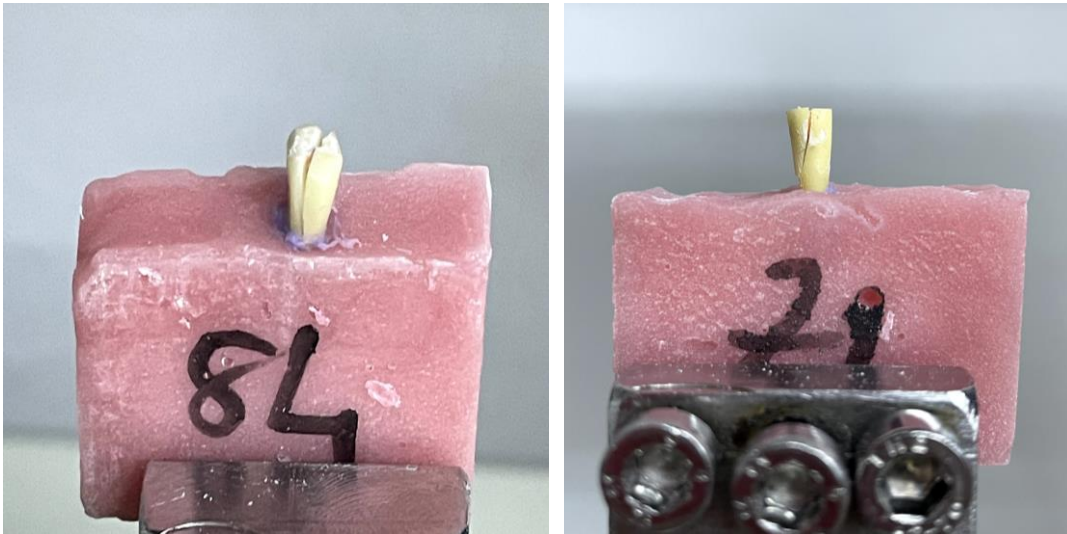
Şekil 3-2: Çalışmamızda Kullanılan Kanal Patları

AH Plus (A) , TotalFill BC (B), BioRoot RCS (C)

Kırılma direnci testi için Universal test cihazı (Autograph AG-X; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) kullanılmıştır. Tüm örneklerin kanal ağzlarındaki dolgu materyalleri uzaklaştırılmıştır. Periodontal ligamenti taklit etmek için kullanılacak olan ölçü materyaline yer hazırlamak amacıyla kök yüzeyleri 1 tabaka eritilmiş mum ile kaplanmıştır. Örnekler, 10mm x 25mm x 35mm ebatlarındaki modelin içine soğuk akrilik reçine (Imicryl, Konya, Türkiye) döküldükten sonra kökün 9 mm'si dışarıda kalacak şekilde akrilik yüzeyine dik olarak gömülmüştür. Akrilik reçine sertleştikten sonra kök yüzeyindeki ve soketteki mum artıkları sıcak su ile uzaklaştırılmıştır. Elastomerik ölçü materyali (Zetaflow, Zhermack, Rovigo, İtalya) konan sokete örnekler tekrar yerleştirilmiştir. Hazırlanan akrilik modeller Universal test cihazı tabanına yerleştirildikten sonra cihazın 5 mm çapındaki küresel paslanmaz çelik ucu, kanal girişine çepeçevre temas edecek ve kuvveti dik olarak ileticek şekilde yerleştirilmiştir. Kök kırığı gerçekleşene dek örnekler 1 mm/dk hız ile kuvvet uygulanmış ve kırılma anındaki yük değeri Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir.



Şekil 3-3: Universal Test Cihazı (Autograph AG-X; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)



Şekil 3-4: Kırılma Direnci Testi Sonrası Oluşan Kök Kırıkları

İstatistiksel analizler SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versiyon 17.0 programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Tanımlayıcı analizler sunulurken ortalama, standart sapma, ortanca değerler kullanılmıştır. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu histogram grafikleri ve Kolmogorov-Smirnov testi ile incelenmiştir. Normal dağılım göstermeyen (nonparametrik) değişkenlerin ikili karşılaştırmalarında Mann Whitney U Testi kullanılmıştır. *P* değerinin 0,05'in altında olduğu durumlar istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar şeklinde değerlendirilmiştir.



4. BULGULAR

Grupların kırılma direnci değerleri Tablo 4-1 'de verilmiştir.

Tablo 4-1: Grupların Kırılma Direnci Değerleri (Newton) (n=12)

	Ortalama	Standart sapma	Medyan
Grup 1 - A1 (Negatif kontrol grubu)	271,73	±83,11	260,78
Grup 2 - A2 (Pozitif kontrol grubu)	151,68	±54,12	144,03
Grup 3 - H1 (AH Plus-EDTA)	194,01	±73,47	196,64
Grup 4 - H2 (AH Plus-NaOCl)	154,38	±39,33	149,53
Grup 5 - T1 (TotalFill BC-EDTA)	167,85	±77,53	150,23
Grup 6 - T2 (TotalFill BC-NaOCl)	192,89	±64,91	199,69
Grup 7 - B1 (BioRoot RCS-EDTA)	182,40	±57,87	196,09
Grup 8 - B2 (BioRoot RCS-NaOCl)	190,39	±82,73	161,95

Gruplar arasında yapılan ikili karşılaştırma sonuçlarına göre *P* değerleri Tablo 4-2 'de verilmiştir.

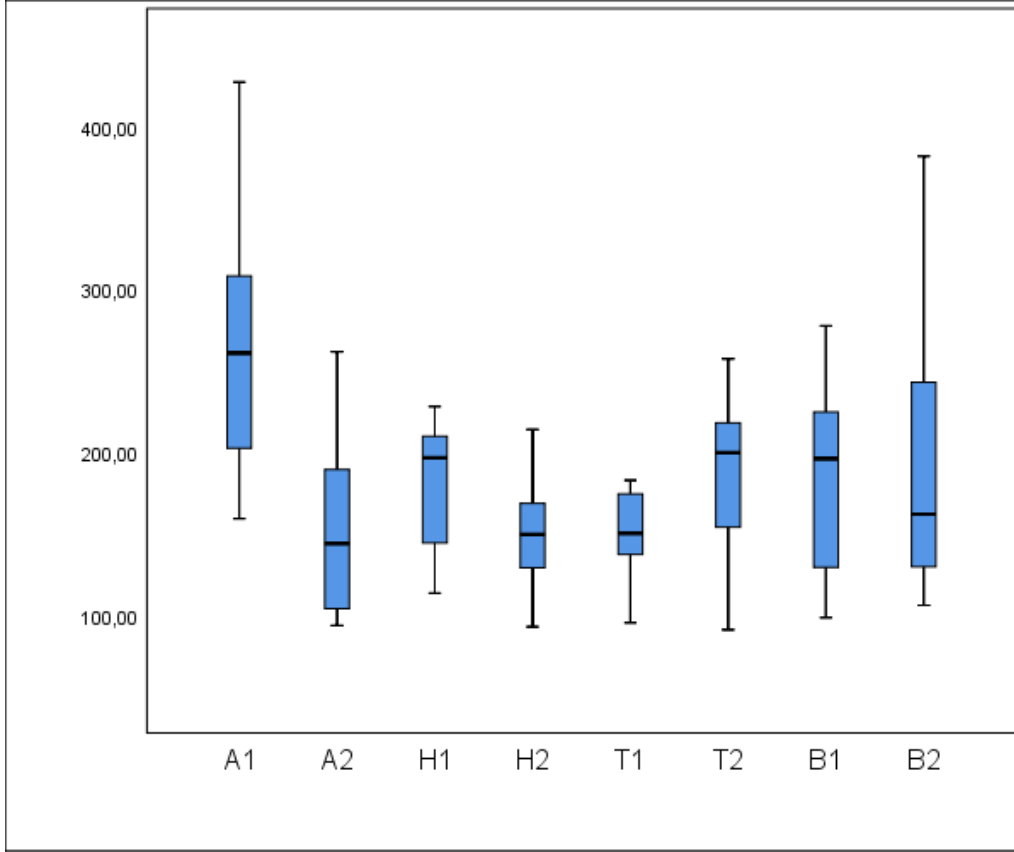
Tablo 4-2: Grupların İkili Karşılaştırmaları

	A1	A2	H1	H2	T1	T2	B1	B2
A1		0,001	0,015	<0,001	0,001	0,043	0,011	0,018
A2			0,083	0,817	0,773	0,106	0,149	0,149
H1				0,184	0,149	0,729	0,908	0,603
H2					0,729	0,083	0,299	0,386
T1						0,119	0,326	0,564
T2							0,773	0,453
B1								0,954
B2								

Mann Whitney U Testi

İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar kalın karakterlerle belirtilmiştir ($P < 0.05$)

Grupların kırılma direnci değerleri grafik olarak Şekil 4-1'de verilmiştir.



Şekil 4-1: Grupların Kırılma Direnci Değerleri (Newton)

Negatif kontrol grubundaki köklerin kırılma direnci değerleri, diğer tüm gruplara kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($P < 0,05$). Diğer grupların ikili karşılaştırmalarında ise istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($P > 0,05$). İstatistiksel düzeyde anlamlı olmasa da NaOCl ile son yıkama yapılan gruplarda EDTA grubundakilere kıyasla AH Plus ile doldurulan köklerin kırılma direnci daha düşük, TotalFill BC ve BioRoot RCS patları ile doldurulan köklerin kırılma direnci ise daha yüksek bulunmuştur ($P > 0,05$).

Son yıkama protokolünden bağımsız olarak kanal patı gruplarına ait ölçümler Tablo 4-3'te verilmiştir.

Tablo 4-3: Son Yıkama Protokolünden Bağımsız Olarak Kanal Patı Gruplarının Kırılma Direnci Değerleri (Newton)

	Ortalama	Standart Sapma	Medyan
A1 (Negatif kontrol)	271,73	±83,11	260,78
A2 (Pozitif Kontrol)	151,68	±54,12	144,03

AH Plus (H1+H2)	174,19	±61,08	161,48
TotalFill BC (T1+T2)	180,37	±71,08	173,44
BioRoot RCS (B1+B2)	186,40	±69,94	178,83

Son yıkama protokolünden bağımsız olarak gruplar arasında yapılan ikili karşılaştırma sonuçlarının *P* değerleri Tablo 4-4'te verilmiştir.

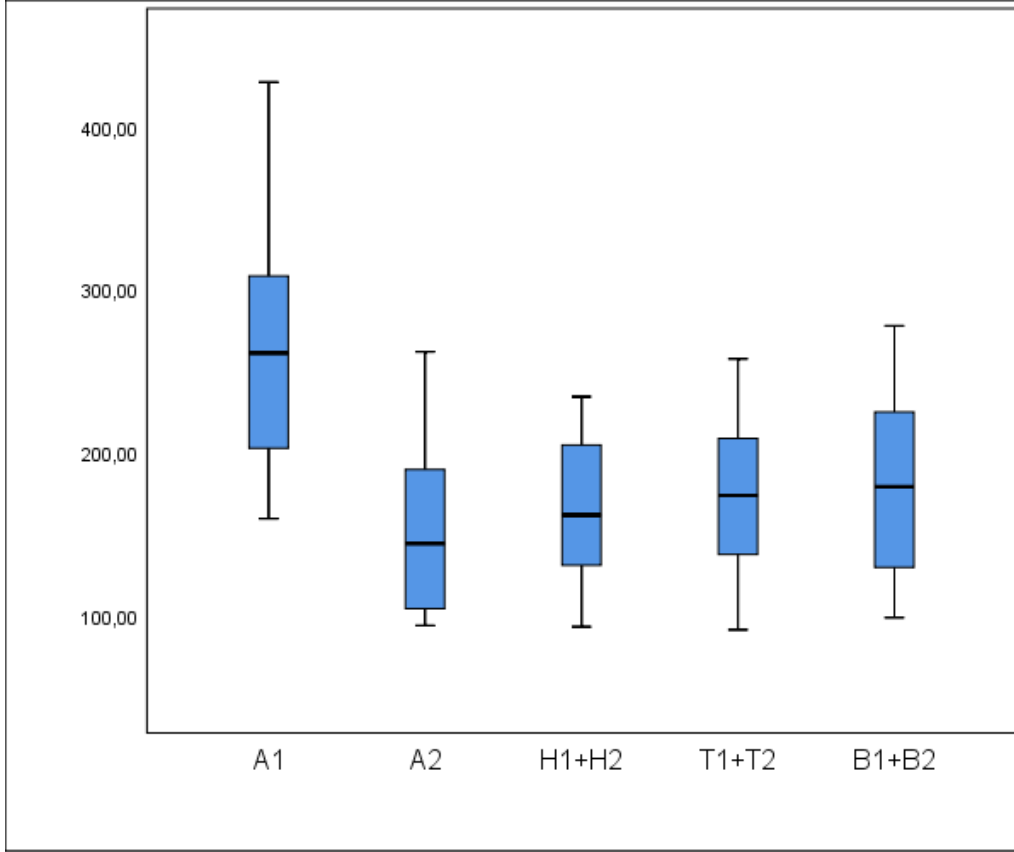
Tablo 4-4: Son Yıkama Protokolünden Bağımsız Olarak Kanal Patı Gruplarının Kırılma Direnci Değerlerinin İkili Karşılaştırmaları

	A1	A2	H1+H2	T1+T2	B1+B2
A1 (Negatif Kontrol)		0,001	0,001	0,002	0,004
A2 (Pozitif Kontrol)			0,254	0,268	0,093
H1+H2 (AH Plus)				0,726	0,592
T1+T2 (TotalFill BC)					0,650
B1+B2 (BioRoot RCS)					

Mann Whitney U Testi

İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar kalın karakterlerle belirtilmiştir ($P < 0.05$)

Son yıkama protokolünden bağımsız olarak kanal patı gruplarının kırılma direnci değerleri grafik olarak Şekil 4-2'de verilmiştir.



Şekil 4-2: Son Yıkama Protokolünden Bağımsız Olarak Kanal Patı Gruplarının Kırılma Direnci Değerleri (Newton)

Negatif kontrol grubundaki köklerin kırılma direnci, diğer gruplardaki köklere kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($P < 0,05$). Diğer gruplar arasında istatistiksel düzeyde anlamlı fark yoktur ($P > 0,05$). Son yıkama protokolünden bağımsız olarak kanal patı grupları kıyaslandığında, BioRoot RCS patı ile doldurulan köklerin kırılma direnci en yüksek, AH Plus patı ile doldurulan köklerin kırılma direnci ise en düşük bulunmuştur.

5. TARTIŞMA

Dikey kök kırıkları, endodontik tedavinin en önemli komplikasyonlarından ve genellikle dişlerin kaybedilmesine sebep olur (Zandbiglari ve ark., 2006). Kök kanalı boşluğunun şekillendirilmesi ile kök yapısının zayıflaması, kök kanallarının doldurulması sırasında uygulanan kuvvetler ve kullanılan yıkama solüsyonlarının dentinin esnekliğini olumsuz yönde etkilemesi gibi faktörler, dişleri kırığa yatkın hale getirebilmektedir (Belli, Cobankara, Eraslan, Eskitascioglu, & Karbhari, 2006; Sim, Knowles, Ng, Shelton, & Gulabivala, 2001).

Dikey kök kırıkları, özellikle mezio-distal yönde dar, bukko-lingual yönde geniş olan oval yatay kesite sahip köklerde gözlenir ve bukko-lingual yönde bir hat izlerler (Gutmann, 1992). Kök morfolojisi oval olan dişlerde mezio-distal yönde dentin kalınlığı daha incedir ve bu dişlerin fonksiyon sırasında maruz kaldığı streslerin dengeli olarak dağılmadığı bildirilmiştir (Lertchirakarn ve ark., 2003b). Lertchirakarn ve ark. (Lertchirakarn ve ark., 2003b), sonlu elemanlar analizi ile kök kırıklarındaki stres dağılımlarını inceledikleri çalışmalarında dikey kök kırıklarına en yatkın dişlerin alt keser dişler ve alt molar dişlerin mezial kökleri olduğunu bildirmişlerdir. Bu bilgilerin ışığında bu çalışmada yalnızca kök kanalının değil, kökün yatay kesitinin de oval olduğu çekilmiş insan dişleri kullanılmıştır. Aynı zamanda doğal dişlerin morfolojik çeşitliliğini en aza indirmek amacıyla alt molar dişlerin mezial kökleri yerine tek kanallı alt keser dişler tercih edilmiştir.

