

**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**FARKLI İRRİGASYON SOLÜSYONLARININ YENİ NESİL
PERFORASYON TAMİR MATERYALLERİNİN
PUSH-OUT BAĞLANMA DAYANIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dt. Nihan ÇELİK UZUN

**Endodonti Programı
Uzmanlık Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN**

RİZE-2022

**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**FARKLI İRRİGASYON SOLÜSYONLARININ YENİ NESİL
PERFORASYON TAMİR MATERYALLERİNİN
PUSH-OUT BAĞLANMA DAYANIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dt. Nihan ÇELİK UZUN

**Endodonti Programı
Uzmanlık Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN**

RİZE-2022

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ UZMANLIK EĞİTİM PROGRAMI

**FARKLI İRRİGASYON SOLÜSYONLARININ YENİ NESİL
PERFORASYON TAMİR MATERYALLERİNİN
PUSH-OUT BAĞLANMA DAYANIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dt. Nihan ÇELİK UZUN

Tez Savunma Tarihi	: 14.03.2022
Tez Danışmanı	: Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)
Jüri Üyesi	: Doç. Dr. Davut ÇELİK (Karadeniz Teknik Üniversitesi)
Jüri Üyesi	: Dr. Öğr. Üyesi Banu ARICIOĞLU (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

Onay

Bu çalışma yukarıdaki jüri tarafından Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zeynep YEŞİL DUYMUŞ

Fakülte Dekanı

Uzmanlık Tezi

Rize-2022

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	IV
ÖZET	V
ABSTRACT.....	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLOLAR DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Endodontik Tedavide Başarısızlık Nedenleri	4
2.2. Kök Perforasyonları.....	6
2.2.1. Perforasyonların Teşhisi	8
2.2.2. Perforasyonların Sınıflandırılması	8
2.2.3. Perforasyonların Tedavisi	10
2.2.3.1. Cerrahi Olmayan Tedavi.....	10
2.2.3.2. Cerrahi Tedavi	12
2.2.4. Perforasyon Tamirinin Prognozu.....	13
2.2.4.1. Perforasyonun Yeri	13
2.2.4.2. Perforasyonun Tamir Edilmesine Kadar Geçen Süre	14
2.2.4.3. Perforasyonun Boyutu	14
2.2.4.4. Perforasyon alanının kontaminasyonu.....	14

2.2.4.5. Kullanılan Tamir Materyali	14
2.2.4.5.1. İdeal Bir Perforasyon Tamir Materyalinin Özellikleri	15
2.2.4.5.2. Perforasyon Tamirinde Kullanılan Materyaller	15
2.3. Biyoseramik Esaslı Materyaller	16
2.4.Çalışmamızda Kullanılan Biyoseramik Esaslı Perforasyon Tamir Materyalleri	19
2.4.1. ProRoot MTA	19
2.4.2. NeoPutty	21
2.4.3. Endocem MTA Premixed	23
2.5. Tamir Materyallerinin Dentine Olan Bağlanma Dayanımı	24
2.5.1. Bağlanma Dayanımını Etkileyen Faktörler	24
2.5.2. Bağlanma Dayanımının Ölçülmesi	28
2.5.2.1. Makaslama (shear) Testi	28
2.5.2.2. Gerilim (tensile)Testi	29
2.5.2.3. İtme (push-out) Testi	29
2.6. Materyal ile Dentin Arasındaki Bağlantı Başarısızlıkları.....	30
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1. Örneklerin Seçilmesi.....	31
3.2. Örneklerin Hazırlanması.....	31
3.3. Push-out Test Düzenegi ile Bağlanma Dayanımının Ölçülmesi	36
3.4. Stereomikroskop Analizi	37
3.5. İstatistiksel Analiz.....	38

4. BULGULAR.....	39
4.1. Push-out Bağlanma Dayanımı Testi Bulguları	39
4.2. Stereomikroskop Analizi Bulguları	42
5. TARTIşMA.....	46
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	59
EKLER	72



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince her türlü mesleki deneyimini paylaşan, bilgi birikimiyle çalışmalarına farklı açılardan bakmamı sağlayan, olumlu tavrıyla her zaman beni cesaretlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca değerli bilgilerini eksik etmeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Banu ARICIOĞLU'na,

Asistanlığıma başladığım günden beri dostluklarını esirgemeyen ve her daim yanımda olan diğer anabilim dallarındaki eş kıdemli asistan arkadaşlarıma,

Kliniğin tüm yükünü birlikte paylaştığımız, birlikte çalışmaktan keyif aldığım, asistanlığımın zorlu ve güzel günlerini birlikte geçirdiğim tüm asistan arkadaşlarıma ve Endodonti A.D. personellerine,

Hayatta her zaman yol göstericim olan, eğitimim ve yaşantım boyunca ellerini üzerimden eksik etmeyen, büyük bir özveriyle bu günlere gelmemi sağlayan babam Osman ÇELİK'e, canım annem Münevver ÇELİK'e, ablalarım Nergis ÇELİK DEMİRCİ, Nida ÇELİK ŞİMŞEK ve Nilay ÇELİK ERCAN'a,

Her koşulda yanımda olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatı paylaşmaya söz verdiğim sevgili eşim Uzm. Dr. Kerem UZUN'a,

sonsuz şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

Arş. Gör. Dt. Nihan ÇELİK UZUN

ÖZET

Farklı İrrigasyon Solüsyonlarının Yeni Nesil Perforasyon Tamir Materyallerinin Push-out Bağlanma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı; farklı irrigasyon solüsyonlarının ProRoot MTA, NeoPutty ve Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımına etkisinin incelenmesidir.

Materyal ve Metod: Bu çalışmada 60 adet çekilmiş daimi üst santral diş kullanıldı. Dişlerden elde edilen 180 kesit rastgele 3 gruba ayrıldı (n = 60): Grup 1: ProRoot MTA, Grup 2: NeoPutty, Grup 3: Endocem MTA Premixed. Perforasyon tamir materyalleri kanal boşluklarına yerleştirildikten sonra her bir grup 4 alt gruba (n = 15) ayrıldı: Kontrol, normal salin, %5.25 NaOCl ve %17 EDTA. Örnekler normal salin ve NaOCl solüsyonunda 30 dakika, EDTA'da ise 5 dk bekletildi. Örneklerin bağlanma dayanımları universal test cihazında push-out testi ile ölçüldü. Materyal ve dentin ara yüzündeki başarısızlık tipinin belirlenmesi için stereomikroskop kullanıldı.

Bulgular: En yüksek bağlanma dayanımı değerleri ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed grubunda gözlenirken, NeoPutty'nin bağlanma dayanımı değerleri anlamlı derecede daha düşüktü ($p<0.005$). Normal salin, %5.25 NaOCl ve %17 EDTA solüsyonlarına maruziyet, Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımını etkilemedi. NaOCl ve EDTA, ProRoot MTA'nın bağlanma dayanımı değiştirmezken, ($p>0.05$); normal salin materyalin bağlanma dayanımını anlamlı derecede düşürdü ($p<0.05$). Normal salin ve EDTA, NeoPutty'nin bağlanma dayanımını etkilemezken ($p>0.05$); NaOCl bağlanma dayanımını anlamlı derecede düşürdü ($p<0.05$). ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'de baskın olan başarısızlık tipi kohezivken, NeoPutty' de mix başarısızlık daha fazla görüldü.

Sonuç: ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımı değerleri, NeoPutty'ye kıyasla anlamlı derecede daha yüksekti. Çeşitli irrigasyon solüsyonlarına

maruziyet sonrası Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımı etkilenmezken; normal salin ProRoot MTA'nın, NaOCl ise NeoPutty'nin bağlanma dayanımını düşürdü.

Anahtar Kelimeler: Bağlanma dayanımı, Kök perforasyonları, Mineral trioksit agregat



ABSTRACT

Investigation of the Effect of Different Irrigation Solutions on Push-out Bond Strength of New Generation Perforation Repair Materials

Aim: The aim of this study is to examine the effect of different irrigation solutions on the bond strength of ProRoot MTA NeoPutty and Endocem MTA Premixed.

Materials and Methods: In this study 60 extracted permanent upper central teeth were used. 180 sections obtained from the teeth were randomly divided into 3 groups (n = 60): Group 1: ProRoot MTA, Group 2: NeoPutty, Group 3: Endocem MTA Premixed. After perforation repair materials were placed in the canal spaces, each group was divided into 4 subgroups (n = 15): Control, normal saline, 5.25% NaOCl, and 17% EDTA. The samples were kept in normal saline and NaOCl solution for 30 minutes and in EDTA for 5 minutes. The bond strength of the samples was measured with the push-out test in a universal testing machine. A stereomicroscope was used to determine the type of failure at the material and dentin interface.

Results: The bond strength values of NeoPutty were significantly lower ($p < 0.005$) while the highest bond strength values were observed in the ProRoot MTA and Endocem MTA Premixed groups. Exposure to normal saline, 5.25% NaOCl and 17% EDTA solutions did not affect the bond strength of Endocem MTA Premixed. While NaOCl and EDTA did not change the bond strength of ProRoot MTA ($p > 0.05$), normal saline significantly decreased the bond strength of the material ($p < 0.05$). While normal saline and EDTA did not affect the bond strength of NeoPutty ($p > 0.05$), NaOCl significantly decreased the bond strength ($p < 0.05$). While the dominant bond failure type was cohesive in ProRoot MTA and Endocem MTA Premixed, the mix bond failure type was seen more in NeoPutty.

Conclusion: Bond strength values of ProRoot MTA and Endocem MTA Premixed were significantly higher than NeoPutty. While the bond strength of Endocem MTA Premixed is not affected after exposure to various irrigation solutions, normal saline decreased the bond strength of ProRoot MTA and NaOCl decreased the bond strength of NeoPutty.

Key Words: Bond strength, Mineral trioxide aggregate, Root perforations



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Ark	: Arkadaşları
Ca	: Kalsiyum iyonu
CaOH	: Kalsiyum hidroksit
CHX	: Klorheksidin glukonat
CEM	: Kalsiyumla zenginleştirilmiş karışım
dk	: Dakika
DMSO	: Dimetil sülfoksit
EDTA	: Etilen diamin tetraasetik asit
GMTA	: Gri mineral trioksit agregat
IRM	: İmmediat restoratif materyal
MTA	: Mineral trioksit agregat
MPa	: Megapaskal
N	: Newton
NaOCl	: Sodyum hipoklorit
p	: Anlamlılık değeri
WMTA	: Beyaz mineral trioksit agregat
mm²	: Milimetre kare
mm	: Milimetre
°C	: Santigrat derece
>	: Büyüktür
<	: Küçüktür
%	: Yüzde

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Push-out bağlanma dayanımı test düzeneği.....	29
Şekil 3.1. Akrilik bloklara sabitlenen dişler	32
Şekil 3.2. Horizontal diş kesitlerinin şematik görünümü.....	32
Şekil 3.3. Microtome cihazıyla horizontal kesitlerin elde edilmesi.....	33
Şekil 3.4. Dentin kesitlerinin dijital kumpasla ölçülmesi	33
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan perforasyon tamir materyalleri	34
Şekil 3.6. Çalışma grupların şematik gösterimi	35
Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan irrigasyon solüsyonları.....	36
Şekil 3.8. Universal test cihazıyla push-out bağlanma dayanımının ölçülmesi.....	37
Şekil 3.9. Stereomikroskop	38
Şekil 4.1. Tamir materyallerine ait bağlanma dayanımı değerlerinin dağılımı	40
Şekil 4.2. Tamir materyallerinin farklı irrigasyon solüsyonlarına maruziyetleri sonrası bağlanma dayanımı değerlerinin dağılımı	42
Şekil 4.3. Başarısızlık tiplerine ait stereomikroskop görüntüleri.....	42
Şekil 4.4. Başarısızlık tiplerinin genel olarak dağılımı.....	43
Şekil 4.5. Tamir materyallerinin farklı irrigasyon solüsyonlarına göre kopma tiplerinin dağılımı	45

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Biyoseramik esaslı materyallerin sınıflandırılması	18
Tablo 4.1. Tamir materyallerine ait bağlanma dayanımı değerleri.....	39
Tablo 4.2. Tamir materyallerinin irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti sonrası bağlanma dayanımı değerleri	41
Tablo 4.3. Tamir materyallerinin irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti sonrası başarısızlık tipleri.....	44

1. GİRİŞ

Endodontik tedavinin amacı, enfekte veya nekrotik pulpa dokusunun ve mikroorganizmaların kök kanal sisteminden tamamen debride edilmesi, kök kanal boşluğunun sızdırmaz bir materyalle kapatılması ve böylece tekrarlayan enfeksiyonların önüne geçilmesidir.¹

İdeal klinik koşullar sağlandığında endodontik tedavinin başarısı yaklaşık olarak %86-98'e kadar ulaşabilmektedir.² Literatürde endodontik başarı kriterleri olarak herhangi bir fikir birliği sağlanamamış olsa da başarısızlık nedenleri arasında birçok faktör sayılabilir: mikroorganizmaların varlığı, nekrotik pulpa dokusu kalıntısı, periradiküler lezyon varlığı ve periodontal hastalık, kök kanalının yetersiz veya taşkın doldurulması, aksesuar kanallar, yetersiz koronal restorasyon, kök kırıkları, alet kırıkları gibi prosedürel hatalar ve perforasyonlar.^{3, 4}

Özellikle giriş kavitesinin açılması, kanal ağzlarının aranması, kanalların preparasyonu veya post boşluğunun hazırlanması sırasında kök perforasyonları meydana gelebilmektedir. Bu iyatrojenik faktörlere ek olarak çürük, travma ve kök rezorbsiyonu gibi durumlar da perforasyonlara sebep olabilmektedir.^{5, 6} Perforasyonun uygun şekilde onarılması ve hermetik olarak kapatılması kanal tedavisin prognozunu önemli ölçüde etkiler. Perforasyon onarımının prognozu; perforasyonun yerine, perforasyon onarımına kadar geçen süreye, perforasyonun genişliğine, perfore alanın kontaminasyonuna ve materyalin defekti kapatabilme yeteneğine bağlıdır.⁷

İdeal bir perforasyon tamir materyali; ağız ortamı ile periradiküler dokular arasında sıkı bir sızdırmazlık sağlamalı, biyouyumlu olmalı, toksik olmamalı ve osteogenezis ve sementogenezisi uyarabilmelidir. Ayrıca mekanik oklüzyon ve üzerindeki restoratif materyallerin kondenzasyonu esnasında maruz kaldığı yer değiştirme kuvvetlerine karşı da dayanıklı olmalıdır.^{8, 9}

Perforasyon tamiri için; amalgam, rezin kompozit, cam iyonmer siman, kalsiyum hidroksit, Süper EBA, IRM (immediat restoratif materyal) ve MTA (mineral trioksit agregat) dahil olmak üzere birçok dental materyal önerilmiş ve kullanılmıştır.^{10, 11}

MTA piyasaya sürülmeden önce kullanılan perforasyon tamir materyalleri, özellikle geniş ve kötü yerleşimli perforasyonlarda tedavinin prognozunu olumsuz etkilemekteydi. Bu durumun, perforasyon tamirinde kullanılan materyalin zayıf biyoyumuluğu ve yetersiz tıkaçlama yeteneğinden kaynaklandığı düşünülmekteydi.^{7, 12} Bu yüzden; MTA günümüzde, mükemmel biyoyumluluğu, üstün sızdırmazlık kapasitesi ve kan varlığında sertleşme yeteneği nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak MTA'nın uzun sertleşme süresi, klinik kullanım zorluğu ve renkleşme gibi olumsuz özellikleri sebebiyle son dönemlerde farklı materyal arayışına gidilmiştir.¹³ Bu kapsamda; biyoyumlu, sızdırmazlık yeteneği oldukça iyi, klinik kullanımı kolay, sertleşme süresi kısa ve renkleşme potansiyeli az olan NeoPutty ve Endocem MTA Premixed gibi yeni nesil biyoseramik esaslı materyaller piyasaya sürülmüştür.¹³⁻¹⁷

Perforasyon tamiri, irrigasyon solüsyonları ve dolum materyallerinin periodontal alana itilmesi ve bakteriyel kontaminasyonu engellemek amacıyla, en kısa sürede ve kök kanal tedavisi tamamlanmadan önce yapılmalıdır.¹⁸ Perforasyon tamir materyali yerleştirildikten sonra, kök kanal sistemini dezenfekte etmek ve dolum öncesi smear tabakasını kaldırmak için sodyum hipoklorit (NaOCl), etilen diamin tetra asetik asit (EDTA), klorheksidin glukonat (CHX) veya normal salin gibi çeşitli irrigasyon solüsyonları kullanılmaktadır.¹⁵ Bu durum, perforasyon tamirinden sonra irrigasyon solüsyonlarının tamir materyalleri ile kaçınılmaz temasına neden olarak materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkileyebilir ve dentine olan bağlanma dayanımının bozulmasına sebep olabilir.^{10, 15, 19, 20}

Literatürde farklı irrigasyon solüsyonlarının NeoPutty ve Endocem MTA Premixed gibi yeni nesil perforasyon tamir materyallerinin dentine olan bağlanma dayanımına etkileri hakkında sınırlı bilgi vardır.

Bu çalışmanın amacı; klinikte sıklıkla kullanılan irrigasyon solüsyonlarının, ProRoot MTA ve yeni nesil tamir materyalleri olan NeoPutty ve Endocem MTA Premixed'in push-out bağlanma dayanımına etkisini incelemektir. Çalışmanın sonuçlarının, diş hekimlerinin endodontik tedavide kullandıkları irrigasyon solüsyonları ile perforasyon tamir materyallerinin etkileşimlerinin dentine olan bağlanma dayanımlarına etkileri yönünden yol gösterici olması hedeflenmektedir. Çalışmamızın sıfır hipotezleri; ProRoot MTA, NeoPutty ve Endocem MTA Premixed'in dentine olan bağlanma dayanımları arasında herhangi bir farklılık olmayacağı ve normal salin, NaOCl ve EDTA solüsyonuna maruziyetin, tamir materyallerinin dentine olan bağlanma dayanımını etkilemeyeceğidir.

2. GENEL BİLGİLER

Endodontik tedavinin amacı, enfekte pulpa dokusunun uzaklaştırılarak pulpal ve periradiküler enfeksiyonların iyileştirilmesidir. Bu amaçla, kök kanalından tüm mikroorganizmalar elimine edilmeli ve kanal sızdırmaz bir materyalle kapatılarak sekonder enfeksiyonların önüne geçilmelidir.¹

Cerrahi olmayan endodontik tedavi, %86-98 arasında değişen yüksek başarı oranı ile güvenilir bir tedavi yöntemidir.^{21, 22} Tekrarlayan kök kanal tedavilerinin başarıları ise periapikal duruma göre değişiklik göstermekle birlikte; periapikal patoloji varsa başarı oranı %62-78 iken, periapikal patolojinin olmadığı durumlarda ise başarı oranı %94-98 arasında değişiklik gösterir.²³⁻²⁵

Bazı durumlarda tedavi prosedürlerine uyulmasına rağmen, çeşitli nedenlerden dolayı endodontik tedavide başarısızlıklar meydana gelebilmektedir.⁴

2.1. Endodontik Tedavide Başarısızlık Nedenleri

Endodontik başarısızlıkla ilgili ana faktör, kök kanal sistemindeki ve/veya periradiküler alandaki mikrobiyal içeriğin elimine edilememesidir.^{26, 27} Çünkü kök kanal sisteminde kolonize olan mikroorganizmalar, periradiküler lezyonların patogeneğinde önemli bir rol oynar. Dolayısıyla, kemomekanik preparasyon sırasında kök kanalında ulaşılamayan alanlar kalması veya kanal obtürasyonundan sonra gelişen koronal veya apikal sızıntı, hem kök kanalına yeni mikroorganizma girişine hem de mevcut mikroorganizmaların hayatta kalmaları için gerekli ortamın sağlanmasına bağlı tekrarlayan endodontik enfeksiyonlara neden olurlar.⁴

Kök kanal tedavisi sırasında gelişen prosedürel hatalar, eşlik eden mikrobiyal bir faktör olmadığı sürece endodontik tedavinin sonucunu tehlikeye atmaz. Ancak, bu hatalar genellikle ideal bir kanal temizliği ve kanal dolumunu güçleştirirler. Dolayısıyla, endodontik tedavinin başarısını olumsuz etkilerler.²⁸

Endodontik başarısızlıkta rol oynayan prosedürel hatalar:^{4, 26-28}

- ❖ Kanalın yetersiz veya taşkın doldurulması
- ❖ Anatomik düzensizlikler
- ❖ Gözden kaçan kanallar
- ❖ Alet kırıkları
- ❖ Basamak, zip ve transportasyon oluşumu
- ❖ Perforasyonlar

1) Kanalın yetersiz veya taşkın doldurulması

Kök kanallarının hermetik olarak kapatılması, kök kanal boyunun doğru hesaplanmasıyla gerçekleşir. Kanal dolumunun taşkın veya normalden kısa tamamlanması intraradiküler ve/veya ekstraradiküler enfeksiyona zemin hazırlar²⁹

2) Anatomik düzensizlikler

Yapılan çalışmalarda, kullanılan teknik ve aletlerden bağımsız olarak, kemomekanik preparasyon sırasında kök kanal boşluğunun bir kısmının genellikle dokunulmadan kaldığı gösterilmiştir.^{30, 31} Radyografik olarak tatmin edici bir kök kanal dolumu gibi görünse de, isthmus, aksesuar kanallar, apikal delta gibi temizlenmesi zor alanlar bakteri ve nekrotik doku artıklarını içerebilir.^{27, 30} Kanal eğelerinin yanı sıra irrigasyon solüsyonları da bu alanlarda barınan bakterilere ulaşamayabilir. Böylece, yeniden kolonize olmayı başaran bakteriler, tekrarlayan enfeksiyonlara neden olarak endodontik tedavinin başarısını olumsuz etkiler³⁰.