Oval kanalların belirlenmesinde periapikal radyografi tekniği veya bilgisayarlı mikrotomografi yöntemi kullanılmaktadır (Wolf ve ark., 2020; Wu & Wesselink, 2001). Bu çalışmada yüksek maliyetli oluşu ve tarama ve görüntü rekonstrüksiyonu aşamalarının uzun zaman alması nedeniyle bilgisayarlı mikrotomografi yerine periapikal radyografi tekniği tercih edilmiştir. Jou ve ark. (Jou, Karabucak, Levin, & Liu, 2004), bukko-lingual ve mezio-distal yönde alınan periapikal radyografi görüntülerinde, kök kanallarının geniş çapının dar çapına olan oranına göre yatay kesitteki kanal şekillerini yuvarlak (eşit), oval (>2), uzun oval (2-4), yassı (>4) ve düzensiz (oranı belirlenemeyen) şekilli olarak sınıflandırmışlardır. Wu ve Wesselink (Wu & Wesselink, 2001), iki yönden alınan periapikal radyografi görüntülerini değerlendirdiklerinde apikale doğru kanal şeklinin yuvarlaklaştığını belirlemişler ve bu

sebeple ölçümleri apikalden 5 mm uzaklıkta yaptıklarını belirtmişlerdir. Aynı yöntemle bu çalışmada alınan dijital periapikal radyografilerde apikalden 5 mm uzaklıkta kök kanallarının mezio-distal ve bukko-lingual yöndeki çapları ölçülmüş ve geniş çapın dar çapa olan oranı 2'den büyük olan tek kanala sahip dişler çalışmaya dahil edilmiştir.

Kök kanallarının doldurulmasında, kanal patlarının zamanla doku sıvılarında çözünmesi nedeniyle güta-perka oranının olabildiğince yüksek olması istenir (Peters, 1986; Weis, Parashos, & Messer, 2004; Wu, Wesselink, & Boersma, 1995). Yuvarlak yatay kesite sahip kanallarda bu mümkünken, düzensiz yatay kesite sahip kanallarda kor materyalinin dışında kalan fin, istmus benzeri alanlar kanal patı ile dolmakta ve pat oranı artmaktadır (Robberecht, Colard, & Claisse-Crinquette, 2012; Simsek & Karagoz-Kucukay, 2009; Weis ve ark., 2004). Bu çalışmada oval yatay kesitli kanalların tercih edilmesinin bir sebebi de kanal patı oranının daha yüksek olacağının öngörülmesidir.

Kırılma direncinin incelendiği klinik çalışmaların uzun zaman alması, takibinin zor olması, maliyetli oluşu ve standardizasyondaki zorluklar sebebiyle, predispozan faktörlerin etkisinin değerlendirilmesinde *in vitro* testler önem kazanmaktadır. Dişlerin kırılma direncinin *in vitro* olarak değerlendirilmesinde Universal test cihazı ile dişlere kuvvet uygulanmaktadır (Assif ve ark., 2003; Cobankara ve ark., 2008). Günümüzde standardize edilmiş bir araştırma protokolü bulunmamaktadır (Krejci & Lutz, 1990; Naumann ve ark., 2009) ve test parametreleri incelendiğinde, dişlere uygulanacak kuvvetin miktarı ve kuvveti uygulayacak ucun şekli değişkenlik gösterebilmektedir (Uzunoglu-Özyürek ve ark., 2018). Ağız ortamında dişlerin maruz kaldığı kuvvetler birden fazla doğrultuda iken, *in vitro* testlerde köklerin kırılması için uygulanan kuvvetler tek yönde olmaktadır (Molinaro, Diefenderfer, & Strother, 2002; Sabeti ve ark., 2018). Dikey kök kırıklarının incelendiği çalışmalarda kökün uzun aksına paralel olacak şekilde kuvvet uygulanması ile oluşan streslerin kök boyunca homojen olarak dağılması amaçlanmaktadır (Sungur ve ark., 2016; Yusufoglu ve ark., 2019). Streslerin homojen olarak dağılmasının ve oval kanallarda pat oranının yüksek olmasının, kanal patının köklerin kırılma direnci üzerindeki etkisini öne çıkarabileceği göz önüne alınarak çalışmamızın gereç ve yöntemi bu yönde tasarlanmıştır. Vertikal yönde kuvvet uygulanan çalışmalarda, çelik ucun hareketinde, çiğneme kuvvetlerine yakın bir değer için dakikada 1 mm'lik hızın yeterli olacağı bildirilmiştir (Naumann ve ark., 2009).

Sonuç olarak, çalışmamızda kanal çeperine temas eden 5 mm çapında küresel uç yardımıyla kırık oluşana dek köklere 1 mm/dk hızla dikey yönde kuvvet uygulanmış ve değerler Newton cinsinden kaydedilmiştir.

Kök kanallarının mekanik olarak şekillendirilmesinin amacı; kanaldaki doku artıkları ve mikroorganizmaların uzaklaştırılarak temizlenmesi ve dezenfeksiyon amacıyla kullanılan medikamanların ve kanal dolgu materyallerinin yerleştirilmesi için uygun bir şekil almasını sağlamaktır (Haapasalo, Endal, Zandi, & Coil, 2005). Bu çalışmada kök kanallarının mekanik olarak şekillendirilmesinde ProTaper NEXT sistemi kullanılmıştır. Kök dentininde daha önceden var olan mikro çatlakların ilerlemesi kök kırıklarına zemin hazırlayabilmektedir (Berman & Hargreaves, 2020). Döner eğelerle şekillendirme sonrasında yeni mikro çatlakların oluşabildiği veya var olan mikro çatlakların ilerleyebildiği bildirilmiştir (Karataş ve ark., 2016; Karataş ve ark., 2015). ProTaper NEXT sisteminin farklı döner alet sistemleri ile karşılaştırıldığı *in vitro* çalışmalarda mikro çatlakların düşük seviyede olduğu bulunmuştur (Capar, Arslan, ve ark., 2014; Chole ve ark., 2019; Karataş ve ark., 2015; Priya ve ark., 2014; Taç ve ark., 2018). Oval yatay kesitli kanallar kullanılarak gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada döner aletlerin şekillendirme etkinliği önem kazanmaktadır. Velozo ve ark. (Velozo ve ark., 2020) oval kanallı alt keser dişlerde döner aletlerin şekillendirme etkinliğini değerlendirdikleri çalışmada, ProTaper NEXT sisteminin kanal anatomisine adapte olarak şekillendirme yaptığı belirtilen XP-Endo Shaper sistemi ("FKG; XP-Endo Shaper broşür ") ile benzer sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Bu bilgiler ışığında çalışmamızda ProTaper NEXT sistemi tercih edilmiştir. Alt keser dişlerin ince köklere sahip olması ve apikal çaplarının dar olması göz önünde bulundurularak apikal genişletmenin #25'e kadar yapılmasının yeterli olduğu düşünülmektedir (Cassimiro ve ark., 2017; Karataş ve ark., 2015). Dolayısıyla da bu çalışmada şekillendirme X2 (25.06) eğelerinin kullanılmasıyla sonlandırılmıştır.

Bu çalışmanın bulguları, kök kanalı şekillendirme işlemlerinin alt keser diş köklerinin kırılma direncini ortalama %44 oranında azalttığını göstermiştir. Kanal tedavisi sırasındaki mekanik uygulamaların dişleri zayıflattığını bildiren çalışmalar (Celikten ve ark., 2015; Çobankara, Üngör, & Belli, 2002; Ersoy & Evcil, 2015; Karapınar Kazandag ve ark., 2009; Lertchirakarn ve ark., 2002; Mandava ve ark., 2014; Osiri ve ark., 2018; Patil ve ark., 2017; Sagsen ve ark., 2012; Sungur ve ark., 2016;

Topcuoglu ve ark., 2013), bu çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir. Dikey kök kırıklarında kırığın konumu ve yönünü belirleyen faktörlerin kök kanalı şekli, kök morfolojisi ve dentin kalınlığı ile ilgili olduğu bildirilmiştir. Oval yatay kesitli köklerde mezial ve distal duvarların dentin kalınlığı oldukça incedir. Bu tip köklerde streslerin ovalliğin eğim açısının en düşük olduğu bukkal ve lingual uçlarda toplanması ve dentin kalınlığının az olduğu kısımda dentinin daha kolay esneyebilmesi sebebiyle kırıklar çoğunlukla bukko-lingual yönde izlenmektedir. Alt keser diş köklerinde bukko-lingual yöndeki dentin kalınlığının genelde proksimal dentinden iki kat daha kalın olduğu ve bu dişlerin çoğunlukla tek ve oval kanallı oldukları bildirilmiştir (Boruah & Bhuyan, 2011; Espir, Nascimento, Guerreiro-Tanomaru, Bonetti-Filho, & Tanomaru-Filho, 2018; Lertchirakarn, Palamara, & Messer, 2003a). Kanal yatay kesiti oval olduğunda streslerin daha düzensiz dağıldığı bildirilmiş ve kök kırıklarına en yatkın diş grubunun hem kök hem de kanal yatay kesitinin oval olduğu alt keser dişler olduğu belirtilmiştir (Lertchirakarn ve ark., 2003b). Çalışmamızda şekillendirme sonrasında kök direncinin büyük ölçüde azalması, hem kök hem de kanal yatay kesitinin oval olduğu alt keser dişlerin kullanılması ile açıklanabilmektedir.

Kanal dolgu materyallerinin kullanılmasının hedeflerinden biri, şekillendirme işlemleri ile zayıflayan kök yapılarının güçlendirilmesidir (Apicella, Loushine, West, & Runyan, 1999; Johnson ve ark., 2000). Dentinle iyi bir bağlantı kurabilen bir kanal patının varlığı da dişin mekanik kuvvetler karşısında daha dirençli olmasına katkıda bulunabilmektedir (Ribeiro ve ark., 2008; Schäfer ve ark., 2007). Son yıllarda uygun biyolojik ve fiziko-kimyasal özelliklere sahip kalsiyum silikat esaslı simanların kanal patı olarak da kullanılabileceği düşünülmüş (Bogen & Kuttler, 2009) ve piyasaya bir çok kalsiyum silikat esaslı kanal patı sürülmüştür. Kanal patının kanal içindeki düzensizlikleri, apikal ve lateral boşlukları örtmesi ve dentinle iyi bir bağlantı kurması beklenir (Lee ve ark., 2002). Donnermayer ve ark. (Donnermayer, Burklein, ve ark., 2019), kalsiyum silikat esaslı patların fiziko-kimyasal özellikleri, dentinle etkileşimleri ve biyolojik özellikleriyle ilgili yapılan *in vitro* çalışmalardan oluşan kapsamlı bir derleme yayınlamışlardır. Araştırmacılar, kalsiyum silikat esaslı patların fiziksel ve biyolojik olarak diğer kanal patlarına kıyasla yeterli ve hatta üstün özelliklere sahip olduğunu belirtirken, dentin ile ilişkisini inceleyen çalışmalarda sızdırmazlık, kök kanalı içinde kalan boşluklar, dentine bağlanma dayanımı ve dentin tübüllerine penetrasyon değerlerinde çelişkili sonuçlar gözlemişlerdir. Bu çalışmayı oluştururken, kalsiyum

silikat esaslı patların dentine bağlantıları ile ilgili kesin bir görüşe varılmamış olması, bu patların dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkisini sorgulamamıza neden olmuştur. Literatür incelendiğinde, kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının kanal tedavisi görmüş diş köklerinin direncini arttırdığını bildiren sonuçlar gözlenirken (Hegde & Arora, 2015; Sagsen ve ark., 2012; Sungur ve ark., 2016; Topcuoglu ve ark., 2013), bu patların kalan kök yapısının direncine katkıda bulunmadığı sonucuna ulaşan çalışmalar da bulunmaktadır (Ersoy & Evcil, 2015; Mandava ve ark., 2014). Ayrıca *in vitro* koşullarda epoksi reçine esaslı patlarla kıyaslandığında kalsiyum silikat esaslı patlarla doldurulan köklerin kırılma direnci değerlerinde çoğunlukla bir fark gözlenmezken (Dibaji ve ark., 2017; Osiri ve ark., 2018; Saba & Elasmfour, 2019; Sagsen ve ark., 2012; Topcuoglu ve ark., 2013) daha dirençli olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur (Hegde & Arora, 2015; Patil ve ark., 2017). Mevcut literatürde bu konuda kesin bir sonuca ulaşılamadığı görülmüş ve bu çalışmada kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Endodontide altın standart olarak kabul edilen AH Plus kanal patı, epoksi reçine esaslı bir pattır ve dentin adezyonunun birçok kanal patına kıyasla üstün olduğu bildirilmiştir (Ersahan & Aydın, 2010; Silva ve ark., 2019). Epoksi reçine esaslı kanal patları, kırılma direnci çalışmalarında en çok incelenen kanal patlarıdır ve AH Plus kanal patı da günümüzde birçok çalışmada temel kıyas materyali olarak kullanılmaktadır (Garrido ve ark., 2010; Hergt, Wiegand, Hülsmann, & Rödig, 2015; Viapiana, Flumignan, Guerreiro-Tanomaru, Camilleri, & Tanomaru-Filho, 2014). TotalFill BC kanal patı, 2007’de piyasaya ilk sunulan kalsiyum silikat esaslı kanal patı olan iRoot SP patı ile aynı içeriğe sahiptir, enjekte edilebilir halde bulunur ve sertleşmesi için nem varlığına ihtiyaç duymaktadır. 2015 yılında piyasaya sunulan BioRoot RCS kanal patı ise toz ve likit şeklinde iki bileşenden oluşur, sertleşmesi için gereken nemi likit bileşeninden almaktadır (Donnermeyer, Burklein, ve ark., 2019). Çalışmamızda farklı formlarda bulunan bu iki güncel kalsiyum silikat esaslı kanal patı, TotalFill BC ve Bioroot RCS’nin dişlerin kırılma direncine olan etkisi, AH Plus ile kıyaslanarak incelenmiştir.

Kök kanallarının doldurulmasında klinik pratiğinde sıklıkla soğuk lateral kompaksiyon tekniği kullanılmaktadır (Wong, Zhang, Li, Zhang, & Chu, 2017). Lateral kompaksiyon ve sıcak güta-perka tekniklerinde kullanılan spreader veya pluggerin kök

kanallarına yerleştirilmesi sırasında kanal duvarlarının strese maruz kalması ile dentin defektleri ve mikro çatlakların oluşabileceği gösterilmiştir (Shemesh ve ark., 2009; Shemesh ve ark., 2010). Tek kon kanal dolgu tekniğinde kanal duvarlarının daha az strese maruz kalması ile kökte çatlak oluşma riskinin azaldığı bildirilmiştir (Capar ve ark., 2015). Tek kon tekniğinin kanalların üç boyutlu olarak doldurulmasında lateral kompaksiyon kadar başarılı olduğunu bildiren *in vitro* çalışmalar bulunmaktadır (Gordon, Love, & Chandler, 2005). Kalsiyum silikat esaslı patların tek kon tekniği ile yeterli bir kök kanalı dolgusu sağladığı belirtilmekte ve bu teknik ile kullanılması önerilmektedir (Debelian & Trope, 2016; Jeong, Degraft-Johnson, Dorn, & Di Fiore, 2017; Samiei ve ark., 2014). AH Plus kanal patının soğuk ve sıcak gütaperka dolgu teknikleri ile uygulanabileceği üretici firma tarafından bildirilmiştir ("Dentsply; AH Plus broşür,"). Ayrıca, Ozawa ve ark. (Ozawa, Taha, & Messer, 2009) AH Plus kanal patının oval kanallı dişlerdeki doldurma etkinliğinin, lateral kompaksiyon ile ve tek kon tekniği ile uygulandığında birbirine benzer olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada da üretici önerilerine uyularak tek kon tekniği ile kullanılan kalsiyum silikat esaslı patlarla uyum sağlaması açısından AH Plus patı da aynı teknikle kullanılmıştır.

Kök kanallarının doldurulmasının, kalan kök yapısının direncini sağlam köklerin direnci seviyesine ve hatta üzerine çıkardığını bildiren *in vitro* çalışmalar mevcuttur (Celikten ve ark., 2015; Ersev ve ark., 2012; Hegde & Arora, 2015; Karapınar Kazandag ve ark., 2009; Osiri ve ark., 2018; Sagsen ve ark., 2012) ve bu sonuçlar genelde kanal patlarının dentine bağlanması ile açıklanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda epoksi reçine esaslı patların kanal duvarlarındaki düzensizliklere iyi adapte olabildiği, dentin tübüllerine iyi penetre olabildiği ve dentinle iyi bir bağlantı kurduğu bildirilmiştir (Mamootil & Messer, 2007; Sousa-Neto ve ark., 2002). Kalsiyum silikat esaslı patların da sertleşirken iyonik bağlar yoluyla dentinle sıkı bir bağlantı oluşturdukları ve bu bağlantının dişlerin kırılma direncine katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (Çobankara ve ark., 2002; Sagsen ve ark., 2012). Ancak çalışmamızda epoksi reçine ve kalsiyum silikat esaslı patlar köklerin dayanıklılığını geri kazandırmakta yeterli olmamış ve şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklere kıyasla anlamlı düzeyde bir fark bulunmamıştır.