3) Gözden kaçan kanallar

Tüm kanalların tedavi edilememesi endodontik başarısızlığa yol açan sebeplerden biridir. Bu kanallarda hayatta kalan bakteriler, endodontik semptomların devam etmesine neden olur.¹

4) Alet kırıkları

Kanal aletleri, özellikle uygun bir giriş kavitesi açılmadığında ve döner alet kullanım prensiplerine uyulmadığında kanal içerisinde kırılma eğilimi gösterirler. Bunun

sonucu olarak da apikal bölgeye ulaşım güçleşebilir ve kök kanalı yeteri kadar dezenfekte edilemeyebilir. Yapılan çalışmaların çoğu, alet kırığının tedavi başarısını minimal düzeyde etkilediğini göstermiştir.³²⁻³⁴ Ancak, aletin hangi aşamada kırıldığı ve eşlik eden bir periradiküler patolojinin varlığı ya da yokluğu tedavinin prognozu açısından oldukça önemlidir.³⁵

5) Basamak, zip ve transportasyon oluşumu

Kök kanal tedavisinin preparasyonu sırasında giriş kavitesinin uygun bir şekilde açılmaması, irrigasyonun yetersiz yapılması, preparasyon işleminin kanalın eğimine göre yapılamaması ve apikalin debrisle tıkanması, basamak, zip ve transportasyon oluşumuna neden olabilir. Prosedürel olarak oluşan bu hatalar tedavi edilemediği sürece, olası bakteriyel kontaminasyonda prognozu olumsuz olarak etkileyebilir.³⁶

6) Perforasyonlar

Perforasyon, kök kanalı ile dişi çevreleyen periodontal dokular arasında meydana gelen yapay açıklıktır. Çürük ve travma sonucu patolojik kaynaklı olabildiği gibi, endodontik tedavi sırasında veya sonrasında iyatrojenik kaynaklı da meydana gelebilir.⁵ ⁶ Özellikle giriş kavitesinin açılması, kanal ağzlarının aranması, kanalların preparasyonu veya post boşluğunun hazırlanması sırasında kök perforasyonları meydana gelebilmektedir.³⁷

Kök kanalından ya da periodontal dokulardan kaynaklanan bakteriyel enfeksiyon, enflamatuvar bir süreci başlatabilir, apse oluşumuna ve kemik yıkımına yol açarak endodontik tedavinin başarısını olumsuz etkileyebilir.⁷

2.2. Kök Perforasyonları

Endodontik tedavide görülen başarısızlıkların yaklaşık %3 ile %10'unu perforasyonlar oluşturmaktadır.¹² Kök duvarlarındaki perforasyonlar sıklıkla iyatrojenik nedenler, rezorbsiyon veya çürük sebebiyle oluşur.¹⁸

İyatrojenik kaynaklı perforasyonlar;

İyatrojenik perforasyonların %53'ü post uygulanması, %47'si ise endodontik işlemler sırasında oluşmaktadır. Endodontik tedavi görmüş dişlerin ise yaklaşık %2-12'sinde iyatrojenik kök perforasyonları meydana gelmektedir.^{38, 39}

İyatrojenik perforasyonlar genellikle anatomik varyasyonların gözden kaçırılmasıyla ya da giriş kavitesi açılması veya kök kanal preparasyonu hazırlığı sırasında ortaya çıkar.⁴⁰

Rezorbsiyon kaynaklı perforasyonlar;

Dişte rezorbsiyon başladığında bu süreç, pulpayı içeren kök kanalı ve periodontal dokuların birbirleriyle olan etkileşimleriyle sonuçlanabilir. Bu etkileşim internal veya eksternal kaynaklı olabilir.⁴¹ Internal rezorbsiyon, pulpa boşluğundan kaynaklanan ve çevre dentin dokusunun kaybıyla sonuçlanan fizyolojik veya patolojik bir süreçtir. Internal rezorbsiyonun etiyolojisi tam olarak bilinmemekle birlikte travma, çürük, periodontal hastalıklar, ortodontik tedaviler, bruksizm veya kavite preparasyonu sırasında oluşan problemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.^{41, 42}

Internal rezorbsiyon ilerleyip kökte perforasyon oluşturursa, pulpa dokusu ağız sıvılarıyla temasa geçer ve pulpal enfeksiyon veya periodontal enfeksiyon gelişebilir ve dişin prognozu tehlikeye girer.⁴³

Eksternal rezorpsiyon; genellikle travma, ortodontik kuvvetler veya enfeksiyondan kaynaklanan, periodontal ligament ve sementin harabiyetiyle sonuçlanan patolojik bir süreçtir.⁴⁴ Eksternal kök rezorbsiyonları sonucu oluşan perforasyonlar, genellikle periodontal ligamentin hasarı ve osteoklastik aktiviteyi indükleyen inflamatuvar süreçle ilgilidir.¹⁸

Çürük kaynaklı perforasyonlar;

Çürük, pulpa odasının tabanı boyunca ilerleyerek furkasyon alanına ulaşabilir ve perforasyona sebep olabilir.⁴¹

2.2.1. Perforasyonların Teşhisi

İyatrojenik perforasyonlar sıklıkla kanamayla tespit edilirler. Koronal ve furkasyon perforasyonları daha kolay tespit edilirken, strip ve apikal perforasyonların tespiti daha zordur. Bu perforasyonlar sıklıkla kâğıt konlarla teşhis edilir. Ayrıca, perforasyondan şüphelenilen alanda apeks bulucuların erken yanıt vermesi de oldukça kullanışlı ve pratik bir yöntemdir.^{45, 46}

Tedavi edilmemiş bir perforasyon; perforasyon bölgesinde seröz eksüda varlığı, ilgili dişin perküsyona duyarlılığı veya diş etinin kronik iltihabı şeklinde bulgu verir. Ek olarak, yeterli bir endodontik tedaviye rağmen sinüs yolunun varlığı, cep oluşumu veya furkasyon tutulumu gibi lokalize problemlerin ortaya çıkması da iyatrojenik veya patolojik perforasyonun varlığını gösterebilir.^{47, 48}

Periapikal radyografi endodontik tanı, tedavi planı ve takip için sıklıkla kullanılan görüntüleme yöntemidir. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin endodontik prosedürlere dahil edilmesi, bu patolojik ve iyatrojenik durumların teşhisine ve prognozuna yardımcı olacak yeni parametreler sağlamaktadır.⁴⁹

2.2.2. Perforasyonların Sınıflandırılması

Fuss & Trope¹² tarafından önerilen aşağıdaki kök perforasyonları sınıflandırması, klinisyene bir tedavi stratejisi seçmede yardımcı olabilir:

Oluştuktan sonra perforasyon tamirine kadar geçen süreye göre;

- ✓ *Yeni oluşmuş perforasyonlar:* Aynı seansta meydana gelir ve tedavisi aseptik koşullarda yapılabilir.

✓ *Önceden var olan perforasyonlar:* Önceden oluşmuştur ve tedavi edilmediği için bakteriyel kontaminasyon riski fazladır.

Perforasyonun büyüklüğüne göre;

- ✓ *Küçük perforasyonlar:* Prognozu daha iyidir.
- ✓ *Büyük perforasyonlar:* Doku yıkımının fazla olduğu, enfeksiyon riski fazla ve tedavi edilmesi zor perforasyonlardır.

Perforasyonun olduğu yere göre;

- ✓ *Koronal perforasyon:* Dişin koronal kısmında, krestal kemik ve epitelyal ataşmana kadar olan kısmı içerir. Çapraşık dişlerde veya alt premolarlardaki linguale doğru daralan meziodistal çap nedeniyle oluşabilir.^{5, 50}
- ✓ *Krestal Perforasyon:* Krestal kemik ve epitelyal ataşman seviyesinde yer alır.
- ✓ *Apikal perforasyon:* Apikalden krestal kemik ve epitelyal ataşmana kadar olan kısmı içerir. Apikal perforasyonlar, kök kanalının anatomik apikal forameninin ilerisinde yapılan enstrümantasyonunun bir sonucu olarak da ortaya çıkabilir.⁵¹ Özellikle eğimli kanallarda kanal eğesinin düzleşme eğiliminden dolayı da meydana gelebilir. Basamak oluşumu sonrasında preparasyonun devam ettirilmesiyle zip perforasyonlar da oluşabilir.¹⁸

Destek dokularla olan ilişkisine göre;

- ✓ *Lateral perforasyonlar:* Strip perforasyon olarak da adlandırılan bu perforasyonlar, fazla miktarda yapılan enstrümantasyon sonucu eğimli kök kanallarının iç yüzeyindeki ince dentinin uzaklaştırılmasıyla kanal duvarında oluşan perforasyonlardır. Koronal veya apikal yerleşimli olabilirler. Kanal şekillendirilmesinde kullanılan aletler düzleşme eğiliminde olduklarından, eğimli bölgelerde strip perforasyonlara sebep olabilirler.¹⁸ Ayrıca, orta kök perforasyonları

pulpa taşının kaldırılması, kırık aletlerin bypass edilmesi, kök kanal yenilenmesi sırasında döner aletlerin yanlış yönlendirilmesinden kaynaklanabilir.^{52, 53}

✓ *Furkasyon perforasyonları:* Krestal kemikle kaplı perforasyonlardır. Giriş kavitesi hazırlığı esnasında, pulpa odasının tabanı ve tavanının birbirine yakın olduğu durumlarda ya da post preparasyonu sırasında frezin yanlış yönlendirilmesiyle meydana gelebilir. Ayrıca, travma veya yaşlanmaya bağlı olarak kanalın kalsifiye olduğu durumlarda kanal ağzı aranması sırasında da furkal perforasyonlar oluşabilir.⁵

Furkasyon bölgesi, sağlıklı bir periodonsiyum varlığında oral bakterilerden korunabilir. Ancak, furkasyon bölgesinde meydana gelebilecek bir perforasyon, enflamasyona neden olarak vital dokularda harabiyet oluşturabilir. Olası bir perforasyonun dişeti oluğu ya da epitelyal atışmana ulaşması durumunda, perforasyon tamir edilse bile bakteriler tarafından furkasyon bölgesindeki kemik enfekte olarak sürekli bir periodontal yıkım meydana getirebilir.⁵⁴

2.2.3. Perforasyonların Tedavisi

Perforasyon tamirinde tedavinin başarısı; perforasyon alanının erişilebilirliği ve görünürlüğü, perforasyonun boyutu, periodontal durum, dişin stratejik önemi, hastanın ağız hijyeni, kanal tedavisinin kalitesi, kullanılan tamir materyali ve klinisyenin deneyimine bağlıdır. Periodontal olarak şüpheli ve çok büyük perforasyona sahip olan dişler çekilebilir. Ayrıca, kötü ağız hijyeni olan hastalarda stratejik önemi çok az olan veya hiç olmayan dişler de çekim için endikedir.¹⁸

2.2.3.1. Cerrahi Olmayan Tedavi

Perforasyon tamirinde genellikle cerrahi olmayan tedaviler tercih edilir. İşlem sırasında oluşan perforasyonlarda, kanal girişleri geçici olarak kapatıldıktan sonra perforasyon tamirine başlanmalıdır.⁴⁷

Önceden var olan ve periodontal dokularla etkileşime geçmiş perforasyonlarda öncelikle enfekte alan dezenfekte edilmelidir. Eğer perforasyon bölgesinde hiperplastik granülasyon dokusu oluşmuşsa, küretle dikkatlice temizlenip kanama kontrol altına alındıktan sonra tamir edilmelidir. Kanama devam ediyorsa, perfore alan geçici bir dolgu materyali ile kapatılıp, kanama kontrol altına alındıktan sonra tedaviye devam edilmelidir.⁵⁵

Koronal perforasyonlar alveol kretinin üzerinde bulunurlar ve direk olarak oral kaviteyle ilişkidirler. Periodontal dokularla temas halinde olmadıkları için restoratif dolgu materyalleri ya da kron ile tamir edilebilirler.¹² Perfore alan kök kanal tedavisinin yapılmasına izin vermeyecek durumdaysa, öncelikli olarak perforasyon tedavi edilmelidir.