Almohaimede ve ark. (Almohaimede ve ark., 2020) alt küçük azı diş köklerinin kırılma direncini inceledikleri çalışmada, TotalFill BC ve AH Plus grupları arasında ve

şekillendirilmiş ancak doldurulmamış kökler arasında istatistiksel bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte tüm deney grupları sağlam köklere kıyasla anlamlı düzeyde düşük değerler göstermiştir. Tüm bu bulgular, bu çalışmanın bulguları ile örtüşmektedir.

Ersoy ve ark. (Ersoy & Evcil, 2015), AH Plus patı ve tek kon tekniği ile doldurulan köklerde kanal dolgusu uygulanan köklerin kırılma direncinin, şekillendirilmiş ancak doldurulmamış köklerininkilerden anlamlı düzeyde yüksek olmadığını gözlemlemişlerdir. Saba ve ElAsfour (Saba & ElAsfour, 2019), AH Plus, BioRoot RCS ve Endoseal MTA patının alt küçük azı diş köklerinin kırılma direncine etkisini değerlendirmişler ve deney grupları ile kontrol grupları arasında anlamlı düzeyde fark bulmamışlardır. Araştırmacıların sonuçları, bu çalışmanın şekillendirilmiş ancak doldurulmamış kökler ile kanal dolgusu uygulanan köklerin kırılma dirençleri arasında anlamlı fark olmadığını bulgusu ile örtüşmektedir.

Topçuoğlu ve ark. (Topcuoglu ve ark., 2013), alt küçük azı dişlerinde Endosequence BC ve AH Plus patı ile doldurulan köklerin kırılma direncini, şekillendirilmiş köklerininkilere kıyasla anlamlı düzeyde yüksek bulmuşlardır. Sağsen ve ark. (Sağsen ve ark., 2012), iRoot SP, AH Plus ve MTA Fillapex kanal patları ve lateral kompaksiyon yöntemi ile doldurulan üst keser diş köklerinin kırılma direnci değerinin sağlam köklerle benzer seviyede olduğunu bildirmişlerdir. AH Plus ile kanal dolgusu yapılan köklerin sağlam kökler kadar dayanıklı olduğunu bulan farklı *in vitro* çalışmalar da bulunmaktadır (Ersev ve ark., 2012; Hegde & Arora, 2015; Karapınar Kazandag ve ark., 2009; Mandava ve ark., 2014). Çalışmalar incelendiğinde bu diş gruplarında mekanik şekillendirme sonrası köklerin kırılma direnci değerlerinde yaklaşık %20-38 oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Alt keser dişlerde ise bu oran %38-51 arasında değişmektedir (Lertchirakarn ve ark., 2002; Patil ve ark., 2017). Yukarıdaki çalışmaların ortak özelliğine bakıldığında alt küçük azı ve üst keser dişlerinin kullanıldığı görülmektedir ve çalışmamızla oluşan sonuç farklılığı, alt küçük azı ve üst keser diş köklerinin yuvarlak yatay kesite sahip olması ve dentin kalınlığının fazla olması ile açıklanabilir. Çalışmamızda da benzer şekilde mekanik şekillendirme ile alt keser diş köklerinin kırılma direnci değerlerinde ortalama %44 azalma gözlenmiştir. Çalışmamızın bulgularında kanal dolgu materyallerinin köklerin kırılma direnci

değerini yalnızca %8-13 oranında arttırmış olmasının alt keser diş köklerinin kullanılmasına bağlı olduğu kanısına varılmıştır.

Kök kanallarının mekanik olarak şekillendirilmesi ile periservikal dentinde incelleme olmakta ve dişler kırılmalara daha yatkın hale gelmektedir (Acharya, Hasan, Kafle, Chakradhar, & Saito, 2020) ve geniş koniklik açısına sahip aletlerle şekillendirme yapıldığında bu bölgede doku kaybı artmaktadır. Koniklik açısı seçilirken kök ve kanal morfolojisi göz önüne alınmalıdır (Da Silva ve ark., 2020; Rundquist & Versluis, 2006). Çalışmamızda .06 koniklik açısının seçilmesinin alt keser diş köklerinin direncinin azalmasına etkisi olabileceği ve daha düşük koniklik açısıyla yapılan ileri araştırmaların sonuçlarının klinik uygulamalara katkıda bulunacağı kanısındayız.

Çalışmamızın bulguları incelendiğinde AH Plus, TotalFill BC ve BioRoot RCS pat grupları arasında anlamlı düzeyde bir fark gözlenmemiştir. Kanal patlarının dentinle iyi bir bağlantı kurması ile dişlerin kırılma direncine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (Ribeiro ve ark., 2008; Schäfer ve ark., 2007). Dentin ve kanal patı arasındaki bağlantı, hem kimyasal adezyon ile hem de kanal patının dentin tübülleri içerisine mikromekanik olarak yerleşmesi ile mümkün olmaktadır (Hashem ve ark., 2009). Epoksi reçine esaslı patlar üstün adezyon ve dentin tübülleri penetre olabilme yetenekleri ile bilinmektedir (Mamootil & Messer, 2007; Sousa-Neto ve ark., 2002; Sousa-Neto, Silva Coelho, Marchesan, Alfredo, & Silva-Sousa, 2005). Kalsiyum silikat esaslı patların da mineralize bir ara yapı oluşumunu uyatarak dentinle sıkı bir bağlanma gerçekleştirdiği bildirilmiştir ("FKG; TotalFill broşür," ; "Septodont; BioRoot RCS broşür,"). Erşahan ve Aydın (Ersahan & Aydın, 2010), iRoot SP, AH Plus, EndoREZ ve Sealapex patlarının dentine bağlanma dayanımlarını inceledikleri çalışmada iRoot SP ve AH Plus patlarının diğer patlara kıyasla yüksek dentine bağlanma dayanımı gösterdiklerini saptamışlardır. Sağsen ve ark. (Sagsen ve ark., 2011), iRoot SP ve AH Plus'ın dentine bağlanma dayanımlarının orta ve apikal bölgede benzer seviyede olduğunu ve MTA Fiilapex'ten daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Shokouhinejad ve ark. (Shokouhinejad ve ark., 2013), Endosequence BC ve AH Plus patlarının dentine bağlanma dayanımlarını kıyaslamışlar ve patlar arasında anlamlı düzeyde bir fark bulmamışlardır. Tuncer ve ark. (Kara Tuncer ve ark., 2014), iRoot SP, AH Plus ve MTA Fillapex patlarının dentin penetrasyon ve bağlanma dayanımlarını

inceledikleri çalışmada MTA Fillapex ve iRoot SP patlarının dentin tübül penetrasyonlarının AH Plus'a kıyasla daha yüksek olmasına karşın iRoot SP ve AH Plus'ın dentine bağlanma dayanımlarını MTA Fillapex'ten yüksek bulmuşlardır. Kalsiyum silikat esaslı patların dentine bağlanma dayanımlarının epoksi reçine esaslı patlarla benzer olduğunu bildiren bu çalışmaların sonuçları, bulgularımızı destekler niteliktedir.

Sağsen ve ark. (Sagsen ve ark., 2012), iRoot SP patının dişlerin kırılma direncine etkilerinin AH Plus ile benzer olduğunu bildirmişlerdir. Dibaji ve ark. (Dibaji ve ark., 2017) da AH Plus ve iRoot SP patları arasında anlamlı düzeyde bir fark saptamamışlardır. Osiri ve ark. (Osiri ve ark., 2018), TotalFill BC kanal patı/konu ve AH Plus patı/güta-perka konu ile doldurulan dişlerin kırılma direncinin benzer olduğunu bildirmişlerdir. Topçuoğlu ve ark. (Topcuoglu ve ark., 2013), AH Plus Jet, Tech Biosealer Endo ve Endosequence BC patlarının dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkilerini karşılaştırdıkları çalışmada AH Plus ve Endosequence BC patları arasında anlamlı düzeyde bir fark bulmamışlardır. Benzer şekilde Saba ve ElAsfour (Saba & ElAsfour, 2019), AH Plus ve BioRoot RCS kanal patlarının dişlerin kırılma direnci üzerindeki etkileri arasında anlamlı düzeyde bir fark olmadığını bildirmişlerdir. Kırılma direncinin değerlendirildiği bu çalışmaların bulguları, çalışmamızın sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Çalışmamızda fark anlamlı düzeyde olmasa da, kalsiyum silikat esaslı patlarla doldurulan köklerin kırılma direnci, AH Plus ile doldurulan köklere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Kalsiyum silikat esaslı patlarla doldurulan köklerin epoksi reçine esaslı patlarla doldurulanlara kıyasla kırılmaya karşı daha dirençli olduğunu gözlemleyen başka çalışmalar da mevcuttur (Hegde & Arora, 2015; Patil ve ark., 2017). Hedge ve Arora (Hegde & Arora, 2015), Endosequence BC ile doldurulan köklerin kırılma direncini AH Plus grubundakilere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bulmuşlardır. Patil ve ark. (Patil ve ark., 2017) da Endosequence BC ile doldurulan alt keser diş köklerinin kırılma direnci değerinin AH Plus ile doldurulanlarınkinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmalardaki bulgular, kalsiyum silikat esaslı patların oluşturdukları mineralize ara yapı ile dentinle kimyasal bir bağlantı sağlaması ile açıklanmıştır. Kalsiyum silikat esaslı patların kor materyali ile de sıkı bir bağlantı kurması ve monoblok bir yapı oluşturması adına biyoseramik nanopartikülleri ile

kaplanan konlar piyasaya sunulmuştur ("Brasseler; BC Points broşür, "). Bu konların Endosequence BC ile kullanımını değerlendiren Çelikten ve ark. (Çelikten ve ark., 2015), bu dolgu sisteminin şekillendirme ile zayıflayan diş köklerinin direncinin geri kazandırılmasına katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir. Osiri ve ark. (Osiri ve ark., 2018), TotalFill BC-tek biyoseramik konu ve AH plus-tek güta-perka konu kullanılarak doldurulan köklerin kırılma dirençlerini sağlam kökleriyle benzer bulmuşlardır.

Kalsiyum silikat esaslı patların zamanla büzülme göstermedikleri ve kök kanallarında kor materyali olmadan da kullanılabileceği öne sürülmüştür (Nagas ve ark., 2014). Nagas ve ark. (Nagas ve ark., 2014), iRoot SP patının kor materyali olmadan kullanıldığında güta-perka ile kullanımına kıyasla daha yüksek dentine bağlanma dayanımı gösterdiğini bildirmişlerdir. Sungur ve ark. (Sungur ve ark., 2016), güta-perka kullanılmadığında iRoot SP patı ile doldurulan köklerin kırılma direnci değerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Oval yatay kesitli kanallarda tek kon yöntemi ile kanal dolgusu yapıldığında döner aletler ile şekillendirilen alan güta-perka konu ile dolarken kanal içerisindeki düzensizlikler kanal patı ile dolmakta ve yuvarlak yatay kesitli kanallara kıyasla pat oranı artmaktadır (Pereira, Brito-Júnior, Leoni, Estrela, & De Sousa-Neto, 2017). Oval kanallar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmamızda kalsiyum silikat esaslı patlar ile doldurulan köklerin kırılma direnci değerleri, AH Plus ile doldurulan köklerine kıyasla anlamlı düzeyde olmasa da daha yüksek bulunmuştur. Kalsiyum silikat esaslı patların kor materyali olmadan başarılı sonuçlar verdiği araştırmalarla (Nagas ve ark., 2014; Sungur ve ark., 2016) paralel olarak bulgularımızın oval kanallarda pat oranının artması ile ilişkili olabileceği kanısına varılmıştır.

Kanal tedavisinde kullanılan yıkama solüsyonları, dentinin yüzey yapısında değişikliğe sebep olarak kanal patlarının adezyonuna ve dentin tübüllerinin ağızlarının daha açık hale gelmesini sağlayarak kanal patlarının penetrasyonuna etki edebilmektedir (Prado, Simão, & Gomes, 2013; Vilanova ve ark., 2012; Yılmaz, Basbag, Buzoglu, & Gümüsderelioglu, 2011). Bu çalışmada şekillendirme sırasında her eyleme işlemi sonrasında doku çözücü ve antimikrobiyal özellikleri ile bilinen %5,25'lik NaOCl solüsyonu kullanılmıştır (Cobankara ve ark., 2010; Stojicic ve ark., 2010). Mekanik şekillendirme işlemleri sırasında kanal duvarlarında oluşan smear tabakasının dentin tübüllerinin ağızlarında engel oluşturarak kanal patlarının adaptasyonunu, penetrasyonunu ve dentine bağlanma dayanımlarını azalttığı bilinmekte (Faria ve ark.,

2013; Vilanova ve ark., 2012) ve bu tabakanın yıkama solüsyonları ile uzaklaştırılması önerilmektedir (Zehnder, 2006). Smear tabakasının inorganik kısmının uzaklaştırılmasında EDTA, sitrik asit, perasetik asit, etidronik asit gibi şelasyon ajanları kullanılmaktadır (Haapasalo ve ark., 2012). Smear tabakasının uzaklaştırılmasında şelasyon ajanları tek başına yeterli olmamakta ve organik çözücü olan NaOCl ile kombine olarak kullanılmalı gerekmektedir (Haapasalo ve ark., 2012). Bununla birlikte günümüzde solüsyonların kullanım sıralaması ile ilgili bir fikir birliği oluşmamıştır. Goldman ve ark. (Goldman ve ark., 1982), smear tabakasının kaldırılmasında NaOCl'nin son yıkama solüsyonu olarak kullanılmasının daha etkili olduğunu bildirmiştir. Basrani ve Haapasalo (Basrani & Haapasalo, 2012), 2012 yılında yıkama protokolleri ile ilgili kapsamlı bir derleme yayınlamış ve smear tabakasının uzaklaştırılmasının ardından kanalların antimikrobiyal bir solüsyonla yıkanmasının özellikle nekrotik kanalların tedavisinde önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu derlemede güncel son yıkama protokolleri arasında %17'lik EDTA ve ardından %2,5'lik NaOCl kullanımı bulunmaktadır. Bununla birlikte yazarlar antimikrobiyal etkisine karşın NaOCl solüsyonunun dentin duvarlarındaki eroziv etkisi sebebiyle son yıkama solüsyonu olarak kullanılmasının tartışmalı olduğunu belirtmişlerdir. Neelekantan ve ark. (Neelakantan, Sharma, ve ark., 2015), NaOCl solüsyonunun son yıkama solüsyonu olarak kullanılmasının epoksi reçine esaslı patların bağlantısına olumsuz etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Literatürde NaOCl solüsyonunun kalsiyum silikat esaslı patların dentine bağlanması üzerindeki etkisi tartışmalıdır. Neelakantan ve ark. (Neelakantan, Nandagopal, ve ark., 2015), son yıkamanın NaOCl ile yapıldığı dişlerde Endosequence BC patının dentine bağlanma dayanımını, EDTA ile yapılan dişlere kıyasla anlamlı olmasa da daha düşük bulmuşlardır. Gündoğar ve ark. (Gündoğar ve ark., 2019), farklı yıkama solüsyonlarının (NaOCl, EDTA, klorheksidin, QMiX) Endosequence BC patının dentine bağlanma dayanımına etkisini incelemişler ve NaOCl grubunda diğer gruplara kıyasla anlamlı düzeyde düşük değerler saptamışlardır. Özkoçak ve ark. (Ozkocak & Sonat, 2015), son yıkamada kullanılan NaOCl ve EDTA solüsyonlarının Endosequence BC patının dentine bağlanma dayanımına etkisinin benzer olduğunu göstermişlerdir. Ballal ve ark. (Ballal ve ark., 2021), %5,25'lik NaOCl solüsyonu ile yıkanan dişlerde BioRoot RCS patının dentine bağlanma dayanımını, %2,5'lik NaOCl solüsyonu ile yıkananlara kıyasla anlamlı düzeyde yüksek bulmuşlardır. Bu bilgiler değerlendirilerek çalışmamızda, NaOCl son yıkama solüsyonu

olarak kullanıldığında kalsiyum silikat esaslı patlar ile epoksi reçine esaslı patların dentine bağlantılarının farklı olabileceği ve dolaylı olarak da dişlerin kırılma direncinde farklılıklar oluşabileceği düşünülmüştür. Çalışmamızda son yıkama yapılırken kök kanalları 5 mL %5,25'lik NaOCl ile yıkandıktan sonra 5 mL %17'lik EDTA solüsyonu kullanılmış ve kalan artıkları uzaklaştırmak amacıyla kök kanalları 5 mL distile su ile yıkanmıştır. NaOCl'nin son yıkama solüsyonu olarak etkisini incelemek amacıyla kanal patı grupları iki alt grupta incelenmiş ve bir grupta kök kanalları %2,5'lik NaOCl ile ilave yıkama yapıldıktan sonra doldurulmuştur.

Çalışmamızın bulguları incelendiğinde, AH Plus ile doldurulan köklerde yıkama grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmamasına karşın NaOCl'nin son yıkama solüsyonu olarak kullanıldığı köklerde daha düşük kırılma direnci değerleri gözlenmiştir. NaOCl-EDTA-NaOCl sıralamasında kolajen fibrillerini saran hidroksiapatit yapının uzaklaştırıldığı ve NaOCl'nin proteolitik etkisi ile dentin kolajeninde hasar oluşturduğu gösterilmiştir (Ferrari, Mason, Goracci, Pashley, & Tay, 2004; Tanomaru-Filho, Silveira, Martelo, & Guerreiro-Tanomaru, 2015; Zhang, Kim, ve ark., 2010). AH Plus'ın yapısındaki epoksi halkalarının kolajen içerisindeki amino grupları ile kovalent bağ kurarak bağlantı oluşturduğu ve bu solüsyon sıralamasının AH Plus patının bağlantısına olumsuz etki ettiği bildirilmiştir (Fisher ve ark., 2007; Neelakantan ve ark., 2011). Ayrıca NaOCl son yıkama solüsyonu olarak kullanıldığında dentin yüzeyinde kalan artıklar ile yüzeyin pürüzlü hale geldiği ve açığa çıkan oksijenin reçine bazlı kanal patlarının polimerizasyonunu olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir (Mohammadi, 2008). Çalışmamızın bulguları, NaOCl'nin AH Plus patının dentine bağlanmasına olumsuz etkisi olduğu bilgisini destekler niteliktedir.

Çalışmamızda NaOCl ile son yıkama yapılan gruplarda kalsiyum silikat esaslı kanal patları ile doldurulan köklerin kırılma direnci, son yıkamanın EDTA ile yapıldığı gruplara kıyasla anlamlı olmasa da daha yüksek bulunmuştur. Donnermeyer ve ark. (Donnermeyer, Vahdat-Pajouh, ve ark., 2019), NaOCl ile yıkama yapıldığında BioRoot RCS patının dentine bağlanma dayanımının EDTA ile yıkanan gruba kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Özkoçak ve ark. (Ozkocak & Sonat, 2015), NaOCl ile yıkama yaptıkları dişlerde AH Plus kanal patının dentine bağlanma değerini EDTA ile yıkananlara kıyasla daha düşük bulmuşlar, Endosequence BC patının bağlanma dayanımında ise değişiklik görmemişlerdir. Ballal ve ark. (Ballal ve ark., 2021), NaOCl

solüsyonunun AH Plus patının dentine bağlanmasına olumsuz etkisi olduğunu ancak BioRoot RCS patının dentine bağlanmasına olumsuz etkisi olmadığını bildirmişlerdir. NaOCl solüsyonu ile son yıkama yapılmasının AH Plus ile kalsiyum silikat esaslı patlar ile doldurulan köklerin kırılma dirençlerine etkisine bağlı olarak oluştuğunu varsaydığımız farklılıklar patların dentine bağlanma mekanizmaları ile açıklanabilir.

Kalsiyum silikat esaslı patların içerisindeki kalsiyum silikatın su ile birleşmesiyle oluşan kalsiyum hidroksit, ortamdaki fosfat iyonlarıyla kimyasal bağ oluşturarak hidroksiapatit benzeri kristaller oluşturur ve bunun sonucunda oluşan mineralize yapılarının uzantıları dentin tübülleri içerisine uzanır (Han & Okiji, 2011; Hess, Solomon, Spears, & He, 2011). Dentindeki kolajen kısım, inorganik kısma göre daha düşük yüzey enerjisine sahiptir (Akinmade & Nicholson, 1993; Perdigão, 1995). Toledano ve ark. (Toledano ve ark., 1999), dentin yüzeyine asit uygulanması sonrasında mineralize yapının uzaklaştırılması ve kolajen liflerinin açığa çıkmasıyla yüzey enerjisinin azaldığını bildirmişlerdir. Attal ve ark. (Attal, Asmussen, & Degrange, 1994), asit uygulanmasının dentinin yüzey enerjisinde değişikliğe neden olmadığını, bununla birlikte asitlerin yol açtığı demineralizasyonun hidrofobik bir yüzey oluşturarak dentinin ıslanabilirliğinin artmasına katkı sağlamadığını da bildirmişlerdir. Demineralizasyon etkisi olan EDTA solüsyonunun da dentin yüzey enerjisini değiştirerek dentinin ıslanabilirliğini azalttığı ve sonrasında distile su kullanılsa bile dentinin ıslanabilirliğinin geri kazanılmasının şüpheli olabileceği bildirilmiştir (Al-Haddad, Kasim, & Ab Aziz, 2015; Dogan Buzoglu ve ark., 2007). NaOCl solüsyonunun ise kolajeni denatüre ederek hidrofilik bir yüzey oluşturması ile dentinin ıslanabilirlik özelliğini arttırdığı bildirilmiştir (Hu, Ling, & Gao, 2010). Dentinin ıslanabilirlik özelliğinin artmasının hidrofilik yapıdaki kanal patlarının adezyonunu olumlu yönde etkileyeceği belirtilmiştir (Hashem ve ark., 2009). Çalışmamızda hidrofilik yapıdaki kalsiyum silikat esaslı patların son yıkamanın NaOCl ile bitirildiği gruplarda daha olumlu sonuçlar vermesinin, dentinin ıslanabilirlik özelliğinin artması ile ilişkili olabileceği varsayılabilir.

Patil ve ark. (Patil ve ark., 2017), alt keser dişlerde son yıkama solüsyonu olarak %5,25'lik NaOCl kullandıkları çalışmada Endosequence BC patı ile doldurulan dişlerin kırılma direnci değerini AH Plus ile doldurulan dişlerinkinden anlamlı olarak daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Çalışmamızda da %2,5'lik NaOCl ile son yıkama

yapılan grupta kalsiyum silikat esaslı patlar, istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmış olmasa da AH Plus'a göre daha başarılı bulunmuştur. Her iki çalışma da, alt keser dişler üzerinde gerçekleştirilmiştir ve bulgular paralellik göstermektedir. Çalışmamızın sonuçlarından farklı olarak, araştırmacıların gözlemlediği anlamlı düzeyde daha yüksek değerlerin NaOCl solüsyonunun farklı konsantrasyonlarda kullanılmasına bağlı olabileceği kanısına varılmıştır.

Çalışmamızda son yıkamanın EDTA ile yapıldığı gruplarda BioRoot RCS patı, TotalFill BC patına kıyasla daha başarılı bulunmuştur. Kalsiyum silikat esaslı materyaller, mineralize ara yapı oluşturarak dentinle kimyasal bir bağ oluşturmaktadır. Bu mineralize ara yapıyı oluşturan apatit çökmesinin, kalsiyum silikatın doku sıvılarıyla reaksiyona girmesi sonucu kalsiyum hidroksit oluşmasına bağlı olarak serbestlenen kalsiyum iyonlarının miktarı ile orantılı olduğu bildirilmiştir (Camilleri, 2015; Camilleri, Sorrentino, & Damidot, 2013; Reyes-Carmona, Felipe, & Felipe, 2009). Totalfill BC patı mineralize ara yapıyı oluşturmak için ortamdaki sıvıya ihtiyaç duyarken, BioRoot RCS patı gereken sıvıyı kendi likit bileşeninden almaktadır (Drukteinis & Camilleri, 2021). Retana-Lobo ve ark. (Retana-Lobo ve ark., 2021), toz ve likit bileşenlerinden oluşan BioRoot RCS patının kalsiyum salınımı ve dentine bağlanma dayanımını, Endosequence BC patına kıyasla daha yüksek bulmuşlardır. Araştırmacılar, BioRoot RCS patının dentine bağlanmasının daha iyi oluşunu, serbestlediği kalsiyum iyonunun fazla olması ve dolayısıyla dentin ve materyal yüzeyi arasında oluşan ara yapıdaki mineralizasyonu arttırması ile açıklamışlardır. Han ve ark. (Han & Okiji, 2013), Endosequence BC patının dentinle olan mineral yapı etkileşimini Biodentine ve beyaz MTA'ya kıyasla daha düşük seviyede bulmuşlar ve bunun sebebinin Endosequence BC'nin kalsiyum iyonu salınımının daha düşük olmasıyla ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca yazarlar bu patın kalsiyum iyonu salınımının daha az oluşunun yapısındaki kalsiyum silikat oranının düşük olmasından kaynaklı olabileceğini belirtmişlerdir. Carvalho ve ark. (Carvalho, Graziotin-Soares, ve ark., 2017), EDTA solüsyonunun dentin yüzey özelliklerini değiştirmesi sonucu Endosequence BC patının hidrasyon reaksiyonunu etkileyebileceğini ve böylece dentine bağlanma dayanımına etkisinin olabileceğini bildirmişlerdir. Son yıkamanın EDTA ile yapıldığı gruplarda BioRoot RCS patının anlamlı olmasa da TotalFill BC patından daha başarılı bulunduğu çalışmamızın sonuçları, yukarıdaki çalışmaların bulguları ile paralellik göstermektedir.

Şelasyon ajanlarının dentindeki kalsiyum/fosfor oranını değiştirdikleri bilinmektedir. Dentindeki fosfat iyonları ile etkileşime giren kalsiyum silikat esaslı patların bağlantıları, mineral oranındaki bu değişimden etkilenmektedir (Ballal, Ulusoy, Chhapparwal, & Gijupalli, 2018; Carvalho, Prado, ve ark., 2017; Lottanti ve ark., 2009). Donnermayer ve ark. (Donnermayer, Vahdat-Pajouh, ve ark., 2019), BioRoot RCS patının dentine bağlanma dayanımının EDTA ile yıkama yapıldığında azaldığını bildirmişler ve bulguların, EDTA'nın yüzeyde kalsiyum azalmasına sebep olarak mineral infiltrasyon zonunun oluşmasını kısıtlaması ile ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada sitrik asit kullanıldığında BioRoot RCS patının dentine bağlanma dayanımı, EDTA'ya kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Neelekantan ve ark. (Neelakantan, Nandagopal, ve ark., 2015), etidronik asitle yıkama yapıldığında Endosequence BC patının dentine bağlanma dayanımının EDTA ile yıkananlarınkine kıyasla belirgin olarak daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Agarwal ve ark. (Agarwal ve ark., 2019) da farklı şelasyon ajanlarının (%17'lik EDTA, %1'lik perasetik asit ve %0,2'lik kitosan) BioRoot RCS patının dentine bağlanma dayanımı üzerindeki etkisini incelemişler ve EDTA ile yıkanan dişlerde patın dentine bağlanma dayanımının diğer gruplara kıyasla belirgin olarak düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada şelasyon ajanı olarak en yaygın olarak kullanılan EDTA solüsyonu tercih edilmiştir ancak zayıf şelasyon ajanları kullanılarak yapılacak ileri araştırmaların sonuçlarının klinik uygulamalara katkıda bulunacağı kanısındayız.

6. SONUÇLAR

Güncel kalsiyum silikat esaslı patların dişlerin kırılma direncine etkisinin epoksi reçine esaslı AH Plus kanal patı ile kıyaslanarak incelendiği *in vitro* araştırmamızın şartları altında;

1. Oval yatay kesitli kök kanallarına sahip alt keser dişlerinin köklerinin kırılma direncinde, şekillendirme sonrası yaklaşık %44 oranında azalma olmuştur.
2. Çalışmamızda kanal patı tipinden bağımsız olarak kanal dolgusu uygulanan köklerin kırılma direnci, sağlam köklere kıyasla anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur. Oval yatay kesitli kök kanallarına sahip alt keser dişlerinin köklerinin şekillendirme işlemleri ile azalan direncinin geri kazandırılmasında kanal dolgusunun yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.
3. Kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dişlerin kırılma direncine olan etkisi, kabul görmüş AH Plus kanal patınıninkiyle benzer bulunmuştur. İstatistiksel düzeyde bir fark olmasa da kalsiyum silikat esaslı patlarla doldurulan köklerde daha yüksek kırılma direnci saptanmıştır.
4. Son yıkama solüsyonu olarak NaOCl kullanıldığında, EDTA kullanılmasına kıyasla AH Plus ile doldurulan köklerin kırılma direnci daha düşük bulunurken, kalsiyum silikat esaslı patlar ile doldurulan köklerinki daha yüksek bulunmuştur. Bu farkın, yıkama solüsyonlarının dentinin yüzey yapısını değiştirmesinden kaynaklanabileceği kanısındayız.
5. Çalışmamızın bulguları genel olarak değerlendirildiğinde; güncel kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının dişlerin kırılma direncine olan etkilerinin, birçok araştırma ile etkinliği ortaya konmuş AH Plus patınıninkine benzer olduğu görülmüştür. İleri araştırmaların sonuçları, klinik uygulamalara katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Acharya, N., Hasan, M. R., Kafle, D., Chakradhar, A., & Saito, T. (2020). Effect of Hand and Rotary Instruments on the Fracture Resistance of Teeth: An In Vitro Study. *Dentistry journal*, 8(2), 38.
- Adanir, N., Cobankara, F. K., & Belli, S. (2006). Sealing properties of different resin-based root canal sealers. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 77(1), 1-4.
- Adorno, C. G., Yoshioka, T., & Suda, H. (2011). Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths. *Journal of Endodontics*, 37(4), 522-525.
- Agarwal, S., Raghu, R., Shetty, A., Gautham, P., & Souparnika, D. (2019). An in vitro comparative evaluation of the effect of three endodontic chelating agents (17% ethylenediamine tetraacetic acid, 1% peracetic acid, 0.2% chitosan) on the push out bond strength of gutta percha with a new bioceramic sealer (BioRoot RCS). *Journal of conservative dentistry: JCD*, 22(5), 475.
- Akinmade, A., & Nicholson, J. (1993). Glass-ionomer cements as adhesives. *Journal of materials science: materials in Medicine*, 4(2), 95-101.
- Al-Haddad, A., & Che Ab Aziz, Z. A. (2016). Bioceramic-based root canal sealers: a review. *International journal of biomaterials*, 2016.
- Al-Haddad, A., Kasim, N. H. A., & Ab Aziz, Z. A. C. (2015). Interfacial adaptation and thickness of bioceramic-based root canal sealers. *Dental materials journal*, 34(4), 516-521.
- Al Amri, M. D., Al-Johany, S., Sherfudhin, H., Al Shammari, B., Al Mohefer, S., Al Saloum, M., & Al Qarni, H. (2016). Fracture resistance of endodontically treated mandibular first molars with conservative access cavity and different restorative techniques: an in vitro study. *Australian Endodontic Journal*, 42(3), 124-131.
- Almohaimede, A., Almanie, D., Alaathy, S., & Almadi, E. (2020). Fracture Resistance of Roots Filled With Bio-Ceramic and Epoxy Resin-Based Sealers: In Vitro Study. *European Endodontic Journal*, 5(2), 134.
- Amin, S. A. W., Seyam, R. S., & El-Samman, M. A. (2012). The effect of prior calcium hydroxide intracanal placement on the bond strength of two calcium silicate-based and an epoxy resin-based endodontic sealer. *Journal of Endodontics*, 38(5), 696-699.
- Apicella, M., Loushine, R., West, L., & Runyan, D. (1999). A comparison of root fracture resistance using two root canal sealers. *International Endodontic Journal*, 32(5), 376-380.