Kökün orta üçlüsündeki perforasyonlar genellikle strip perforasyonlardır ve perfore alan küçükse konservatif yaklaşımla tedavi edilebilir. Eğer büyükse ya kök kanal tedavisi tamamlandıktan sonra perfore alan kapatılmalı ya da perfore alan MTA gibi biyouyumlu bir materyalle kapatıldıktan sonra kök kanal tedavisi tamamlanmalıdır. Ancak, ikinci durumda tamir materyallerinin kanalı tıkamamasına dikkat edilmelidir.⁵⁶

Perforasyon alveol kretinin 1-2 mm altında ise, perfore diş ortodontik olarak ekstrüze edilir ve alveol kretinin üstüne çıkartılır. Böylece cerrahi müdahale olmaksızın dişin onarımına olanak sağlanır.⁵⁷

Apikal perforasyonlar ulaşılması güç ve tamir edilmesi zor olan perforasyonlardır. Apikal perforasyonlarda, kök kanalı yeterli miktarda prepare edilmeli ve perfore alan mümkünse aynı seansta biyouyumlu bir materyalle kapatılmalıdır.¹²

Furkasyon perforasyonları direk sulkusla bağlantılı oldukları için tedavi edilmeleri klinisyene güçlük yaratabilir. Bu tür perforasyonlarda, perfore alan tamir materyali ile sızdırmaz bir şekilde kapatılmalıdır.⁵⁸

Küçük furkasyon perforasyonları, hızlı sertleşen bir tamir materyali ile kapatıldığında prognozu iyidir. Ancak, büyük boyutlu perforasyonlarda, tamir materyalinin taşarak periodontal ligamente yayılma riski vardır.⁵⁹ Dolayısıyla hem kanamanın önlenmesi hem de tamir materyallerinin periodontal aralığa taşmasını engellemek amacıyla rezorbe olabilen, hemostatik kollajen bariyerler kullanılabilir.^{37, 54} Ancak günümüzde geliştirilen biyoseramik esaslı materyaller nemden etkilenmediği ve sement formasyonunu engellemediği için bariyer kullanılmadan da başarılı tedaviler yapılabilmektedir.⁴⁷

2.2.3.2. Cerrahi Tedavi

Perforasyonlarda cerrahi tedavi endikasyonları; büyük perforasyonlar, ulaşılması güç alanlar, rezorbsiyon sonucu oluşan perforasyonlar, perfore dişte geniş çapta intrakoronal veya ekstrakoronal restorasyon varlığı ve cerrahi olmayan tedavi sonucu oluşan başarısızlık olarak sıralanabilir.⁶⁰

Furkasyon perforasyonlarında özellikle mandibular molarların lingualinde ya da maksiller molarların trifurkasyonunda yer alan perforasyonlara erişim zordur. Bu durumlarda biküspidizasyon, hemiseksiyon veya kök amputasyonu tercih edilebilir.¹⁸ Hangi tedavi seçeneğini uygulayacağımız; krestal kemiğin seviyesine ve bunun perfore alanla olan ilişkisine, furkasyon bölgesindeki kökün eğimine ve kök uzunluğuna bağlıdır. Krestal kemik seviyesi yeterli ise ve kabul edilebilir bir kök desteği varsa hemiseksiyon veya biküspidizasyon yapılabilir. Kökteki harabiyetin fazla olduğu dişlerde ise kök amputasyonu endikedir.⁶¹

Furkasyon perforasyonlarında uygulanan cerrahi tedaviler cep oluşumuna sebep olabileceğinden, bu tür perforasyonlarda genellikle cerrahi olmayan tedaviler önerilmektedir.⁶²

Cerrahi olmayan tedaviyle ulaşılamayan ya da cerrahi olarak da tedavi edilemeyen internal veya eksternal rezorbsiyon kaynaklı perforasyonlar kasıtlı replantasyonla tedavi edilebilir.^{18, 63}

Apikal perforasyonlarda ise, eğer kök kanal enstrümantasyonu ve kök kanallarının doldurulması zorlaşırsa kabul edilebilir bir kron-kök oranı kalması şartıyla apikoektomi yapılması önerilmiştir.⁶⁴

2.2.4. Perforasyon Tamirinin Prognozu

Perforasyon tamirinin prognozu; perforasyonun yeri, perforasyon onarımına kadar geçen süre, perforasyonun boyutu, perfore alanın kontaminasyonu ve kullanılan tamir materyali ile ilişkilidir.⁷

2.2.4.1. Perforasyonun Yeri

Dişeti sulkusundan uzakta ve sağlıklı periodonsiyumla çevrili perforasyonların ve krestal kemiğin apikalinde kalan perforasyonların prognozu daha iyidir. Ancak apikal bölgeye ulaşmak ve tamir materyallerini yerleştirmek daha zordur. Koronal bölgedeki perforasyonlarda ise, ilgili alana ulaşmak ve tamirin yapılması daha kolaydır.⁷

Furkasyon bölgesini içeren koronal üçlüdeki perforasyonların gingival sulkusa yakınlığı nedeniyle prognozu kötüdür. Furkasyon perforasyonları başarılı bir şekilde tedavi edilemezse, periodontal dokulardan kaynaklanan sızıntı nedeniyle dişin prognozu olumsuz etkilenebilir.¹⁸

2.2.4.2. Perforasyonun Tamir Edilmesine Kadar Geçen Süre

Perforasyon tamiri mümkün olduğunca en kısa sürede tamamlanmalıdır. Aradan geçen süre, özellikle furkasyon perforasyonlarının sulkus ile bağlantılı olması nedeniyle periradiküler dokularda kronik enflamasyona ve ataşman kaybına sebep olabilir. Ayrıca bu durum, kanama ve kontaminasyon riskinin de artmasına yol açabilir.⁶⁵

Perforasyon, kök kanal tedavisi tamamlanmadan önce oluşmuşsa, öncelikle perforasyon alanı kapatılmalıdır. Aksi halde kök kanal tedavisi sırasında kullanılan materyallerin ve enfekte kanal içeriğinin perforasyon aracılığıyla periodonsiyuma ulaşması kaçınılmaz olur.³⁹

2.2.4.3. Perforasyonun Boyutu

Doku yıkımının daha az olduğu küçük boyutlu perforasyonların prognozu, büyük boyutlu perforasyonlara göre daha iyidir. Çünkü, küçük perforasyonlarda periodontal yıkım olasılığı azalmakta ve uygun bir materyalle tamir etmek kolaylaşmaktadır.⁶⁰

Perforasyon alanı büyüdükçe hem izolasyonu sağlamak zorlaşır hem de bakteriyel kontaminasyon riski artar.⁷

2.2.4.4. Perforasyon alanının kontaminasyonu

Özellikle oral kaviteye açılan ve koronal bölgedeki perforasyonlarda bakteriyel kontaminasyon riski daha fazladır ve prognoz kötü etkilenir.^{7, 37, 41}

2.2.4.5. Kullanılan Tamir Materyali

Perforasyon tamirinde en önemli unsurlardan biri kullanılan materyalin özelliğidir. İdeal bir tamir materyali; defekti hermetik olarak kapatabilmeli, bakteriyel sızıntıyı engelleyebilmeli ve okluzal yüklere karşı dayanıklı olmalıdır.⁶⁶ Ayrıca, osteogenezis ve sementogenezisi indükleyebilen, biyouyumlu ve non-toksik bir materyal olmalıdır.⁹

2.2.4.5.1. İdeal Bir Perforasyon Tamir Materyalinin Özellikleri

İdeal bir tamir materyali aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır:^{8, 9}

- ✓ Boyutsal olarak stabil olmalı,
- ✓ Dentine yeteri kadar bağlanabilmeli,
- ✓ Oral doku ve periradiküler dokular arasında akışkanlık göstermemeli,
- ✓ Zamanla rezorbe olmamalı,
- ✓ Osteogenezisi ve sementogenezisi uyarmalı,
- ✓ Biyouyumlu olmalı,
- ✓ Sertleşme süresi hızlı olmalı,
- ✓ Yeterli çalışma zamanı olmalı,
- ✓ Renklenmeye neden olmamalı,
- ✓ Radyopak olmalı,
- ✓ Antibakteriyel olmalı,
- ✓ Okluzal yükler altına dayanıklı olmalı,
- ✓ Toksik olmamalı,
- ✓ Manipülasyonu kolay olmalıdır.

Ancak, ideal tamir materyalinin bütün özelliklerini karşılayan bir materyal bulunamamıştır.^{18, 22, 67}

2.2.4.5.2. Perforasyon Tamirinde Kullanılan Materyaller

Perforasyon tamiri için günümüze kadar çok çeşitli tamir materyalleri kullanılmıştır. Bunlar:^{10, 11}

- Amalgam
- Paris alçısı
- Çinko oksit ojenol

- Süper EBA
- IRM
- Gutta perka
- Cavit
- Cam iyonomer siman
- Kompozit rezin
- Dekalsifiye dondurulmuş kurutulmuş kemik
- Kalsiyum fosfat siman
- Trikalsiyum fosfat siman
- Hidroksiapatit
- Kalsiyum hidroksit
- CEM
- MTA
- Biodentine
- BioAggregate

MTA piyasaya sürülene kadar perforasyon tamirinde kullanılan amalgam, çinko oksit ojenol, paris alçısı, cavit ve cam iyonomer siman gibi pek çok materyal ile ilgili yapılan çalışmalarda; perforasyon bölgesinde tam olarak iyileşmenin görülmediği bildirilmiştir.¹⁰⁻¹² Biyoseramik esaslı materyallerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, perforasyon tedavilerinin başarısı oldukça yükselmiştir.⁶⁸

2.3. Biyoseramik Esaslı Materyaller

Biyomateryaller, " canlı dokularla temas halinde işlevlerini yerine getiren implante edilebilir malzemeler"⁶⁹ olarak tanımlanmaktadır. Biyomateryal ve doku mühendisliği bilimi, hasar görmüş dokuları değiştirmek için insan vücuduna implante edilebilen malzemeler geliştirmeyi amaçlamıştır.⁶⁹

Biyoseramikler, biyomateriyallerin bir alt grubudur ve biyoinert ve biyoaktif seramikler olarak sınıflandırılırlar. Zirkonyum oksit ve alüminyum oksit gibi biyoinert seramikler daha çok tıpta protetik implant amacıyla kullanılırken, kalsiyum fosfat ve cam seramikler gibi biyoaktif seramikler ise biyolojik tip apatit oluşturan fizyolojik sıvılarla reaksiyona girerek, canlı hücrelerin varlığında yeni kemik oluşumunu sağlarlar.⁷⁰

Endodonti alanında da kullanılmaya başlanan biyoseramik-biyoaktif materyaller doku rejenerasyonunu ve tamirini destekleyen, osteokondüktif özellik gösteren, diş dokusuyla kimyasal olarak bağlanan, üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip biyoyumlu tamir materyalleridir.⁷¹

Biyoseramik esaslı materyaller endodontide genel olarak; kalsiyum silikatlar, deneysel kalsiyum-alümina silikatlar, kalsiyum fosfat içerikli biyoseramikler ve kalsiyum silikat ile kalsiyum fosfat karışımı olarak sınıflandırılırlar (Tablo 2.1).⁷²⁻⁷⁶