- Aqrabawi, J. A. (2006). Outcome of endodontic treatment of teeth filled using lateral condensation versus vertical compaction (Schilder's technique). *J Contemp Dent Pract*, 7(1), 17-24.
- Arias-Moliz, M., & Camilleri, J. (2016). The effect of the final irrigant on the antimicrobial activity of root canal sealers. *Journal of Dentistry*, 52, 30-36.
- Arslan, H., Karataş, E., Capar, I. D., Özsu, D., & Doğanay, E. (2014). Effect of ProTaper Universal, Endoflare, Revo-S, HyFlex coronal flaring instruments, and Gates Glidden drills on crack formation. *Journal of Endodontics*, 40(10), 1681-1683.
- Assif, D., Nissan, J., Gafni, Y., & Gordon, M. (2003). Assessment of the resistance to fracture of endodontically treated molars restored with amalgam. *The Journal of prosthetic dentistry*, 89(5), 462-465.
- Atmeh, A., Chong, E., Richard, G., Festy, F., & Watson, T. (2012). Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *Journal of dental research*, 91(5), 454-459.
- Attal, J.-P., Asmussen, E., & Degrange, M. (1994). Effects of surface treatment on the free surface energy of dentin. *Dental Materials*, 10(4), 259-264.
- Baker, N. A., Eleazer, P. D., Averbach, R. E., & Seltzer, S. (1975). Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *Journal of Endodontics*, 1(4), 127-135.
- Ballal, N. V., Roy, A., & Zehnder, M. (2021). Effect of Sodium Hypochlorite Concentration in Continuous Chelation on Dislodgement Resistance of an Epoxy Resin and Hydraulic Calcium Silicate Sealer. *Polymers*, 13(20), 3482.
- Ballal, N. V., Tweeny, A., Khechen, K., Prabhu, K. N., & Tay, F. R. (2013). Wettability of root canal sealers on intraradicular dentine treated with different irrigating solutions. *Journal of Dentistry*, 41(6), 556-560.
- Ballal, N. V., Ulusoy, Ö. İ., Chhapparwal, S., & Ginjupalli, K. (2018). Effect of novel chelating agents on the push-out bond strength of calcium silicate cements to the simulated root-end cavities. *Microscopy research and technique*, 81(2), 214-219.
- Balooch, M., Wu-Magidi, I. C., Balazs, A., Lundkvist, A., Marshall, S., Marshall, G., . . . Kinney, J. (1998). Viscoelastic properties of demineralized human dentin measured in water with atomic force microscope (AFM)-based indentation. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and the Australian Society for Biomaterials*, 40(4), 539-544.
- Basrani, B., & Haapasalo, M. (2012). Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic topics*, 27(1), 74-102.

- Baumgartner, J. C., & Mader, C. L. (1987). A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics*, 13(4), 147-157.
- Belli, S., Cobankara, F. K., Eraslan, O., Eskitascioglu, G., & Karbhari, V. (2006). The effect of fiber insertion on fracture resistance of endodontically treated molars with MOD cavity and reattached fractured lingual cusps. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 79(1), 35-41.
- Bender, I., & Freedland, J. B. (1983). Adult root fracture. *The Journal of the American Dental Association*, 107(3), 413-419.
- Benezra, M. K., Wismayer, P. S., & Camilleri, J. (2018). Interfacial characteristics and cytocompatibility of hydraulic sealer cements. *Journal of Endodontics*, 44(6), 1007-1017.
- Berman, L. H., & Hargreaves, K. M. (2020). *Cohen's Pathways of the Pulp-E-Book*: Elsevier Health Sciences.
- Bier, C. A. S., Shemesh, H., Tanomaru-Filho, M., Wesselink, P. R., & Wu, M.-K. (2009). The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *Journal of Endodontics*, 35(2), 236-238.
- Bogen, G., & Kuttler, S. (2009). Mineral trioxide aggregate obturation: a review and case series. *J Endod*, 35(6), 777-790.
- Borges, R., Sousa-Neto, M., Versiani, M., Rached-Júnior, F., De-Deus, G., Miranda, C., & Pécora, J. (2012). Changes in the surface of four calcium silicate-containing endodontic materials and an epoxy resin-based sealer after a solubility test. *International Endodontic Journal*, 45(5), 419-428.
- Bornstein, M. M., Wölner-Hanssen, A. B., Sendi, P., & Von Arx, T. (2009). Comparison of intraoral radiography and limited cone beam computed tomography for the assessment of root-fractured permanent teeth. *Dental Traumatology*, 25(6), 571-577.
- Boruah, L. C., & Bhuyan, A. C. (2011). Morphologic characteristics of root canal of mandibular incisors in North-East Indian population: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 14(4), 346.
- Bourne, L., Milner, F., & Alberman, K. (1959). Health problems of epoxy resins and amine-curing agents. *Occupational and Environmental Medicine*, 16(2), 81-97.
- Boyadzhieva, E., Dimitrova, S., Filipov, I., & Zagorchev, P. (2017). Setting time and solubility of premixed bioceramic root canal sealer when applied with warm gutta percha obturation techniques. *IOSR J Dent Med Sci*, 16(03), 125-129.
- Brackett, M. G., Martin, R., Sword, J., Oxford, C., Rueggeberg, F. A., Tay, F. R., & Pashley, D. H. (2006). Comparison of seal after obturation techniques using a polydimethylsiloxane-based root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 32(12), 1188-1190.

- Brasseler; BC Points broşür. Erişim 02.2022. Retrieved from <https://brasselerusadental.com/products/bc-points/>
- Brezhnev, A., Neelakantan, P., Tanaka, R., Brezhnev, S., Fokas, G., & Matinlinna, J. P. (2019). Antibacterial additives in epoxy resin-based root canal sealers: a focused review. *Dentistry journal*, 7(3), 72.
- Busa Dental; TotalFill BC broşür. Erişim 02.2022. Retrieved from <http://busadental.com/wp-content/uploads/sites/15/2015/05/IFU-0020-TotalFill-BC-Sealer-IFU-REV-B1.pdf>
- Bürklein, S., Tsotsis, P., & Schäfer, E. (2013). Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*, 39(4), 501-504.
- Camilleri, J. (2015). Mineral trioxide aggregate: present and future developments. *Endodontic topics*, 32(1), 31-46.
- Camilleri, J., Laurent, P., & About, I. (2014). Hydration of biodentine, theracal lc, and a prototype tricalcium silicate-based dentin replacement material after pulp capping in entire tooth cultures. *Journal of Endodontics*, 40(11), 1846-1854.
- Camilleri, J., Sorrentino, F., & Damidot, D. (2013). Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental Materials*, 29(5), 580-593.
- Camps, J., Jeanneau, C., El Ayachi, I., Laurent, P., & About, I. (2015). Bioactivity of a calcium silicate-based endodontic cement (BioRoot RCS): interactions with human periodontal ligament cells in vitro. *Journal of Endodontics*, 41(9), 1469-1473.
- Capar, I. D., Altunsoy, M., Arslan, H., Ertas, H., & Aydinbelge, H. A. (2014). Fracture strength of roots instrumented with self-adjusting file and the ProTaper rotary systems. *Journal of Endodontics*, 40(4), 551-554.
- Capar, I. D., Arslan, H., Akcay, M., & Uysal, B. (2014). Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *Journal of Endodontics*, 40(9), 1482-1484.
- Capar, I. D., Saygili, G., Ergun, H., Gok, T., Arslan, H., & Ertas, H. (2015). Effects of root canal preparation, various filling techniques and retreatment after filling on vertical root fracture and crack formation. *Dental Traumatology*, 31(4), 302-307.
- Carvalho, C. N., Grazziotin-Soares, R., de Miranda Candeiro, G. T., Martinez, L. G., de Souza, J. P., Oliveira, P. S., . . . Gavini, G. (2017). Micro push-out bond strength and bioactivity analysis of a bioceramic root canal sealer. *Iranian endodontic journal*, 12(3), 343.
- Carvalho, N., Prado, M., Senna, P., Neves, A., Souza, E., Fidel, S., . . . Silva, E. (2017). Do smear-layer removal agents affect the push-out bond strength of calcium

- silicate-based endodontic sealers? *International Endodontic Journal*, 50(6), 612-619.
- Carvalho, R. M., Tjäderhane, L., Manso, A. P., Carrilho, M. R., & Carvalho, C. A. R. (2009). Dentin as a bonding substrate. *Endodontic topics*, 21(1), 62-88.
- Cassimiro, M., Romeiro, K., Gominho, L., De Almeida, A., Costa, L., & Albuquerque, D. (2017). Occurrence of dentinal defects after root canal preparation with R-phase, M-Wire and Gold Wire instruments: a micro-CT analysis. *BMC Oral Health*, 17(1), 1-6.
- Celikten, B., Uzuntas, C. F., & Gulsahi, K. (2015). Resistance to fracture of dental roots obturated with different materials. *BioMed research international*, 2015.
- Chen, B., Haapasalo, M., Mobuchon, C., Li, X., Ma, J., & Shen, Y. (2020). Cytotoxicity and the effect of temperature on physical properties and chemical composition of a new calcium silicate-based root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 46(4), 531-538.
- Chole, D., Kamble, S., Bakle, S., Gandhi, N., Hatte, N., & Bawa, P. (2019). Effects of 3 Single-File System (Protaper Universal, Protaper Next, Protaper Gold) on crack formation in dentin after root canal preparation—An in vitro study. *IOSR-JDMS*, 18, 47-50.
- Cobankara, F. K., Ozkan, H. B., & Terlemez, A. (2010). Comparison of organic tissue dissolution capacities of sodium hypochlorite and chlorine dioxide. *Journal of Endodontics*, 36(2), 272-274.
- Cobankara, F. K., Unlu, N., Cetin, A. R., & Ozkan, H. B. (2008). The effect of different restoration techniques on the fracture resistance of endodontically-treated molars. *Operative dentistry*, 33(5), 526-533.
- Cohen, S., Blanco, L., & Berman, L. (2003). Vertical root fractures: clinical and radiographic diagnosis. *The Journal of the American Dental Association*, 134(4), 434-441.
- Colombo, M., Poggio, C., Dagna, A., Meravini, M.-V., Riva, P., Trovati, F., & Pietrocola, G. (2018). Biological and physico-chemical properties of new root canal sealers. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 10(2), e120.
- Çalt, S., & Serper, A. (2002). Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of Endodontics*, 28(1), 17-19.
- Çalt Tarhan, S., & Uzunoğlu Özyürek, E. (2010). Kök kanal dolgu maddeleri. *Turkiye Klinikleri J Dental Sci-Special Topics*, 1.
- Çobankara, F. K., Üngör, M., & Belli, S. (2002). The effect of two different root canal sealers and smear layer on resistance to root fracture. *Journal of Endodontics*, 28(8), 606-609.

- da Silva, P. B., Duarte, S. F., Alcalde, M. P., Duarte, M. A. H., Vivan, R. R., da Rosa, R. A., . . . do Nascimento, A. L. (2020). Influence of cervical preflaring and root canal preparation on the fracture resistance of endodontically treated teeth. *BMC Oral Health*, 20(1), 1-7.
- Darcey, J., Roudsari, R. V., Jawad, S., Taylor, C., & Hunter, M. (2016). Modern endodontic principles part 5: obturation. *Dental Update*, 43(2), 114-129.
- Darrag, A. (2014). Effectiveness of different final irrigation solutions on smear layer removal in intraradicular dentin. *Tanta Dental Journal*, 11(2), 93-99.
- De-Deus, G., Namen, F., Galan Jr, J., & Zehnder, M. (2008). Soft chelating irrigation protocol optimizes bonding quality of Resilon/Epiphany root fillings. *Journal of Endodontics*, 34(6), 703-705.
- De-Deus, G., Paciornik, S., & Mauricio, M. (2006). Evaluation of the effect of EDTA, EDTAC and citric acid on the microhardness of root dentine. *International Endodontic Journal*, 39(5), 401-407.
- de Oliveira, N. G., de Souza Araújo, P. R., da Silveira, M. T., Sobral, A. P. V., & de Vasconcelos Carvalho, M. (2018). Comparison of the biocompatibility of calcium silicate-based materials to mineral trioxide aggregate: Systematic review. *European journal of dentistry*, 12(02), 317-326.
- Debelian, G., & Trope, M. (2016). The use of premixed bioceramic materials in endodontics. *Giornale italiano di endodonzia*, 30(2), 70-80.
- Dentsply; AH Plus broşür. Erişim 02.2022. Retrieved from <https://www.dentsplysirona.com/en-ae/discover/discover-by-brand/ah-plus.html>
- Desai, S., & Chandler, N. (2009). Calcium hydroxide-based root canal sealers: a review. *Journal of Endodontics*, 35(4), 475-480.
- Dibaji, F., Afkhami, F., Bidkhori, B., & Kharazifard, M. J. (2017). Fracture resistance of roots after application of different sealers. *Iranian endodontic journal*, 12(1), 50.
- Dimitrova-Nakov, S., Uzunoglu, E., Ardila-Osorio, H., Baudry, A., Richard, G., Kellermann, O., & Goldberg, M. (2015). In vitro bioactivity of Bioroot™ RCS, via A4 mouse pulpal stem cells. *Dental Materials*, 31(11), 1290-1297.
- Dogan Buzoglu, H., Calt, S., & Gümüsderelioglu, M. (2007). Evaluation of the surface free energy on root canal dentine walls treated with chelating agents and NaOCl. *International Endodontic Journal*, 40(1), 18-24.
- Doğan, H., & Çalt, S. (2001). Effects of chelating agents and sodium hypochlorite on mineral content of root dentin. *Journal of Endodontics*, 27(9), 578-580.
- Donnermeyer, D., Burklein, S., Dammaschke, T., & Schafer, E. (2019). Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology*, 107(4), 421-436. doi:10.1007/s10266-018-0400-3

- Donnermeyer, D., Dornseifer, P., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2018). The push-out bond strength of calcium silicate-based endodontic sealers. *Head & face medicine*, 14(1), 1-7.
- Donnermeyer, D., Vahdat-Pajouh, N., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2019). Influence of the final irrigation solution on the push-out bond strength of calcium silicate-based, epoxy resin-based and silicone-based endodontic sealers. *Odontology*, 107(2), 231-236.
- Drukteinis, S., & Camilleri, J. (2021). *Bioceramic materials in clinical endodontics*: Springer.
- Duarte, M. A. H., Ordinola-Zapata, R., Bernardes, R. A., Bramante, C. M., Bernardineli, N., Garcia, R. B., & De Moraes, I. G. (2010). Influence of calcium hydroxide association on the physical properties of AH Plus. *Journal of Endodontics*, 36(6), 1048-1051.
- Dunavant, T. R., Regan, J. D., Glickman, G. N., Solomon, E. S., & Honeyman, A. L. (2006). Comparative evaluation of endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilms. *Journal of Endodontics*, 32(6), 527-531.
- Eick, J. D., Wilko, R. A., Anderson, C. H., & Sorensen, S. E. (1970). Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *Journal of dental research*, 49(6), 1359-1368.
- Erickson, R. (1992). Surface interactions of dentin adhesive materials. *Operative dentistry*, 81-94.
- Ersahan, S., & Aydin, C. (2010). Dislocation resistance of iRoot SP, a calcium silicate-based sealer, from radicular dentine. *J Endod*, 36(12), 2000-2002.
- Ersev, H., Yilmaz, B., Pehlivanoglu, E., Ozcan-Caliskan, E., & Erisen, F. R. (2012). Resistance to vertical root fracture of endodontically treated teeth with MetaSEAL. *J Endod*, 38(5), 653-656.
- Ersoy, I., & Evcil, M. S. (2015). Evaluation of the effect of different root canal obturation techniques using two root canal sealers on the fracture resistance of endodontically treated roots. *Microscopy research and technique*, 78(5), 404-407.
- Espir, C. G., Nascimento, C. A., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Bonetti-Filho, I., & Tanomaru-Filho, M. (2018). Radiographic and micro-computed tomography classification of root canal morphology and dentin thickness of mandibular incisors. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 21(1), 57.
- Estrela, C., Estrela, C. R., Barbin, E. L., Spanó, J. C. E., Marchesan, M. A., & Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian dental journal*, 13, 113-117.

- Faria, M. I. A., Sousa-Neto, M. D., Souza-Gabriel, A. E., Alfredo, E., Romeo, U., & Silva-Sousa, Y. T. C. (2013). Effects of 980-nm diode laser on the ultrastructure and fracture resistance of dentine. *Lasers in medical science*, 28(1), 275-280.
- Ferrari, M., Mason, P., Goracci, C., Pashley, D. H., & Tay, F. (2004). Collagen degradation in endodontically treated teeth after clinical function. *Journal of dental research*, 83(5), 414-419.
- Finger, W., Inoue, M., & Asmussen, E. (1994). Effect of wettability of adhesive resins on bonding to dentin. *American journal of dentistry*, 7(1), 35-38.
- Fisher, M. A., Berzins, D. W., & Bahcall, J. K. (2007). An in vitro comparison of bond strength of various obturation materials to root canal dentin using a push-out test design. *Journal of Endodontics*, 33(7), 856-858.
- FKG; TotalFill broşür. Erişim 05.2022. Retrieved from https://www.fkg.ch/sites/default/files/FKG_TotalFill_Brochure_EN_WEB_2022_01.pdf
- FKG; XP-Endo Shaper broşür Erişim 02.2022. Retrieved from <https://www.fkg.ch/xpendo/shaper>
- Flores, D., Rached-Júnior, F., Versiani, M., Guedes, D., Sousa-Neto, M., & Pécora, J. (2011). Evaluation of physicochemical properties of four root canal sealers. *International Endodontic Journal*, 44(2), 126-135.
- Fransen, J. N., He, J., Glickman, G. N., Rios, A., Shulman, J. D., & Honeyman, A. (2008). Comparative assessment of ActiV GP/glass ionomer sealer, Resilon/Epiphany, and gutta-percha/AH plus obturation: a bacterial leakage study. *Journal of Endodontics*, 34(6), 725-727.
- Friedman, S., Löst, C., Zarrabian, M., & Trope, M. (1995). Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *Journal of Endodontics*, 21(7), 384-390.
- Fuss, Z., Lustig, J., & Tamse, A. (1999). Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *International Endodontic Journal*, 32(4), 283-286.
- Gade, V. J., Belsare, L. D., Patil, S., Bhede, R., & Gade, J. R. (2015). Evaluation of push-out bond strength of endosequence BC sealer with lateral condensation and thermoplasticized technique: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 18(2), 124.
- Gambarini, G., & Tagger, M. (1996). Sealing ability of a new hydroxyapatite-containing endodontic sealer using lateral condensation and thermatic compaction of gutta-percha, in vitro. *Journal of Endodontics*, 22(4), 165-167.
- Gambarini, G., Testarelli, L., Pongione, G., Gerosa, R., & Gagliani, M. (2006). Radiographic and rheological properties of a new endodontic sealer. *Australian Endodontic Journal*, 32(1), 31-34.