Biyoseramiklerin biyolojik etkinlikleri; alkali pH'sı ($pH > 12$), yüksek kalsiyum (Ca) iyonlarının salınımı ve hidroksiapatit oluşumu ile ilişkilidir.^{77, 78} Ca ve hidroksil (OH) iyonlarının çökmesi sonucu oluşan hidroksiapatit tabakası, materyal ve dentin arasında kimyasal bağlantıyı sağlar. Ayrıca, oluşan bu hidroksiapatit tabakası sementoblast tutulumuna, gelişimine, mineralize matriks geni üretimine ve osteokalsin salınımına öncülük eder.⁷⁹ Yüksek pH antimikrobiyal etkinliğin sağlanmasında etkilidir.⁷⁷ Oluşan bu alkali ortamın; *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus* ve *Fusobacterium nucleatum*'a karşı antimikrobiyal etkili olduğu gösterilmiştir.^{80, 81}

Tablo 2.1. Biyoseramik esaslı materyallerin sınıflandırılması

Kalsiyum silikat esaslı materyaller	• Portland simanı • ProRoot MTA • White ProRoot MTA • MTA-Angelus • NeoMTA Plus • MTA Plus • Protooth™ • Endocem MTA • EndocemMTA Premixed • Retro MTA • Ortho MTA • Biodentine • Endo CPM Sealer • MTA Fillapex • BioRoot RCS
Deneysel kalsiyum-alümina silikatlar	• EndoBinder • NeoPutty • Generex A • Capasio • Quick-Set
Kalsiyum fosfat içerikli biyoseramikler	▪ Bioglass
Kalsiyum silikat ile kalsiyum fosfat karışımı	▪ EndoBinder ▪ Generex A

Kalsiyum silikat esaslı materyaller, osteoblastların proliferasyonunda ve kemik mineralizasyonunda rol alarak hem kemik hem de sement oluşumunu uyarır.⁸² Kalsiyum hidroksitin (CaOH) dokudaki karbon dioksitle tepkimeye girerek kalsiyum karbonatı oluşturması da, MTA'nın sert doku oluşumunu stimüle ettiğini ve formasyon mekanizmasını desteklediğini göstermektedir.^{83, 84}

Biyoseramik materyallerin yüksek hidrofilik ve düşük yüzey gerilimi özelliğinden dolayı dentine olan adaptasyonu ve sızdırmazlık kabiliyeti oldukça iyidir.^{70, 85} Biyoseramik esaslı materyaller endodontide; direkt kuafaj, apeksogenezis,

apeksifikasyon ve rejeneratif tedavi prosedürlerinde kullanıldığı gibi, perforasyon tamir materyali, retrograd dolgu ve kök kanal dolgu materyali olarak da kullanılmaktadır.⁷¹

2.4.Çalışmamızda Kullanılan Biyoseramik Esaslı Perforasyon Tamir Materyalleri

2.4.1. ProRoot MTA

MTA, kök ucu dolgu materyali olarak endodontik uygulamalarda kullanılmak üzere, Torabinejad tarafından tanıtılan ilk biyoseramik esaslı tamir materyalidir.^{70, 86} İlk olarak ProRoot MTA (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Johnson City, TN, ABD) adıyla piyasaya sürülen bu kalsiyum silikat esaslı materyal, nem varlığında sertleşen ince hidrofilik partiküller içeren gri renkli bir tozdan meydana gelmektedir. MTA'nın bileşenleri; trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum sülfat, kalsiyum karbonat, ve kalsiyum alüminattır.^{87, 88} Ayrıca eser miktarda silisyum oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit, potasyum sülfat ve sodyum sülfat içerir ve ilk araştırmaların çoğu bu formülasyon üzerinde yapılmıştır.⁸⁹

ProRoot MTA'nın gri renkli formülasyonunun renk değiştirmesi potansiyeli sebebiyle 2002 yılında beyaz versiyonu geliştirilmiştir.⁹⁰ Her iki formülasyonda da %75 Portland çimentosu, %20 bizmut oksit ve %5 alçı taşı bulunur.^{91, 92} Araştırmalar; WMTA'da GMTA'dan daha düşük miktarlarda demir, alüminyum ve magnezyum bulunduğunu göstermiştir.⁹³⁻⁹⁵ GMTA temel olarak dikalsiyum silikat, trikalsiyum silikat ve bizmut oksitten oluşurken, WMTA esas olarak trikalsiyum silikat ve bizmut oksitten oluşur.⁹⁴

ProRoot MTA tozu su ile karıştırıldığında, hidroksil iyonları serbest kalarak pH'ı etkiler ve başlangıçta 10.2 olan pH'ı 3 saat sonra 12.5'e yükseltir.⁸² Başlangıçta CaOH ve kalsiyum-silikat-hidrat oluşur ve sonunda zayıf kristalize ve poröz katı bir jele dönüşür.⁹⁶ Kalsiyum çökeltisinin oluşumu nedeniyle kalsiyum silikat oranı düşer. Çöken

Ca, hidrasyon reaksiyonundan sonra MTA'nın yüksek alkalinitesinin nedeni olan CaOH'i üretir.⁸⁷ CaOH, Ca iyonlarını serbest bırakır. Ca iyonları, MTA'nın biyouyumlu ve biyoaktif olma özelliğinden sorumludur.⁹⁷

MTA'nın Ca iyon salınımının etkisinin incelendiği çalışmalarda; CaOH ve diğer hidrasyon ürünlerinin çözünmesi nedeniyle yüzeysel porözitenin arttığı ve sadece yüzeyel Ca iyon konsantrasyonu azalırken, azalan Ca iyonlarının silisyum ve alüminyum iyonları ile yer değiştirdiği, bundan dolayı da MTA materyalinin “kendi kendini tamir” yeteneğinin bulunduğu bildirilmiştir.^{98, 99}

MTA'ya radyopaklaştırıcı ajan olarak bizmut oksit eklenmiştir. Ancak bizmut oksitin MTA'nın hidrasyonundan sonra CaOH çökmesini etkilediği rapor edilmiştir. Bizmut oksit asidik ortamda çözündüğü için, MTA'nın inflamatuvar dokular gibi asidik bir ortama yerleştirilmesinin bizmut oksit salınımına neden olabileceği öne sürülmüştür.⁹⁶ Bizmut oksitin salınması, doku kültüründe hücre çoğalmasını teşvik etmediğinden MTA'nın biyouyumluluğunu azaltabileceği öne sürülmektedir.¹⁰⁰ Bunun yanı sıra bizmut oksitin renkleşmeye sebep olabileceği de bildirilmiştir.¹⁰¹

ProRoot MTA, toz-sıvı oranı 3:1 oranında olacak şekilde, su ile karıştırılarak hazırlanır. Ortalama sertleşme süresi 165±5 dakikadır ve bu süre amalgam, Süper EBA ve IRM'nin sertleşme süresinden daha uzundur.¹⁰²

MTA, içerisindeki hidrofilik partiküllerin ortamdaki suyu abzorbe etmesiyle sertleşir.^{103, 104} Dolayısıyla MTA'nın sertleşmesi için nemli bir ortam gereklidir.¹⁰⁵ Torabinejad ve ark.¹⁰⁶ MTA'nın perforasyon tamiri, pulpa kaplaması veya apikal tıkaç gibi tedavilerde kullanıldığında, sertleşmesi amacıyla üzerine nemli bir pamuk yerleştirilmesini tavsiye etmiştir. Literatüre bakıldığında, ilk 24 saat boyunca MTA üzerine nemli bir pamuk peletin yerleştirilmesinin, eğilme mukavemetini arttırdığı, 72 saat sonra eğilme mukavemetinin azalttığı bildirilmiştir. Mevcut verilere dayanarak,

MTA'nın tedavi edilecek bölgeye yerleştirildikten sonra yeterli nem varlığında eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve bağlanma dayanımı gibi optimal fiziksel özellikleri kazandığı bilinmektedir.⁷³

ProRoot MTA, birçok avantajının yanı sıra;

- uzun sertleşme süresi,
- klinik kullanım zorluğu,
- renkleşme potansiyeli,
- maliyetinin yüksek oluşu,
- sökülmesinin zor olması,
- dentine olan kimyasal bağlantısının zor olması,
- MTA' nın kullanımından sonra nemli pamuk yerleştirilmesi gerekliliği
- ikinci seansa ihtiyaç duyulması

gibi klinisyene güçlük yaratabilecek olumsuz özelliklere de sahiptir.^{13, 107}

2.4.2. NeoPutty

Geleneksel trikalsiyum silikat bazlı hidrolik siman tozlarının su ile karıştırılması sırasında meydana gelebilecek heterojen kıvamın üstesinden gelmek için önceden karıştırılmış (premixed) trikalsiyum silikat bazlı simanlar geliştirilmiştir.^{108, 109} Premixed hidrolik materyaller; endodontik sızdırmazlık için direk pulpa temasını gerektiren durumlarda daha düşük viskoziteli bir macun olarak kullanılırken, diğer endodontik restoratif prosedürler için daha yüksek viskoziteli putty kıvamında kullanılmaktadırlar. Putty versiyonu genellikle açıldıktan sonra kısa bir raf ömrüne sahiptir. Bunun nedeninin, kapatılmış folyo poşetten çıkarıldıktan sonra atmosferik nem ile reaksiyona girmesi ve üzerindeki ambalajının nem geçirgenliği veya organik taşıyıcının buharlaşması olduğu

tahmin edilmektedir.¹¹⁰ NeoPutty (NuSmile, Houston, TX, USA), üretici firma tarafından bu sorunun üstesinden geldiği düşünülen yeni nesil biyoseramik bir materyaldir.¹¹¹

NeoPutty, su içermeyen organik likit içinde trikalsiyum ve dikalsiyum silikat içeren, önceden karıştırılmış biyoseramik pulpa ve kök tamir materyalidir.¹¹² Trikalsiyum ve dikalsiyum silikatların yanı sıra kalsiyum alüminat da içerir. Ancak, kalsiyum alüminatın miktarı ve türü (örn. mono-, di- veya trikalsiyum alüminat) üretici firma tarafından açıklanmamıştır.¹¹¹

NeoPutty, vital pulpa tedavileri, apeksifikasyon, kök rezorbsiyonu, retrograd kök dolgusu ve perforasyon tamir materyali olarak kullanılmaktadır.¹¹⁰

Manüpülasyonu oldukça kolay olan bu materyalin biyoaktivitesi yüksektir ve rezin içermez. NeoPutty, yüzeyden hidroksiapatit oluşumunu teşvik eden Ca ve OH iyonları salar. Uygulandığında yüksek pH'a sahiptir ve bu alkali özelliği, in vitro ortamda antibakteriyel etkinliğinden sorumludur.¹¹³

Toz ve jel olarak üretilen bir materyal olan NeoMTA 2'de sertleşme, karıştırıldığı anda başlar ve in vivo devam eder. Bunun aksine, NeoPutty yalnızca in vivo veya nem varlığında sertleşir. Sertleşme, apikal dokulardan, dentin tübüllerinden veya pulpadan gelen nem varlığında başlar.¹¹¹ Üretici firmalar tarafından NeoPutty ve ProRoot MTA'nın sertleşme süreleri sırasıyla ortalama 4 ve 3 saat olarak bildirilmiştir.¹¹⁴ Yapılan bir çalışmada; ProRoot MTA'nın sertleşme süresinin, NeoPutty'den anlamlı derecede daha düşük olduğu; NeoPutty için ilk ve final sertleşme sürelerinin 232 ± 1 ve 484.2 ± 0.72 dk, ProRoot MTA için 74.9 ± 8.85 ve 228 ± 2.16 dk olduğu bildirilmiştir.¹¹⁵