- Gandolfi, M. G., Siboni, F., Botero, T., Bossù, M., Riccitiello, F., & Prati, C. (2015). Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *Journal of applied biomaterials & functional materials*, 13(1), 43-60.
- García-Guerrero, C., Parra-Junco, C., Quijano-Guauque, S., Molano, N., Pineda, G. A., & Marín-Zuluaga, D. J. (2018). Vertical root fractures in endodontically-treated teeth: A retrospective analysis of possible risk factors. *Journal of investigative and clinical dentistry*, 9(1), e12273.
- Garrido, A., Lia, R., França, S., Da Silva, J., Astolfi-Filho, S., & Sousa-Neto, M. (2010). Laboratory evaluation of the physicochemical properties of a new root canal sealer based on Copaifera multijuga oil-resin. *International Endodontic Journal*, 43(4), 283-291.
- Ghoneim, A. G., Lutfy, R. A., Sabet, N. E., & Fayyad, D. M. (2011). Resistance to fracture of roots obturated with novel canal-filling systems. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1590-1592.
- Girard, S., Paqué, F., Badertscher, M., Sener, B., & Zehnder, M. (2005). Assessment of a gel-type chelating preparation containing 1-hydroxyethylidene-1, 1-bisphosphonate. *International Endodontic Journal*, 38(11), 810-816.
- Glossary of Endodontic Terms. (AAE 2020). Erişim 12.2022. Retrieved from <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>
- Goldman, M., Goldman, L. B., Cavaleri, R., Bogis, J., & Lin, P. S. (1982). The efficacy of several endodontic irrigating solutions: a scanning electron microscopic study: part 2. *Journal of Endodontics*, 8(11), 487-492.
- Goracci, C., Tavares, A. U., Fabianelli, A., Monticelli, F., Raffaelli, O., Cardoso, P. C., . . . Ferrari, M. (2004). The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *European Journal of Oral Sciences*, 112(4), 353-361.
- Gordon, M. P., Love, R. M., & Chandler, N. P. (2005). An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *Int Endod J*, 38(2), 87-96.
- Grossman, L. I., Oliet S, Carlos E ve ark. . (1988). *Endodontic Practice*. The University of Michigan: Lea&Febiger.
- Gu, L.-s., Huang, X.-q., Griffin, B., Bergeron, B. R., Pashley, D. H., Niu, L.-n., & Tay, F. R. (2017). Primum non nocere—The effects of sodium hypochlorite on dentin as used in endodontics. *Acta biomaterialia*, 61, 144-156.
- Gulsahi, K., Cehreli, Z., Kuraner, T., & Dagli, F. (2007). Sealer area associated with cold lateral condensation of gutta-percha and warm coated carrier filling systems in canals prepared with various rotary NiTi systems. *International Endodontic Journal*, 40(4), 275-281.

- Gutmann, J. L. (1992). The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*, 67(4), 458-467.
- Guzy, G. E., & Nicholls, J. I. (1979). In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. *The Journal of prosthetic dentistry*, 42(1), 39-44.
- Gündoğar, M., Sezgin, G. P., Erkan, E., & ÖZYILMAZ, Ö. Y. (2019). The influence of the irrigant QMix on the push-out bond strength of a bioceramic endodontic sealer. *European oral research*, 52(2), 64-68.
- Haapasalo, M., Endal, U., Zandi, H., & Coil, J. M. (2005). Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic topics*, 10(1), 77-102.
- Haapasalo, M., Qian, W., & Shen, Y. (2012). Irrigation: beyond the smear layer. *Endodontic topics*, 27(1), 35-53.
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *British dental journal*, 216(6), 299-303.
- Hammad, M., Qualtrough, A., & Silikas, N. (2008). Extended setting shrinkage behavior of endodontic sealers. *Journal of Endodontics*, 34(1), 90-93.
- Han, L., & Okiji, T. (2011). Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *International Endodontic Journal*, 44(12), 1081-1087.
- Han, L., & Okiji, T. (2013). Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *International Endodontic Journal*, 46(9), 808-814.
- Harik, R., Salameh, Z., Habchi, R., & Camilleri, J. (2016). The effect of irrigation with EDTA on calcium-based root canal sealers: a SEM-EDS and XRD study. *Journal of the Lebanese Dental Association*, 49, 12-23.
- Hashem, A. A. R., Ghoneim, A. G., Lutfy, R. A., & Fouda, M. Y. (2009). The effect of different irrigating solutions on bond strength of two root canal-filling systems. *Journal of Endodontics*, 35(4), 537-540.
- Hegde, M. N., Shetty, S., & Godara, N. (2008). Evaluation of fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation—an in vitro study. *Endodontology*, 20(1), 22-29.
- Hegde, V., & Arora, S. (2015). Fracture resistance of roots obturated with novel hydrophilic obturation systems. *J Conserv Dent*, 18(3), 261-264.
- Heling, I., & Chandler, N. P. (1996). The antimicrobial effect within dentinal tubules of four root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 22(5), 257-259.

- Hennequin, M., & Douillard, Y. (1995). Effects of citric acid treatment on the Ca, P and Mg contents of human dental roots. *Journal of clinical periodontology*, 22(7), 550-557.
- Hergt, A., Wiegand, A., Hülsmann, M., & Rödig, T. (2015). AH Plus root canal sealer—an updated literature. *Endod Pract*, 9(4), 245-265.
- Hess, D., Solomon, E., Spears, R., & He, J. (2011). Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1547-1549.
- Heydecke, G., Butz, F., & Strub, J. R. (2001). Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study. *Journal of Dentistry*, 29(6), 427-433.
- Hin, E. S., Wu, M.-K., Wesselink, P. R., & Shemesh, H. (2013). Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *Journal of Endodontics*, 39(2), 262-264.
- Hu, X., Ling, J., & Gao, Y. (2010). Effects of irrigation solutions on dentin wettability and roughness. *Journal of Endodontics*, 36(6), 1064-1067.
- Huang, F. M., Tai, K. W., Chou, M. Y., & Chang, Y. C. (2002). Cytotoxicity of resin-, zinc oxide–eugenol-, and calcium hydroxide-based root canal sealers on human periodontal ligament cells and permanent V79 cells. *International Endodontic Journal*, 35(2), 153-158.
- Hülsmann, M. (2013). Effects of mechanical instrumentation and chemical irrigation on the root canal dentin and surrounding tissues. *Endodontic topics*, 29(1), 55-86.
- Jamani, K., Harrington, E., & Wilson, H. (1989). Rigidity of elastomeric impression materials. *Journal of Oral Rehabilitation*, 16(3), 241-248.
- Jeong, J. W., DeGraft-Johnson, A., Dorn, S. O., & Di Fiore, P. M. (2017). Dentinal tubule penetration of a calcium silicate–based root canal sealer with different obturation methods. *Journal of Endodontics*, 43(4), 633-637.
- Johnson, M. E., Stewart, G. P., Nielsen, C. J., & Hatton, J. F. (2000). Evaluation of root reinforcement of endodontically treated teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 90(3), 360-364.
- Jou, Y.-T., Karabucak, B., Levin, J., & Liu, D. (2004). Endodontic working width: current concepts and techniques. *Dental Clinics*, 48(1), 323-335.
- Kaplan, A. E., Ormaechea, M., Picca, M., Canzobre, M., & Ubios, A. (2003). Rheological properties and biocompatibility of endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 36(8), 527-532.
- Kara Tuncer, A., Tuncer, S., & Gökyay, S. S. (2014). Correlation between sealer penetration into dentinal tubules and bond strength of two new calcium silicate-

- based and an epoxy resin-based, endodontic sealer. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28(7), 702-710.
- Karapınar Kazandag, M., Sunay, H., Tanalp, J., & Bayirli, G. (2009). Fracture resistance of roots using different canal filling systems. *International Endodontic Journal*, 42(8), 705-710.
- Karataş, E., Gündüz, H., Kırıcı, D., & Arslan, H. (2016). Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with ProTaper Gold, Profile Vortex, F360, Reciproc and ProTaper Universal instruments. *International Endodontic Journal*, 49(9), 905-910.
- Karataş, E., Gündüz, H. A., Kırıcı, D. Ö., Arslan, H., Topçu, M. Ç., & Yeter, K. Y. (2015). Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *Journal of Endodontics*, 41(2), 261-264.
- Karygianni, L., Krengel, M., Winter, M., Stampf, S., & Wrbas, K. (2014). Comparative assessment of the incidence of vertical root fractures between conventional versus surgical endodontic retreatment. *Clinical oral investigations*, 18(8), 2015-2021.
- Kawai, K., & Masaka, N. (2002). Vertical root fracture treated by bonding fragments and rotational replantation. *Dental Traumatology: Case report*, 18(1), 42-45.
- Khalil, I., Naaman, A., & Camilleri, J. (2016). Properties of tricalcium silicate sealers. *Journal of Endodontics*, 42(10), 1529-1535.
- Khasnis, S. A., Kidiyoor, K. H., Patil, A. B., & Kenganal, S. B. (2014). Vertical root fractures and their management. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 17(2), 103.
- Kim, H.-C., Sung, S. Y., Ha, J.-H., Solomonov, M., Lee, J.-M., Lee, C.-J., & Kim, B.-M. (2013). Stress generation during self-adjusting file movement: minimally invasive instrumentation. *Journal of Endodontics*, 39(12), 1572-1575.
- Kim, S. Y., Kim, K. J., Yi, Y. A., & Seo, D. G. (2015). Quantitative microleakage analysis of root canal filling materials in single-rooted canals. *Scanning*, 37(4), 237-245.
- Kim, T.-G., Lee, Y.-H., Lee, N.-H., Bhattarai, G., Lee, I.-K., Yun, B.-S., & Yi, H.-K. (2013). The antioxidant property of pachymic acid improves bone disturbance against AH Plus-induced inflammation in MC-3T3 E1 cells. *Journal of Endodontics*, 39(4), 461-466.
- Kishen, A. (2006). Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. *Endodontic topics*, 13(1), 57-83.
- Komabayashi, T., Colmenar, D., Cvach, N., Bhat, A., Primus, C., & Imai, Y. (2020). Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental materials journal*, 39(5), 703-720.

- Kontakiotis, E. G., Tzanetakos, G. N., & Loizides, A. L. (2007). A 12-month longitudinal in vitro leakage study on a new silicon-based root canal filling material (Gutta-Flow). *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 103(6), 854-859.
- Koutroulis, A., Kuehne, S. A., Cooper, P. R., & Camilleri, J. (2019). The role of calcium ion release on biocompatibility and antimicrobial properties of hydraulic cements. *Scientific Reports*, 9(1), 1-10.
- Krejci, I., & Lutz, F. (1990). In-vitro test results of the evaluation of dental restoration systems. Correlation with in-vivo results. *Schweizer Monatsschrift fur Zahnmedizin= Revue Mensuelle Suisse D'odonto-stomatologie= Rivista Mensile Svizzera di Odontologia e Stomatologia*, 100(12), 1445-1449.
- Kruzic, J., & Ritchie, R. (2008). Fatigue of mineralized tissues: cortical bone and dentin. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 1(1), 3-17.
- Kudou, Y., & Kubota, M. (2003). Replantation with intentional rotation of a complete vertically fractured root using adhesive resin cement. *Dental Traumatology*, 19(2), 115-117.
- Lam, P. P., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2005). Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*, 31(7), 529-532.
- Lang, H., Korkmaz, Y., Schneider, K., & Raab, W.-M. (2006). Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *Journal of dental research*, 85(4), 364-368.
- Leakage, C. (2002). Clinical and Biological Implications in Endodontic Success. *ENDODONTICS: Colleagues for Excellence*, 1-6.
- Lee, J. K., Kim, S., Lee, S., Kim, H.-C., & Kim, E. (2019). In vitro comparison of biocompatibility of calcium silicate-based root canal sealers. *Materials*, 12(15), 2411.
- Lee, K.-W., Williams, M. C., Camps, J. J., & Pashley, D. H. (2002). Adhesion of endodontic sealers to dentin and gutta-percha. *Journal of Endodontics*, 28(10), 684-688.
- Lertchirakarn, V., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2003a). Finite element analysis and strain-gauge studies of vertical root fracture. *Journal of Endodontics*, 29(8), 529-534.
- Lertchirakarn, V., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2003b). Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *Journal of Endodontics*, 29(8), 523-528.
- Lertchirakarn, V., Timyam, A., & Messer, H. H. (2002). Effects of root canal sealers on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics*, 28(3), 217-219.

- Liao, W.-C., Chen, C.-H., Pan, Y.-H., Chang, M.-C., & Jeng, J.-H. (2021). Vertical Root Fracture in Non-Endodontically and Endodontically Treated Teeth: Current Understanding and Future Challenge. *Journal of Personalized Medicine*, *11*(12), 1375.
- Lottanti, S., Gautschi, H., Sener, B., & Zehnder, M. (2009). Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. *International Endodontic Journal*, *42*(4), 335-343.
- Loushine, B. A., Bryan, T. E., Looney, S. W., Gillen, B. M., Loushine, R. J., Weller, R. N., . . . Tay, F. R. (2011). Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *Journal of Endodontics*, *37*(5), 673-677.
- Lustig, J. P., Tamse, A., & Fuss, Z. (2000). Pattern of bone resorption in vertically fractured, endodontically treated teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, *90*(2), 224-227.
- Mamootil, K., & Messer, H. (2007). Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *International Endodontic Journal*, *40*(11), 873-881.
- Mandava, J., Chang, P. C., Roopesh, B., Faruddin, M. G., Anupreeta, A., & Uma, C. (2014). Comparative evaluation of fracture resistance of root dentin to resin sealers and a MTA sealer: An in vitro study. *J Conserv Dent*, *17*(1), 53-56. doi:10.4103/0972-0707.124140
- Mannan, G., Smallwood, E., & Gulabivala, K. (2001). Effect of access cavity location and design on degree and distribution of instrumented root canal surface in maxillary anterior teeth. *International Endodontic Journal*, *34*(3), 176-183.
- Marciano, M. A., Guimarães, B. M., Ordinola-Zapata, R., Bramante, C. M., Cavenago, B. C., Garcia, R. B., . . . Duarte, M. A. (2011). Physical properties and interfacial adaptation of three epoxy resin-based sealers. *Journal of Endodontics*, *37*(10), 1417-1421.
- Marquis, V. L., Dao, T., Farzaneh, M., Abitbol, S., & Friedman, S. (2006). Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase III: initial treatment. *Journal of Endodontics*, *32*(4), 299-306.
- McHugh, C. P., Zhang, P., Michalek, S., & Eleazer, P. D. (2004). pH required to kill *Enterococcus faecalis* in vitro. *Journal of Endodontics*, *30*(4), 218-219.
- Meister Jr, F., Lommel, T. J., & Gerstein, H. (1980). Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, *49*(3), 243-253.
- Mello, I., Kammerer, B. A., Yoshimoto, D., Macedo, M. C. S., & Antoniazzi, J. H. (2010). Influence of final rinse technique on ability of ethylenediaminetetraacetic acid of removing smear layer. *Journal of Endodontics*, *36*(3), 512-514.

- Metzger, Z. (2014). The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 17(5), 401.
- Mohammadi, Z. (2008). Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *International dental journal*, 58(6), 329-341.
- Molinaro, J., Diefenderfer, K., & Strother, J. (2002). The influence of a packable resin composite, conventional resin composite and amalgam on molar cuspal stiffness. *Operative dentistry*, 27(5), 516-524.
- Monticelli, F., Sadek, F. T., Schuster, G. S., Volkmann, K. R., Looney, S. W., Ferrari, M., . . . Tay, F. R. (2007). Efficacy of two contemporary single-cone filling techniques in preventing bacterial leakage. *Journal of Endodontics*, 33(3), 310-313.
- Moore, B., Verdelis, K., Kishen, A., Dao, T., & Friedman, S. (2016). Impacts of contracted endodontic cavities on instrumentation efficacy and biomechanical responses in maxillary molars. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1779-1783.
- Morfis, A. (1990). Vertical root fractures. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 69(5), 631-635.
- Morgano, S. M. (1996). Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts. *The Journal of prosthetic dentistry*, 75(4), 375-380.
- Muliyar, S., Shameem, K. A., Thankachan, R. P., Francis, P., Jayapalan, C., & Hafiz, K. A. (2014). Microleakage in endodontics. *Journal of international oral health: JIOH*, 6(6), 99.
- Munari, L. S., Bowles, W. R., & Fok, A. S. (2019). Relationship between canal enlargement and fracture load of root dentin sections. *Dental Materials*, 35(5), 818-824.
- Nagas, E., Cehreli, Z., Uyanik, M. O., & Durmaz, V. (2014). Bond strength of a calcium silicate-based sealer tested in bulk or with different main core materials. *Brazilian oral research*, 28, 1-7.
- Naumann, M., Metzdorf, G., Fokkinga, W., Watzke, R., Sterzenbach, G., Bayne, S., & Rosentritt, M. (2009). Influence of test parameters on in vitro fracture resistance of post-endodontic restorations: a structured review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 36(4), 299-312.
- Nazari, A., Bajaj, D., Zhang, D., Romberg, E., & Arola, D. (2009). Aging and the reduction in fracture toughness of human dentin. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 2(5), 550-559.
- Neelakantan, P., Nandagopal, M., Shemesh, H., & Wesselink, P. (2015). The effect of root dentin conditioning protocols on the push-out bond strength of three calcium silicate sealers. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 60, 104-108.

- Neelakantan, P., Sharma, S., Shemesh, H., & Wesselink, P. R. (2015). Influence of irrigation sequence on the adhesion of root canal sealers to dentin: a Fourier transform infrared spectroscopy and push-out bond strength analysis. *Journal of Endodontics*, *41*(7), 1108-1111.
- Neelakantan, P., Subbarao, C., Subbarao, C., De-Deus, G., & Zehnder, M. (2011). The impact of root dentine conditioning on sealing ability and push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer. *International Endodontic Journal*, *44*(6), 491-498.
- Ng, Y. L., Mann, V., Rahbaran, S., Lewsey, J., & Gulabivala, K. (2007). Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature—part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *International Endodontic Journal*, *40*(12), 921-939.
- Niu, W., Yoshioka, T., Kobayashi, C., & Suda, H. (2002). A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *International Endodontic Journal*, *35*(11), 934-939.
- Okabe, T., Sakamoto, M., Takeuchi, H., & Matsushima, K. (2006). Effects of pH on mineralization ability of human dental pulp cells. *Journal of Endodontics*, *32*(3), 198-201.
- Oltra, E., Cox, T. C., LaCourse, M. R., Johnson, J. D., & Paranjpe, A. (2017). Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restorative Dentistry & Endodontics*, *42*(1), 19-26.
- Ørstavik, D. (1982). Seating of gutta-percha points: effect of sealers with varying film thickness. *Journal of Endodontics*, *8*(5), 213-218.
- Ørstavik, D. (2005). Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endodontic topics*, *12*(1), 25-38.
- Ørstavik, D., Eriksen, H., & BEYER-OLSEN, E. M. (1983). Adhesive properties and leakage of root canal sealers in vitro. *International Endodontic Journal*, *16*(2), 59-63.
- Osiri, S., Banomyong, D., Sattabanasuk, V., & Yanpiset, K. (2018). Root Reinforcement after Obturation with Calcium Silicate-based Sealer and Modified Gutta-percha Cone. *J Endod*, *44*(12), 1843-1848.
- Oyarzún, A., Cordero, A. M., & Whittle, M. (2002). Immunohistochemical evaluation of the effects of sodium hypochlorite on dentin collagen and glycosaminoglycans. *Journal of Endodontics*, *28*(3), 152-156.
- Ozawa, T., Taha, N., & Messer, H. H. (2009). A comparison of techniques for obturating oval-shaped root canals. *Dental materials journal*, *28*(3), 290-294.

- Ozkocak, I., & Sonat, B. (2015). Evaluation of effects on the adhesion of various root canal sealers after Er: YAG laser and irrigants are used on the dentin surface. *Journal of Endodontics*, 41(8), 1331-1336.
- Örstavik, D. (1983). Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *European Journal of Oral Sciences*, 91(4), 316-319.
- Özok, A. R., van der Sluis, L. W., Wu, M.-K., & Wesselink, P. R. (2008). Sealing ability of a new polydimethylsiloxane-based root canal filling material. *Journal of Endodontics*, 34(2), 204-207.
- Parashos, P., & Messer, H. H. (2006). The diffusion of innovation in dentistry: a review using rotary nickel-titanium technology as an example. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 101(3), 395-401.
- Pascon, F. M., Kantovitz, K. R., Sacramento, P. A., Nobre-dos-Santos, M., & Puppini-Rontani, R. M. (2009). Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *Journal of Dentistry*, 37(12), 903-908.
- Pashley, D. H. (1992a). The effects of acid etching on the pulpodentin complex. *Operative dentistry*, 17(6), 229-242.
- Pashley, D. H. (1992b). Smear layer: overview of structure and function. *Proceedings of the Finnish Dental Society. Suomen Hammaslaakariseuran toimituksia*, 88, 215-224.
- Patel, S., & Rhodes, J. (2007). A practical guide to endodontic access cavity preparation in molar teeth. *British dental journal*, 203(3), 133-140.
- Patil, P., Banga, K. S., Pawar, A. M., Pimple, S., & Ganeshan, R. (2017). Influence of root canal obturation using gutta-percha with three different sealers on root reinforcement of endodontically treated teeth. An in vitro comparative study of mandibular incisors. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 20(4), 241.
- Perdigão, J. (1995). An ultra-morphological study of human dentine exposed to adhesive systems. *Catholic University of Leuven*.
- Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R. Q., Gomes, G., & Pizzolotto, L. (2021). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 51-68.
- Pereira, R., Brito-Júnior, M., Leoni, G., Estrela, C., & de Sousa-Neto, M. (2017). Evaluation of bond strength in single-cone fillings of canals with different cross-sections. *International Endodontic Journal*, 50(2), 177-183.
- Peters, D. D. (1986). Two-year in vitro solubility evaluation of four gutta-percha sealer obturation techniques. *Journal of Endodontics*, 12(4), 139-145.

- Phukan, A. H., Mathur, S., Sandhu, M., & Sachdev, V. (2017). The effect of different root canal sealers on the fracture resistance of endodontically treated teeth-in vitro study. *Dental research journal*, 14(6), 382.
- Pitt Ford, T. (1979). The leakage of root fillings using glass ionomer cement and other materials. *Brit Dent J*, 146, 273-278.
- Pitts, D. L., & Natkin, E. (1983). Diagnosis and treatment of vertical root fractures. *Journal of Endodontics*, 9(8), 338-346.
- Plotino, G., Grande, N. M., Isufi, A., Ioppolo, P., Pedullà, E., Bedini, R., . . . Testarelli, L. (2017). Fracture strength of endodontically treated teeth with different access cavity designs. *Journal of Endodontics*, 43(6), 995-1000.
- Prado, M., Simão, R. A., & Gomes, B. P. (2013). Effect of different irrigation protocols on resin sealer bond strength to dentin. *Journal of Endodontics*, 39(5), 689-692.
- Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2015). Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental Materials*, 31(4), 351-370.
- Priya, N. T., Veeramachaneni Chandrasekhar, S. A., Tummala, M., Raj, T. P., Badami, V., Kumar, P., & Soujanya, E. (2014). "Dentinal microcracks after root canal preparation" a comparative evaluation with hand, rotary and reciprocating instrumentation. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 8(12), ZC70.
- Prüllage, R.-K., Urban, K., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2016). Material properties of a tricalcium silicate-containing, a mineral trioxide aggregate-containing, and an epoxy resin-based root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1784-1788.
- Raghavendra, S. S., Jadhav, G. R., Gathani, K. M., & Kotadia, P. (2017). Bioceramics in endodontics—a review. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 51(3 Suppl 1), S128.
- Rahimi, M., Jainaen, A., Parashos, P., & Messer, H. H. (2009). Bonding of resin-based sealers to root dentin. *Journal of Endodontics*, 35(1), 121-124.
- Rath, P. P., Yiu, C. K. Y., Matinlinna, J. P., Kishen, A., & Neelakantan, P. (2020). The effect of root canal irrigants on dentin: a focused review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(3).
- Rawtiya, M., Verma, K., Singh, S., Munuga, S., & Khan, S. (2013). MTA-based root canal sealers. *Journal of orofacial research*, 16-21.
- Razmi, H., Bolhari, B., Dashti, N. K., & Fazlyab, M. (2016). The effect of canal dryness on bond strength of bioceramic and epoxy-resin sealers after irrigation with sodium hypochlorite or chlorhexidine. *Iranian endodontic journal*, 11(2), 129.
- Ree, M., & Schwartz, R. (2015). Clinical applications of premixed bioceramic materials in endodontics. *ENDO*, 9, 111-127.

- Retana-Lobo, C., Tanomaru-Filho, M., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Benavides-García, M., Hernández-Meza, E., & Reyes-Carmona, J. (2021). Push-out bond strength, characterization, and ion release of premixed and powder-liquid bioceramic sealers with or without gutta-percha. *Scanning*, 2021.
- Reyes-Carmona, J. F., Felipe, M. S., & Felipe, W. T. (2009). Biomineralization ability and interaction of mineral trioxide aggregate and white portland cement with dentin in a phosphate-containing fluid. *Journal of Endodontics*, 35(5), 731-736.
- Ribeiro, F. C., Souza-Gabriel, A. E., Marchesan, M. A., Alfredo, E., Silva-Sousa, Y. T., & Sousa-Neto, M. D. (2008). Influence of different endodontic filling materials on root fracture susceptibility. *J Dent*, 36(1), 69-73.
- Rivera, E., & Walton, R. (2008). Cracking the cracked tooth code: detection and treatment of various longitudinal tooth fractures. *Am Assoc Endodontists Colleagues for Excellence News Lett*, 2, 1-19.
- Robberecht, L., Colard, T., & Claisse-Crinquette, A. (2012). Qualitative evaluation of two endodontic obturation techniques: tapered single-cone method versus warm vertical condensation and injection system an in vitro study. *Journal of oral science*, 54(1), 99-104.
- Romeed, S., & Dunne, S. (2013). Stress analysis of different post-luting systems: a three-dimensional finite element analysis. *Australian Dental Journal*, 58(1), 82-88.
- Rotstein, I., Dankner, E., Goldman, A., Heling, I., Stabholz, A., & Zalkind, M. (1996). Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. *Journal of Endodontics*, 22(1), 23-26.
- Rover, G., Belladonna, F. G., Bortoluzzi, E. A., De-Deus, G., Silva, E. J. N. L., & Teixeira, C. S. (2017). Influence of access cavity design on root canal detection, instrumentation efficacy, and fracture resistance assessed in maxillary molars. *Journal of Endodontics*, 43(10), 1657-1662.
- Rundquist, B., & Versluis, A. (2006). How does canal taper affect root stresses? *International Endodontic Journal*, 39(3), 226-237.
- Ruse, N., & Smith, D. (1991). Adhesion to bovine dentin-surface characterization. *Journal of dental research*, 70(6), 1002-1008.
- Russell, A. A., Chandler, N. P., Hauman, C., Siddiqui, A. Y., & Tompkins, G. R. (2013). The butterfly effect: an investigation of sectioned roots. *Journal of Endodontics*, 39(2), 208-210.
- Saba, A. A., & ElAsfour, H. A. (2019). Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Obturated with Different Root Canal Sealers (In vitro study). *Egyptian Dental Journal*, 65(2-April (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics)), 1567-1575.

- Sabeti, M., Kazem, M., Dianat, O., Bahrololumi, N., Beglou, A., Rahimipour, K., & Dehnavi, F. (2018). Impact of access cavity design and root canal taper on fracture resistance of endodontically treated teeth: an ex vivo investigation. *Journal of Endodontics*, *44*(9), 1402-1406.
- Sagsen, B., Ustun, Y., Pala, K., & Demirbuga, S. (2012). Resistance to fracture of roots filled with different sealers. *Dent Mater J*, *31*(4), 528-532.
- Sagsen, B., Ustün, Y., Demirbuga, S., & Pala, K. (2011). Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. *International Endodontic Journal*, *44*(12), 1088-1091.
- Saleh, I., Ruyter, I., Haapasalo, M., & Ørstavik, D. (2002). The effects of dentine pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *International Endodontic Journal*, *35*(10), 859-866.
- Salehrabi, R., & Rotstein, I. (2004). Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *Journal of Endodontics*, *30*(12), 846-850.
- Salvi, G., Siegrist Guldener, B., Amstad, T., Joss, A., & Lang, N. P. (2007). Clinical evaluation of root filled teeth restored with or without post-and-core systems in a specialist practice setting. *International Endodontic Journal*, *40*(3), 209-215.
- Samiei, M., Aghazade, M., Farhadi, F., Shahveghar, N., Torab, A., & Pakdel, S. M. V. (2014). Sealing efficacy of single-cone obturation technique with MTA and CEM cement: an in vitro bacterial leakage study. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*, *8*(2), 77.
- Sayin, T. C., Serper, A., Cehreli, Z. C., & Kalayci, S. (2007). Calcium loss from root canal dentin following EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl treatment with or without subsequent NaOCl irrigation. *Journal of Endodontics*, *33*(5), 581-584.
- Schäfer, E., Zandbiglari, T., & Schäfer, J. (2007). Influence of resin-based adhesive root canal fillings on the resistance to fracture of endodontically treated roots: an in vitro preliminary study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, *103*(2), 274-279.
- Schembri-Wismayer, P., & Camilleri, J. (2017). Why biphasic? Assessment of the effect on cell proliferation and expression. *Journal of Endodontics*, *43*(5), 751-759.
- Schroeder, A. (1981). *Endodontics--science and practice: a textbook for student and practitioner*: Quintessence Publishing Company.
- Sedgley, C. M., & Messer, H. H. (1992). Are endodontically treated teeth more brittle? *Journal of Endodontics*, *18*(7), 332-335.
- See, W.-K., Ho, J.-C., Huang, C.-F., Hung, W.-C., & Chang, C.-W. (2019). The association between clinical diagnostic factors and the prevalence of vertical

- root fracture in endodontic surgery. *Journal of the Formosan Medical Association*, 118(3), 713-720.
- Sen, B. H., Chugal, N. M., Liu, H., & Fleischmann, J. (2003). A new method for studying the adhesion of *Candida albicans* to dentin in the presence or absence of smear layer. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96(2), 201-206.
- Senia, E. S., Marshall, F. J., & Rosen, S. (1971). The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 31(1), 96-103.
- Septodont; BioRoot RCS broşür. Erişim 02.2022. Retrieved from https://www.septodont.ie/sites/ie/files/2016-11/BioRoot-brochure-UK_0.pdf
- Sequeira-Byron, P., Fedorowicz, Z., Carter, B., Nasser, M., & Alrowaili, E. F. (2015). Single crowns versus conventional fillings for the restoration of root-filled teeth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(9).
- Shanahan, D., & Duncan, H. (2011). Root canal filling using Resilon: a review. *British dental journal*, 211(2), 81-88.
- Shemesh, H., Bier, C., Wu, M. K., Tanomaru-Filho, M., & Wesselink, P. (2009). The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *International Endodontic Journal*, 42(3), 208-213.
- Shemesh, H., Lindtner, T., Portoles, C. A., & Zaslansky, P. (2018). Dehydration induces cracking in root dentin irrespective of instrumentation: a two-dimensional and three-dimensional study. *Journal of Endodontics*, 44(1), 120-125.
- Shemesh, H., Roeleveld, A. C., Wesselink, P. R., & Wu, M.-K. (2011). Damage to root dentin during retreatment procedures. *Journal of Endodontics*, 37(1), 63-66.
- Shemesh, H., Wesselink, P., & Wu, M. K. (2010). Incidence of dentinal defects after root canal filling procedures. *International Endodontic Journal*, 43(11), 995-1000.
- Shipper, G., Ørstavik, D., Teixeira, F. B., & Trope, M. (2004). An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon). *Journal of Endodontics*, 30(5), 342-347.
- Shokouhinejad, N., Gorjestani, H., Nasseh, A. A., Hoseini, A., Mohammadi, M., & Shamshiri, A. R. (2013). Push-out bond strength of gutta-percha with a new bioceramic sealer in the presence or absence of smear layer. *Australian Endodontic Journal*, 39(3), 102-106.
- Silva, E. J. N. L., Canabarro, A., Andrade, M. R. T. C., Cavalcante, D. M., Von Stetten, O., da Silva Fidalgo, T. K., & De-Deus, G. (2019). Dislodgment resistance of bioceramic and epoxy sealers: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, 19(3), 221-235.