NeoPutty'nin fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; NeoPutty'nin radyoopasitesinin ProRoot MTA'dan daha fazla, çözünürlüğünün ProRoot MTA ile benzer (ISO standartlarına göre %3'den daha az) ve Ca iyon salınımının ProRoot MTA'dan daha fazla olduğu bildirilmiştir.¹¹⁵ Ayrıca, her iki

tamir materyalinin de pH'larının zamanla düşme eğilimi gösterdiği ve periodontal ligament fibroblast hücrelerine karşı non-sitotoksik oldukları da rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra, NeoPutty'nin tamir bölgesine yerleştirildiğinde hemen yıkanmaya karşı dirençli olduğu ve sertleştikten sonra suda düşük çözünürlüğe (<%3) sahip olduğu belirtilmiştir.¹¹⁵

NeoPutty, NeoMTA 2'den yaklaşık %25 daha yüksek radyopasiteye sahiptir. Ayrıca, radyopaklaştırıcı ajan olarak tantal oksit içerdiğinden, dişte renk değişikliğine neden olması beklenmez.¹¹¹

2.4.3. Endocem MTA Premixed

Endocem (Maruchi, Gangwon-do, Güney Kore), küçük partiküllü puzolan çimentosu içeren 'MTA türevi puzolan'¹¹⁶ olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak puzolan simanı, puzolan veya puzolanik çimento olarak tanımlanan bir hidrolik tri/dikalsiyum silikat materyalidir. Puzolonik çimentonun tarihi, antik Roma'ya dayanmaktadır ve Puzolan çimentosu, Portland çimentosundan önce geliştirilmiştir. Günümüzde Portland çimentosuna silika eklendiğinde puzolanik Portland çimentosu terimi de kullanılabilmektedir.^{74, 116}

Puzolan çimentosu, silika ve kalsiyum oksidin su ile reaksiyonuyla meydana gelir. Portland çimentosuna eklenen silika, mukavemeti artırmak için sertleşme sırasında kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girebilir.⁷⁴ Endocem MTA da, puzolanın kalsiyum hidroksit ile kimyasal reaksiyonu sonucunda sertleşir. Bu sertleşme reaksiyonu, puzolanik reaksiyon olarak adlandırılır.¹¹⁷

Puzolanik reaksiyon sırasında, serbest kalsiyum hidroksit miktarında kademeli bir azalma meydana gelerek materyalin dayanımını arttıran kalsiyum-silikat-hidrat ve kalsiyum-alüminat-hidratın kararlı kristalleri oluşur.¹¹⁸

Son zamanlarda piyasaya sürülen Endocem MTA Premixed (Maruchi, Wonju, Kore), mevcut Endocem MTA'nın macun tipi olarak; vital pulpa tedavileri, kök ucu dolgusu ve perforasyon tamir materyali olarak üretilmiştir. Endocem MTA Premixed; kalsiyum silikat, kalsiyum alüminat ve kalsiyum sülfattan oluşmaktadır. Ayrıca biyouyumluluğu arttırmak amacıyla içerisine dimetil sülfoksit (DMSO) eklenmiştir. ISO 6876'ya uygun, önceden karıştırılmış ve kök kanalı çevresindeki nemi emerek sertleşen kök kanal dolgu ve tamir malzemesidir. Radyopaklaştırıcı ajan olarak zirkonyum oksit içerir.¹¹⁹

Endocem MTA, içerdiği küçük tanecikli puzolan çimentosu sayesinde, yüzey temasının artırılması suretiyle kimyasal bir hızlandırıcı ilave edilmeden, daha kısa sürede sertleşme yeteneğine sahiptir.¹²⁰ Endocem MTA'nın sertleşmesi, ProRoot MTA'dan daha hızlı olup; ilk ve final sertleşme süreleri sırasıyla 2 dk±30 sn ve 4 dk±30 sn'dir.¹¹⁶

2.5. Tamir Materyallerinin Dentine Olan Bağlanma Dayanımı

Perforasyon tamirinin başarısında, kullanılan tamir materyalinin dentine olan adezyonu önemli bir yer tutar. İdeal bir tamir materyali diş dokusuyla sıkı bir adezyon sağlayarak periradiküler dokularda meydana gelebilecek mikrosızıntıyı minimuma indirmelidir.¹²¹ Ayrıca mekanik oklüzyon ve üzerindeki restoratif materyallerin kondenzasyonu esnasında maruz kalabileceği yer değiştirme kuvvetlerine karşı da dayanıklı olmalıdır.^{8, 9} Bu özellikler materyalin dentine olan bağlanma dayanımı ile ilişkili olup, bağlanma dayanımı tamir materyallerinin etkinliğinin belirlenmesinde kullanılan önemli bir değerlendirme ölçütüdür.^{122, 123}

2.5.1. Bağlanma Dayanımını Etkileyen Faktörler

Tamir materyallerinin kimyasal bileşimi ya da ortama bağlı faktörler, materyallerin bağlanma dayanımını etkileyebilir.^{82, 124, 125}

Partikül boyutu

Partikül boyutu, bir materyalin fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkileyerek materyallerin penetrasyon derinliğini belirler.¹²⁶ Homojen ve daha küçük partikül boyutuna sahip simanlarda, dentin tübüllerine olan penetrasyon daha iyi olacağından, materyalin sızdırmazlığının ve dentine olan bağlanma dayanımının daha yüksek olması beklenir.¹²⁷

Radyopaklaştırıcı ajan içeriği

Radyopaklaştırıcı ajan içeriği, sertleşme reaksiyonları ve mekanik özelliklere etki ederek dentine olan bağlanma dayanımını etkileyebilir.¹²³

Materyalin hazırlanma şekli

Toz ve likit kıvamında olan materyallerde, üretici firmalar karıştırma oranlarını belirtmeler dahi, klinisyenin toz/sıvı oranlarında meydana getirebileceği küçük değişiklikler bile materyalin sertleşme süresini, çözünürlüğünü, pH ve kalsiyum iyon salınımını etkileyebilir.¹²⁸ Toz oranı yüksek olduğunda bağlanma dayanımı olumlu etkilenebilirken¹²⁸, su oranının yüksek olması ise materyalin kendi içindeki bağlantıyı etkileyerek bağlanma dayanımını azaltabilir.¹²⁹

Kanla kontaminasyon

Kalsiyum silikat esaslı tamir materyalleri hidrofilik olduklarından, sertleşme reaksiyonları sırasında sıvıya maruz kaldıklarında yapılarında meydana gelen ekspansiyon, marjinal adaptasyona ve sızdırmazlık kabiliyetine olumlu katkıda bulunur. Ancak, kanla kontaminasyon materyallerin hidrasyon sürecini etkileyerek ya da kanda bulunan farklı proteinler sayesinde dentin tübüllerini tıkayarak materyal ve dentin arasındaki bağlanmayı engelleyebilir.¹³⁰⁻¹³²

Ortamın pH'sı

Ortamın asidik olması, tamir materyallerinin fiziksel özelliklerini etkileyerek, hidrasyon reaksiyonları üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir.¹³³ Düşük pH, MTA dentin ara yüzünde hidroksiapatit kristallerinin ve hibrit tabakanın oluşumunu zorlaştırdığı için bağlanma dayanımını düşürebilir.¹²⁵

Alkali ortamda ise, kimyasal büzülmede meydana gelen artış kalsiyum silikat esaslı materyallerin fiziksel özelliklerini etkilediğinden, bağlanma dayanımlarında da azalma meydana getirebilir.^{134, 135} Yapılan bir çalışmada ise bağlanma dayanımının en yüksek olduğu pH'ın nötr olduğu bildirilmiştir.¹²²

Ortamdaki nem varlığı

Nemli koşullarda kalsiyum silikat esaslı materyallerin bağlanma dayanımı, kuru ortamla kıyaslandığında olumlu etkilenir ancak, aşırı nem varlığı materyal içinde poroziteler oluşmasına ve materyalin çözünmesine neden olabilir. Bu durumda da bağlanma dayanımı olumsuz etkilenebilir.¹³⁶

İrrigasyon solüsyonlarına maruziyet

Kök kanalları tek başına mekanik preparasyonla etkili bir şekilde temizlenemez. Bu nedenle mekanik preparasyona ek olarak kimyasal debridman yapmak, kök kanallarında ve dentin tübüllerinde bulunan mikroorganizmaların elimine edilmesinde oldukça etkilidir.¹³⁷

Endodontide kimyasal debridman, çeşitli irrigasyon solüsyonlarıyla yapılmaktadır.¹³⁸ NaOCl, organik dokuyu çözücü etkinlik göstermesi, antimikrobiyal etkinliğinin yüksek olması, nekrotik ve vital pulpa dokusunu ve biyofilmleri hızlı bir şekilde çözebilmesi, antiseptik olması ve dentin duvarlarına kolayca diffüze olabilmesi gibi özelliklerinden dolayı endodontide en çok kullanılan ve ideale en yakın irrigasyon solüsyonudur.¹³⁹

NaOCl preparatları, geniş spektrumlu antimikrobiyal etkilerinin yanı sıra, sporisidal ve virüsidedir.¹⁴⁰ Özellikle başarısız sayılan kök kanal tedavilerinde ve inatçı apikal periodontitiste sıklıkla izole edilen *Enterococcus faecalis* ve *Candida albicans* gibi mikroorganizmaların kanaldan elimine edilmesinde diğer irrigasyon solüsyonlarına göre daha etkilidir.¹⁴¹

NaOCl, inorganik debris çözümediğinden, enstrümantasyon sırasında oluşan smear tabakasını kaldırmada tek başına etkili değildir.¹⁴² Bu yüzden inorganik debris uzaklaştıran EDTA veya sitrik asit gibi şelasyon ajanları ile kullanımı önerilmektedir.¹⁴³

EDTA, endodontik tedavide smear tabasını kaldırmak ve mekanik preparasyonu engelleyen kalsifiye kanallarda dentini yumuşatarak kök kanal tedavisini kolaylaştırmak amacıyla kullanılan en etkili şelasyon ajanı olarak kabul edilir.^{144, 145} EDTA'nın antiseptik kapasitesi nispeten sınırlı olmasına rağmen, kök kanal duvarlarına yapışan biyofilmleri de uzaklaştırabilir.¹⁴⁶ Yapılan çalışmalarda; EDTA'nın smear tabakasını uzaklaştırıp, NaOCl'nin dentin kanallarında daha derine nüfuz etmesini sağlamak suretiyle antimikrobiyal etkisini arttırdığı bildirilmiştir.¹⁴⁷

Kök kanal tedavisinde tavsiye edilen tedavi protokülüne göre, kök kanalları sürekli olarak NaOCl ile irrigate edilmelidir ve kök kanal şekillendirmesi tamamlandıktan sonra inorganik debris kaldırmak amacıyla EDTA kullanılmalıdır. Ancak, EDTA'nın kök kanallarında uzun süre kullanımı önerilmez. Çünkü, dentine uzun süre maruz kalan EDTA, dentinin yüzey sertliğini azaltabilir ve kök kanal enstrümantasyonu sırasında perforasyonlara sebep olabilir.¹⁴⁸ EDTA'nın farklı sürelerde uygulanmasının smear tabakasını kaldırmadaki etkinliğinin incelendiği bir çalışmada; EDTA'nın 3 ve 5 dk uygulanmasının, 1dk uygulamaya kıyasla apikal üçlüdeki smearı kaldırmada daha etkili olduğu bildirilmiştir.¹⁴⁹ Yapılan başka bir çalışmada; EDTA ile 5 dk boyunca yapılan irrigasyondan sonra 2 dk mekanik olarak lentülo ile aktivasyon yapmanın, apikal üçlüdeki

smear tabakasının neredeyse tamamını kaldırdığı rapor edilmiştir.¹⁵⁰ EDTA'nın uygulama sürelerinin, dentin erozyonuna etkisini inceleyen bir çalışmada; solüsyonun 10 dk uygulanmasının, peritübüler ve intertübüler dentinde erozyona sebep olduğunu ve 1 dakikadan fazla kullanılmaması gerektiği bildirilmiştir.¹⁴⁸ Başka bir çalışmada ise EDTA'nın tek başına 1dk ve 3 dk uygulanmasının dentin erozyonuna sebep olmadığı rapor edilmiştir.¹⁵¹ Öte yandan, yapılan diğer çalışmalarda EDTA'nın demineralize edici etkisinin 5 dakika içinde ortaya çıkabileceği bildirilmiştir.^{152, 153}

NaOCl'nin EDTA ile olan etkileşimi NaOCl'nin bakteri yok etme ve nekrotik doku çözme etkinliğini azaltır. Bu yüzden, her iki solüsyon birbirine karıştırılmadan, hatta iki solüsyon arasında distile su veya normal salin kullanılarak tedaviye devam edilmelidir.¹⁵⁴

Perforasyon tamirinden sonra kök kanallarını dezenfekte etmek amacıyla kullanılan NaOCl, EDTA ve normal salin gibi irrigasyon solüsyonlarının perforasyon tamir materyalleriyle olan teması, tamir materyalinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirebilir ve dentine olan bağlanma dayanımını olumsuz etkileyebilir.¹⁵⁵

2.5.2. Bağlanma Dayanımının Ölçülmesi

Bağlanma dayanımı, materyal ve dentin arasındaki bağlantıyı koparmak için gerekli olan birim alana düşen kuvvettir.¹⁵⁶

Bağlanma dayanımının ölçülmesinde, uygulanan kuvvetin yönüne göre 3 farklı test yöntemi kullanılır.¹⁵⁷

2.5.2.1. Makaslama (shear) Testi

Makaslama testinde, uygulanan kuvvet materyal ile dentin arayüzüne paralel uygulanmalıdır. Ancak, uygulanan yükün ara yüzden belirli bir mesafede olması gerekir. Kuvvet yüklü uç ile bağlanma yüzeyi doğru hizalanmadığında, örnek üzerinde

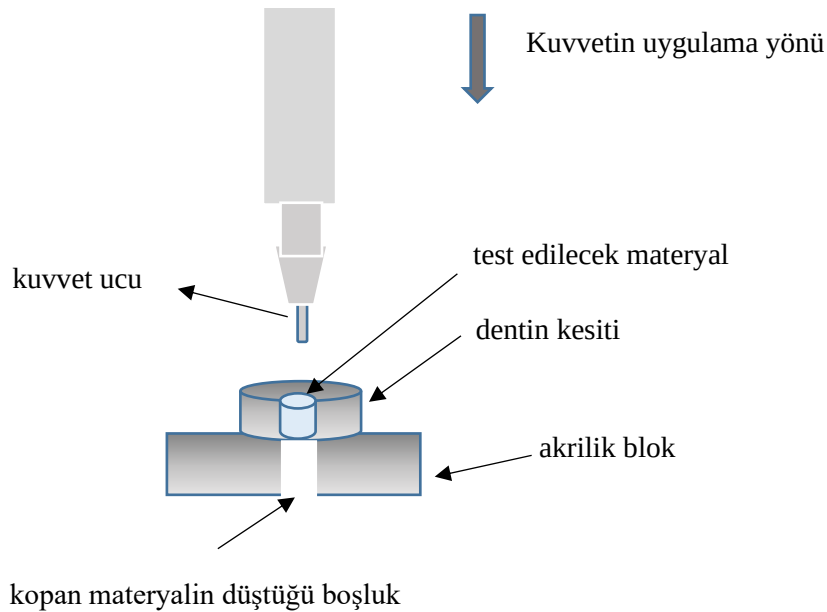
beklenmedik tork yüklemeleri ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla yöntemin doğruluğu sorgulanmaktadır.¹⁵⁸

2.5.2.2. Gerilim (tensile) Testi

Gerilim testinde, makaslama testinin aksine kullanılacak dentin örneği ile materyal aynı düzleme getirilmelidir. Oldukça hassas bir test olan gerilim testinde, yük uygulaması sırasında oluşan stres dağılımındaki küçük değişiklikler sonuçlar üzerinde önemli farklılıklar yaratabilir.¹⁵⁹

2.5.2.3. İtme (push-out) Testi

Push-out bağlanma dayanımı test düzeneğinde kuvvet uygulayacak olan uç, materyalin tam ortasına doğru paralel bir şekilde yönlendirilir. Materyalin dentinden ayrıldığı andaki kuvvet ölçümü yapılarak bağlanma dayanımı test edilir (Şekil 2.1).¹⁵⁸



Şekil 2.1. Push-out bağlanma dayanımı test düzeneği

Push-out bağlanma dayanımı testinin en önemli avantajı, yük uygulanması sırasındaki küçük stres değişikliklerine daha az hassas olması ve bağlanma dayanımı düşük olsa bile kullanılan materyallerin değerlendirilmesine izin vermesidir.¹⁶⁰

2.6. Materyal ile Dentin Arasındaki Bağlantı Başarısızlıkları

Materyalin kendi içinde veya dentin ile arasında olan bağlantı başarısızlık tipleri; adeziv, koheziv ve mix olmak üzere 3'e ayrılır:

- ❖ Adeziv başarısızlık, materyal ile dentin ara yüzünde meydana gelen kopma tipidir.
- ❖ Koheziv başarısızlık, materyalin kendi içinde olan kopmasıdır.
- ❖ Mix başarısızlık, hem materyalin kendi içinde hem de materyal ile dentin arasında meydana gelen kopma tipidir.¹⁶¹

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından, 2021/87 karar numarası ile bilimsel ve etik yönden uygun bulunmuş olup, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma için test edilecek örneklem sayısı belirlenirken, Rebollosa ve ark'nın¹⁷⁸ yaptığı çalışmadaki gruplar arası bağlanma dayanımı verileri baz alınarak power analizi yapıldı. %95 güç ölçeğinde ve 0.05 anlamlılık seviyesinde, her bir grup için 12 olmak üzere toplamda en az 144 örneğin gerekliliği hesaplandı.

3.1. Örneklerin Seçilmesi

Çalışmamızda; apikal gelişimini tamamlamış, çürük, ortodontik ya da periodontal nedenlerle çekilmiş 60 adet insan üst santral dişi kullanıldı. Dental operasyon mikroskobu altında incelenen dişlerden; kırık, çatlak ve kök rezorpsiyonu olmayan, herhangi bir restoratif işlem görmemiş ve Vertucci sınıflamasına göre tip 1 kök kanal morfolojisine sahip olan dişler seçildi. Dişler periodontal küretle temizlendikten sonra sert ve yumuşak dokuları gidermek amacıyla 10 dakika %5.25 NaOCl çözeltisinde bekletildi. Daha sonra dişler kullanılana kadar 9°C'de distile suda bekletildi.

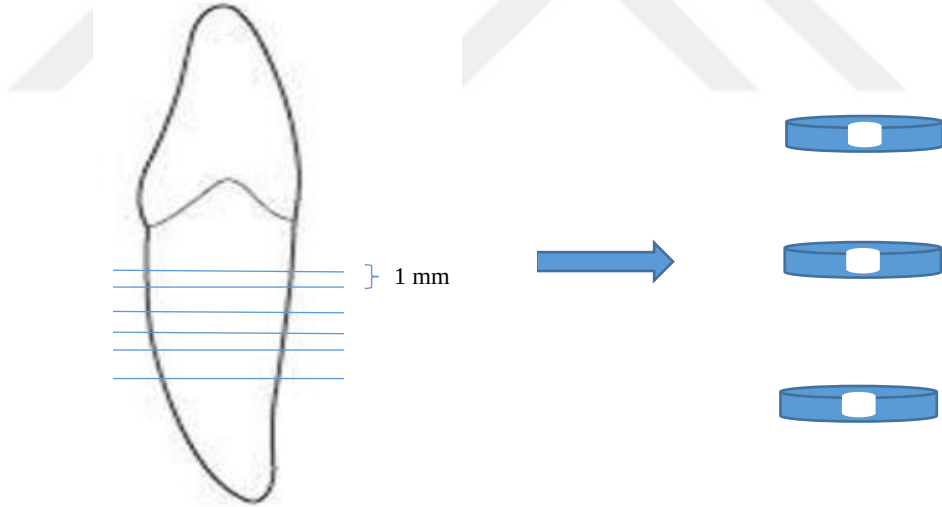
3.2. Örneklerin Hazırlanması

Tüm dişlerin koronal kısımları su soğutması altında elmes frezle, mine sement sınırının 2 mm koronalinden kesilip kalan diş bölümü, kökün orta ve apikal üçlüsü açıkta kalacak şekilde 1 cm³'lük akrilik bloklara sabitlendi (Şekil 3.1).

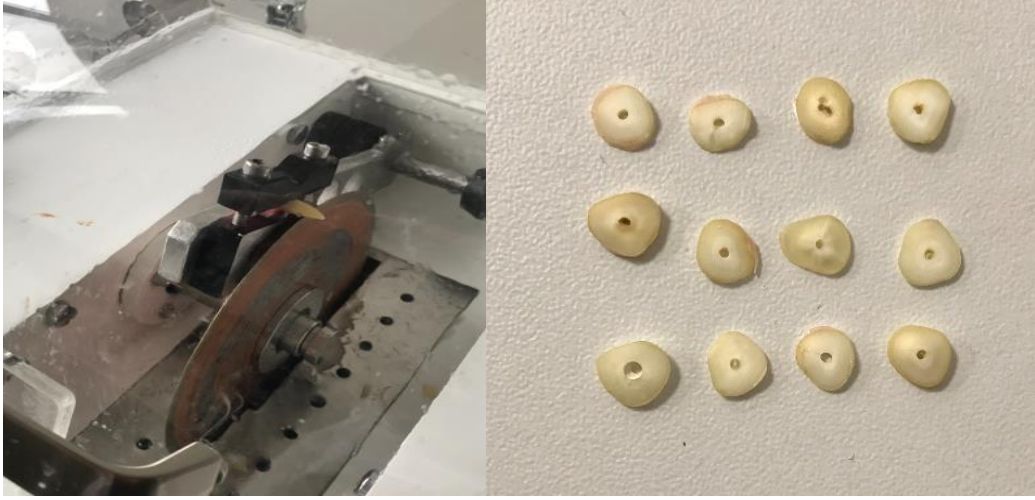


Şekil 3.1. Akrilik bloklara sabitlenen dişler

Daha sonra, su soğutması altında microtome cihazı (Metkon 19-125 microtome) kullanılarak her bir dişin orta üçlüsünden 1 ± 0.1 mm kalınlıkta ve 3'er adet olmak üzere toplamda 180 kesit elde edildi (Şekil 3.2) (Şekil 3.3).