- Silva, P., Guedes, D., Nakadi, F., Pécora, J., & Cruz-Filho, A. (2013). Chitosan: a new solution for removal of smear layer after root canal instrumentation. *International Endodontic Journal*, 46(4), 332-338.
- Sim, T. P., Knowles, J. C., Ng, Y. L., Shelton, J., & Gulabivala, K. (2001). Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J*, 34(2), 120-132. doi:10.1046/j.1365-2591.2001.00357.x
- Simsek, A., & Karagoz-Kucukay, I. (2009). Percentage of gutta-percha filled area in root canals instrumented and obturated with different techniques: R90. *International Endodontic Journal*, 42(12).
- Siqueira Jr, J. F., Rôças, I. N., Favieri, A., & Lima, K. C. (2000). 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.
- Sly, M. M., Moore, B. K., Platt, J. A., & Brown, C. E. (2007). Push-out bond strength of a new endodontic obturation system (Resilon/Epiphany). *Journal of Endodontics*, 33(2), 160-162.
- Sousa-Neto, M. D., Marchesan, M. A., Pécora, J. D., Junior, A. B., Silva-Sousa, Y. T., & Saquy, P. C. (2002). Effect of Er: YAG laser on adhesion of root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 28(3), 185-187.
- Sousa-Neto, M., Silva Coelho, F., Marchesan, M., Alfredo, E., & Silva-Sousa, Y. (2005). Ex vivo study of the adhesion of an epoxy-based sealer to human dentine submitted to irradiation with Er: YAG and Nd: YAG lasers. *International Endodontic Journal*, 38(12), 866-870.
- Souza, S., Bombana, A., Francci, C., Goncalves, F., Castellan, C., & Braga, R. (2009). Polymerization stress, flow and dentine bond strength of two resin-based root canal sealers. *International Endodontic Journal*, 42(10), 867-873.
- Spångberg, L. S., Barbosa, S. V., & Lavigne, G. D. (1993). AH26 releases formaldehyde. *Journal of Endodontics*, 19(12), 596-598.
- Stavropoulou, A., & Koidis, P. (2007). A systematic review of single crowns on endodontically treated teeth. *Journal of Dentistry*, 35(10), 761-767.
- Stojicic, S., Zivkovic, S., Qian, W., Zhang, H., & Haapasalo, M. (2010). Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1558-1562.
- Sungur, D. D., Altundasar, E., Uzunoglu, E., & Yilmaz, Z. (2016). Influence of different final irrigation regimens and various endodontic filling materials on vertical root fracture resistance. *Nigerian journal of clinical practice*, 19(2), 267-271.
- Taç, M. D., Kaya, S., & Falakaloğlu, S. (2018). Evaluation of dentinal micro-cracks caused by the ProTaper Universal, ProTaper Next and Reciproc rotary file

- systems used in root canal preparation. *International Dental Research*, 8(3), 111-116.
- Takeuchi, N., Yamamoto, T., Tomofuji, T., & Murakami, C. (2009). A retrospective study on the prognosis of teeth with root fracture in patients during the maintenance phase of periodontal therapy. *Dental Traumatology*, 25(3), 332-337.
- Tamse, A. (1988). Iatrogenic vertical root fractures in endodontically treated teeth. *Dental Traumatology*, 4(5), 190-196.
- Tamse, A., Fuss, Z., Lustig, J., Ganor, Y., & Kaffe, I. (1999). Radiographic features of vertically fractured, endodontically treated maxillary premolars. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 88(3), 348-352.
- Tamse, A., Fuss, Z., Lustig, J., & Kaplavi, J. (1999). An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *Journal of Endodontics*, 25(7), 506-508.
- Tamse, A., Kaffe, I., Lustig, J., Ganor, Y., & Fuss, Z. (2006). Radiographic features of vertically fractured endodontically treated mesial roots of mandibular molars. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 101(6), 797-802.
- Tanomaru-Filho, M., Silveira, B., Martelo, R. B., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2015). Influence of concentration and agitation of sodium hypochlorite and peracetic acid solutions on tissue dissolution. *J Contemp Dent Pract*, 16(11), 876-879.
- Tanomaru-Filho, M., Torres, F. F. E., Chávez-Andrade, G. M., de Almeida, M., Navarro, L. G., Steier, L., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2017). Physicochemical properties and volumetric change of silicone/bioactive glass and calcium silicate-based endodontic sealers. *Journal of Endodontics*, 43(12), 2097-2101.
- Taschieri, S., Tamse, A., Del Fabbro, M., Rosano, G., & Tsesis, I. (2010). A new surgical technique for preservation of endodontically treated teeth with coronally located vertical root fractures: a prospective case series. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 110(6), e45-e52.
- Teixeira, F. B., Teixeira, E. C., Thompson, J. Y., & Trope, M. (2004). Fracture resistance of roots endodontically treated with a new resin filling material. *The Journal of the American Dental Association*, 135(5), 646-652.
- Testori, T., Badino, M., & Castagnola, M. (1993). Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *Journal of Endodontics*, 19(2), 87-90.
- Toledano, M., Osorio, R., Perdigao, J., Rosales, J. I., Thompson, J. Y., & Cabrerizo-Vilchez, M. A. (1999). Effect of acid etching and collagen removal on

- dentin wettability and roughness. *Journal of Biomedical Materials Research*, 47(2), 198-203.
- Topcuoglu, H. S., Tuncay, O., Karatas, E., Arslan, H., & Yeter, K. (2013). In vitro fracture resistance of roots obturated with epoxy resin-based, mineral trioxide aggregate-based, and bioceramic root canal sealers. *J Endod*, 39(12), 1630-1633.
- Torabinejad, M., Kettering, J. D., & Bakland, L. K. (1979). Evaluation of systemic immunological reactions to AH-26 root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 5(7), 196-200.
- Torabinejad, M., Parirokh, M., & Dummer, P. M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J*, 51(3), 284-317.
- Touré, B., Faye, B., Kane, A. W., Lo, C. M., Niang, B., & Boucher, Y. (2011). Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1512-1515.
- Trope, M., Bunes, A., & Debelian, G. (2015). Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endodontic topics*, 32(1), 86-96.
- Trope, M., & Ray Jr, H. L. (1992). Resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 73(1), 99-102.
- Tsesis, I., Rosen, E., Tamse, A., Taschieri, S., & Kfir, A. (2010). Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1455-1458.
- Tuncel, B., Nagas, E., Cehreli, Z., Uyanik, O., Vallittu, P., & Lassila, L. (2015). Effect of endodontic chelating solutions on the bond strength of endodontic sealers. *Brazilian oral research*, 29, 1-6.
- Uzunoglu-Özyürek, E., Eren, S. K., & Karahan, S. (2018). Effect of root canal sealers on the fracture resistance of endodontically treated teeth: a systematic review of in vitro studies. *Clinical oral investigations*, 22(7), 2475-2485.
- Uzunoglu, E., Aktemur, S., Uyanik, M. O., Durmaz, V., & Nagas, E. (2012). Effect of ethylenediaminetetraacetic acid on root fracture with respect to concentration at different time exposures. *Journal of Endodontics*, 38(8), 1110-1113.
- Uzunoglu Ozyurek, E., & Aktemur Turker, S. (2019). Evaluation of fracture resistance of roots-filled with various root canal sealers at different time periods. *Eur Oral Res*, 53(1), 6-11.
- Üreyen Kaya, B., Keçeci, A., Orhan, H., & Belli, S. (2008). Micropush-out bond strengths of gutta-percha versus thermoplastic synthetic polymer-based systems—an ex vivo study. *International Endodontic Journal*, 41(3), 211-218.

- Valizadeh, S., Khosravi, M., & Azizi, Z. (2011). Diagnostic accuracy of conventional, digital and Cone Beam CT in vertical root fracture detection. *Iranian endodontic journal*, 6(1), 15-20.
- Van Meerbeek, B., Lambrechts, P., Inokoshi, S., Braem, M., & Vanherle, G. (1992). Factors affecting adhesion to mineralized tissues. *Operative dentistry*, 111-124.
- Varshosaz, M., Tavakoli, M. A., Mostafavi, M., & Baghban, A. A. (2010). Comparison of conventional radiography with cone beam computed tomography for detection of vertical root fractures: an in vitro study. *Journal of oral science*, 52(4), 593-597.
- Vasiliadis, L., Darling, A., & Levers, B. (1983). The amount and distribution of sclerotic human root dentine. *Archives of Oral Biology*, 28(7), 645-649.
- Veloza, C., Silva, S., Almeida, A., Romeiro, K., Vieira, B., Dantas, H., . . . De Albuquerque, D. (2020). Shaping ability of XP-endo Shaper and ProTaper Next in long oval-shaped canals: a micro-computed tomography study. *International Endodontic Journal*, 53(7), 998-1006.
- Vermilyea, S., De Simon, L., & Huget, E. (1978). The rheologic properties of endodontic sealers. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 46(5), 711-716.
- Versiani, M., Carvalho-Junior, J., Padilha, M., Lacey, S., Pascon, E., & Sousa-Neto, M. (2006). A comparative study of physicochemical properties of AH Plus™ and Epiphany™ root canal sealants. *International Endodontic Journal*, 39(6), 464-471.
- Viapiana, R., Flumignan, D., Guerreiro-Tanomaru, J., Camilleri, J., & Tanomaru-Filho, M. (2014). Physicochemical and mechanical properties of zirconium oxide and niobium oxide modified P ortland cement-based experimental endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 47(5), 437-448.
- Viapiana, R., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Tanomaru-Filho, M., & Camilleri, J. (2014). Investigation of the effect of sealer use on the heat generated at the external root surface during root canal obturation using warm vertical compaction technique with System B heat source. *Journal of Endodontics*, 40(4), 555-561.
- Viapiana, R., Moinzadeh, A., Camilleri, L., Wesselink, P., Tanomaru Filho, M., & Camilleri, J. (2016). Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *International Endodontic Journal*, 49(8), 774-782.
- Vilanova, W., Carvalho-Junior, J., Alfredo, E., Sousa-Neto, M., & Silva-Sousa, Y. (2012). Effect of intracanal irrigants on the bond strength of epoxy resin-based and methacrylate resin-based sealers to root canal walls. *International Endodontic Journal*, 45(1), 42-48.
- Violich, D., & Chandler, N. (2010). The smear layer in endodontics—a review. *International Endodontic Journal*, 43(1), 2-15.

- Vire, D. E. (1991). Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. *Journal of Endodontics*, 17(7), 338-342.
- Wang, P., He, W., Sun, H., Lu, Q., & Ni, L. (2012). Detection of vertical root fractures in non-endodontically treated molars using cone-beam computed tomography: a report of four representative cases. *Dental Traumatology*, 28(4), 329-333.
- Watson, T. F., Atmeh, A. R., Sajini, S., Cook, R. J., & Festy, F. (2014). Present and future of glass-ionomers and calcium-silicate cements as bioactive materials in dentistry: biophotonics-based interfacial analyses in health and disease. *Dental Materials*, 30(1), 50-61.
- Watts, D., Combe, E., & Greener, E. (1981). The rheological properties of polyelectrolyte cements: II. Glass ionomers. *Journal of Oral Rehabilitation*, 8(1), 61-67.
- Weis, M. V., Parashos, P., & Messer, H. (2004). Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. *International Endodontic Journal*, 37(10), 653-663.
- Weisman, M. I. (1970). A study of the flow rate of ten root canal sealers. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 29(2), 255-261.
- Wennber, A., & NIOM, D. Ø. (1990). Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha. *International Endodontic Journal*, 23(1), 13-19.
- Wennberg, A. (1980). Biological evaluation of root canal sealers using in vitro and in vivo methods. *Journal of Endodontics*, 6(10), 784-787.
- Wilcox, L. R., Roskelley, C., & Sutton, T. (1997). The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *Journal of Endodontics*, 23(8), 533-534.
- Winter, W., & Karl, M. (2012). Dehydration-induced shrinkage of dentin as a potential cause of vertical root fractures. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 14, 1-6.
- Wolf, T. G., Stiebritz, M., Boemke, N., Elsayed, I., Paqué, F., Wierichs, R. J., & Briseño-Marroquín, B. (2020). 3-dimensional Analysis and Literature Review of the Root Canal Morphology and Physiological Foramen Geometry of 125 Mandibular Incisors by Means of Micro-Computed Tomography in a German Population. *Journal of Endodontics*, 46(2), 184-191.
- Wong, A. W.-Y., Zhang, S., Li, S. K.-Y., Zhang, C., & Chu, C.-H. (2017). Clinical studies on core-carrier obturation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 17(1), 1-10.
- Wu, M. K., & Wesselink, P. (2001). A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *International Endodontic Journal*, 34(2), 137-141.

- Wu, M. K., Wesselink, P., & Boersma, J. (1995). A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *International Endodontic Journal*, 28(4), 185-189.
- Xuereb, M., Vella, P., Damidot, D., Sammut, C. V., & Camilleri, J. (2015). In situ assessment of the setting of tricalcium silicate-based sealers using a dentin pressure model. *Journal of Endodontics*, 41(1), 111-124.
- Yamada, R. S., Armos, A., & Goldman, M. (1983). A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating. *J Endodon*, 9, 137-142.
- Yan, W., Jiang, H., Deng, Z., Paranjpe, A., Zhang, H., & Arola, D. (2021). Shrinkage Strains in the Dentin of Endodontically Treated Teeth with Water Loss. *Journal of Endodontics*, 47(5), 806-811.
- Yang, S.-E., & Bae, K.-S. (2002). Scanning electron microscopy study of the adhesion of *Prevotella nigrescens* to the dentin of prepared root canals. *Journal of Endodontics*, 28(6), 433-437.
- Yılmaz, Z., Basbag, B., Buzoglu, H. D., & Gümüşderelioglu, M. (2011). Effect of low-surface-tension EDTA solutions on the wettability of root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 111(1), 109-114.
- Yoldas, O., Yilmaz, S., Atakan, G., Kuden, C., & Kasan, Z. (2012). Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *Journal of Endodontics*, 38(2), 232-235.
- Yoshida, N., Koga, Y., Peng, C.-L., Tanaka, E., & Kobayashi, K. (2001). In vivo measurement of the elastic modulus of the human periodontal ligament. *Medical Engineering & Physics*, 23(8), 567-572.
- Yusufoglu, S. İ., Akman, M., Akbulut, M. B., & Eldeniz, A. Ü. (2019). Fracture resistance of roots enlarged with various rotary systems and obturated with different sealers. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*, 13(3), 215.
- Zandbiglari, T., Davids, H., & Schafer, E. (2006). Influence of instrument taper on the resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101(1), 126-131.
- Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32(5), 389-398.
- Zelic, K., Vukicevic, A., Jovicic, G., Aleksandrovic, S., Filipovic, N., & Djuric, M. (2015). Mechanical weakening of devitalized teeth: three-dimensional Finite Element Analysis and prediction of tooth fracture. *International Endodontic Journal*, 48(9), 850-863.
- Zhang, K., Kim, Y. K., Cadenaro, M., Bryan, T. E., Sidow, S. J., Loushine, R. J., . . . Tay, F. R. (2010). Effects of different exposure times and concentrations of

sodium hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin. *Journal of Endodontics*, 36(1), 105-109.

- Zhang, K., Tay, F. R., Kim, Y. K., Mitchell, J. K., Kim, J. R., Carrilho, M., . . . Ling, J.-q. (2010). The effect of initial irrigation with two different sodium hypochlorite concentrations on the erosion of instrumented radicular dentin. *Dental Materials*, 26(6), 514-523.
- Zhou, H.-m., Shen, Y., Zheng, W., Li, L., Zheng, Y.-f., & Haapasalo, M. (2013). Physical properties of 5 root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 39(10), 1281-1286.



ETİK KURUL KARARI



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

KALSİYUM SİLİKAT ESASLI PATLARIN OVAL KANALLI DİŞLERİN KIRILMA DİRENCİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ORJİNALLİK RAPORU

% 12	% 11	% 4	% 2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 6
2	Submitted to Istanbul University Öğrenci Ödevi	<% 1
3	dspace.ankara.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
4	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	<% 1
5	www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
6	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	etheses.bham.ac.uk İnternet Kaynağı	<% 1
8	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
9	docs.neu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1

ÖZGEÇMİŞ