Şekil 2.2. Horizontal diş kesitlerinin şematik görünümü



Şekil 3.3. Microtome cihazıyla horizontal kesitlerin elde edilmesi

Kesitlerin kalınlıkları bir dijital kumpas yardımıyla doğrulandı (Şekil 3.4). Kalınlıkları 1 ± 0.1 mm dışında olan dentin kesitleri çalışma dışı bırakıldı.



Şekil 3.4. Dentin kesitlerinin dijital kumpasla ölçülmesi

Daha sonra elde edilen kesitlerin kök kanal boşluğu 1.4 mm silindirik elmas frez yardımıyla standardize edildikten sonra 5 dk %2.5 NaOCl çözeltisinde bekletilip distile suyla yıkandı ve takibinde paper point ile kurulandı. Elde edilen 180 kesit, her bir tamir materyali için 60 örnek olacak şekilde rastgele 3 gruba ayrıldı:

Grup 1: ProRoot MTA (n =60)

Grup 2: NeoPutty (n = 60)

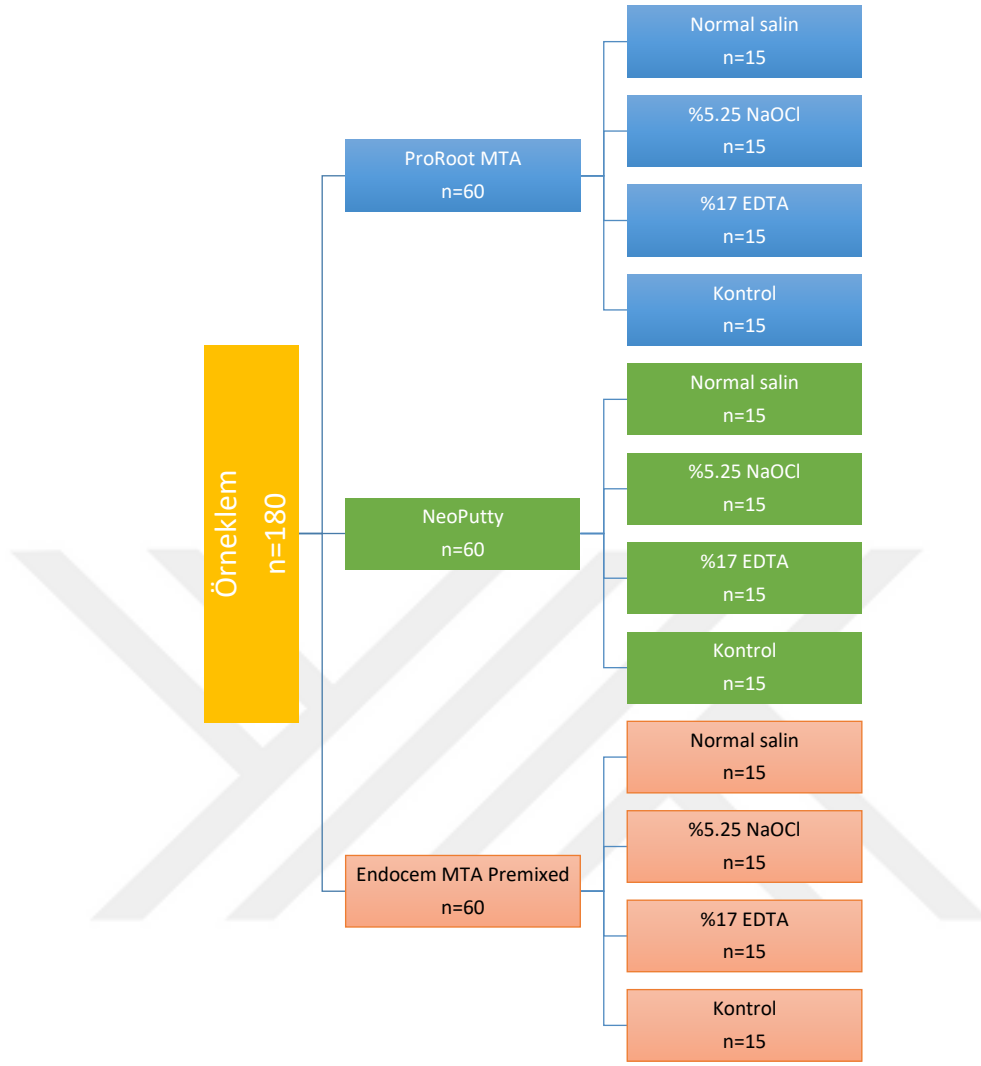
Grup 3: Endocem MTA Premixed (n = 60) (Şekil 3.5)



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan perforasyon tamir materyalleri

ProRoot MTA grubundaki örnekler, üretici firmanın talimatları doğrultusunda toz/likit oranı 3:1 olacak şekilde cam üzerinde, metal bir spatül yardımıyla karıştırıldı ve kanal lümenine yerleştirildikten sonra endodontik plugger ile kondanse edildi. NeoPutty ve Endocem MTA Premixed ise kendi aplikatörleri yardımıyla kanal lümenine yerleştirildi ve endodontik plugger ile kondanse edildi. Örneklerdeki taşkın olan materyal bistüri yardımıyla uzaklaştırıldı. Her bir örneğin üzeri nemli bir gazlı bezle örtüldü ve 37°C’ de %100 nemli ortamda 10 dakika bekletildi.

Oluşturulan grupların her biri maruz kalacakları solüsyonlara göre; kontrol, normal salin, NaOCl ve EDTA olmak üzere 4 alt gruba (n=15) ayrıldı (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Çalışma grupların şematik gösterimi

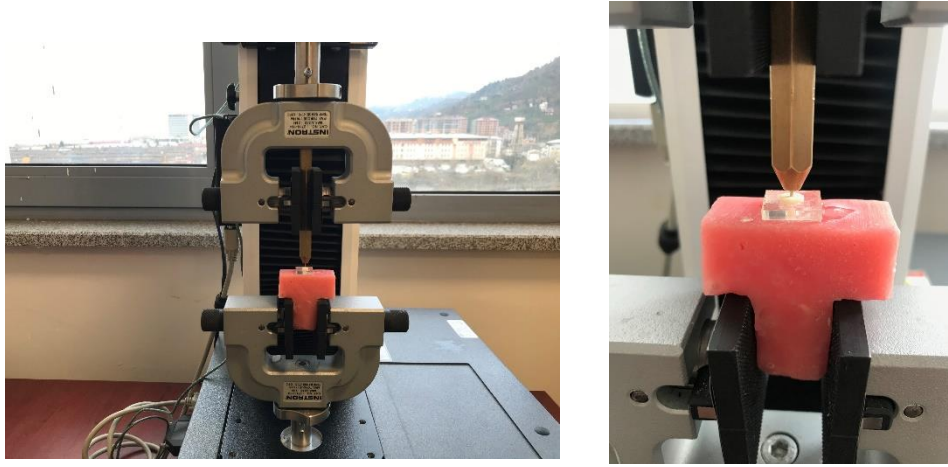
Örnekler normal salin ve %5.25 NaOCl solüsyonlarında 30 dakika ve %17 EDTA solüsyonunda ise 5 dk bekletildi (Şekil 3.7). Normal salin ve NaOCl gruplarında, solüsyonun tazeliğinin korunması ve etkinliğinin artırılması için her 5 dk'da bir solüsyon yenilendi. Daha sonra her bir örnek distile suyla yıkanıp etüve yerleştirildi ve 37°C'de %100 nemli ortamda 48 saat bekletildi. Kontrol grubundaki örnekler herhangi bir solüsyona maruz bırakılmayıp sadece nemli bir gazlı bezle kapatılarak etüve yerleştirildi ve 37°C'de %100 nemli ortamda 48 saat bekletildi.



Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan irrigasyon solüsyonları

3.3. Push-out Test Düzeneği ile Bağlanma Dayanımının Ölçülmesi

Hazırlanan dentin kesitleri, ortası delinmiş olan rezin bloklara sabitlendi ve push-out testi uygulanmak üzere universal test cihazına (Instron Universal test machine; Elista, İstanbul, Turkey) yerleştirildi. 1.4 mm çapındaki kanal lümenine yerleştirilen materyalin test edilmesi için, 1.2 mm çapında paslanmaz çelik silindirik uç kullanıldı. Bu silindirik uç, sadece tamir materyalinin merkezine gelecek şekilde ve çevre dentin kesiti üzerinde hiçbir baskı oluşturmayacak şekilde konumlandırıldı. Daha sonra, her bir örneğe apiko-koronal yönde, 1 mm/dk. hızla bağlantı başarısız olana kadar kuvvet uygulandı ve kopma anındaki kuvvet Newton olarak kaydedildi (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Universal test cihazıyla push-out bağlanma dayanımının ölçülmesi

Bağlanma dayanımı;

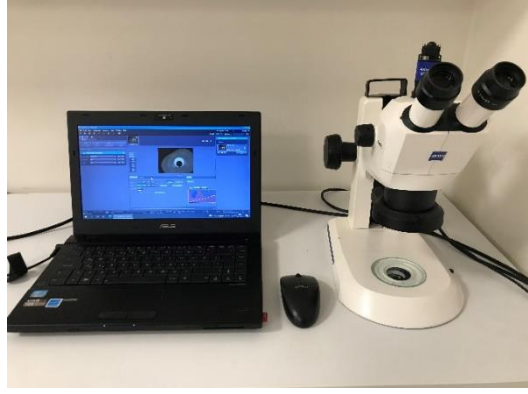
$$\text{Bağlanma Dayanımı (MPa)} = \frac{\text{Bağlantının Başarısız Olması İçin Gereken Kuvvet (N)}}{\text{Bağlantının Gerçekleştiği Alan (mm}^2\text{)}}$$

formülüne göre hesaplandı (Bağlantının Gerçekleştiği Alan = $2 \cdot p \cdot r \cdot h$ (h: dentin kesitin kalınlığı; r: dentin kesitinin kanalının yarıçapı; p: sabit 3.14).

Bağlanma dayanımının ölçülmesi sırasında kırılan dentin kesitleri çalışma dışı bırakıldı. Bunların yerine kullanılmak üzere, mevcut dişlerden yeni dentin kesitleri hazırlandı ve deney protokolü tekrarlandı.

3.4. Stereomikroskop Analizi

Bağlanma dayanımı testi sonrasında dentin ve materyal arasındaki başarısızlık tipini belirlemek için her bir örnek stereomikroskop (Zeiss Stemi 305, US) altında 40X büyütme ile incelendi (Resim 3.9) ve her bir materyal grubundaki adeziv, koheziv ve mix başarısızlık dağılımı belirlendi.



Şekil 3.9. Stereomikroskop

3.5. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz, SPSS 22.0 istatistik paket programı kullanılarak yapıldı. Tamir materyallerinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile belirlendi. Tamir materyallerinin bağlanma dayanımı incelenirken, normal dağılım koşulu sağlanmadığından Kruskal Wallis-H testi uygulandı. Kruskal Wallis-H testinde anlamlı farklılıkların görülmesi durumunda Post hoc karşılaştırmalar ise Bonferroni ile test edildi. İrrigasyon solüsyonlarına maruziyet sonrası tamir materyallerinin bağlanma dayanımı incelenirken, normal dağılım koşulu sağlandığından ANOVA testi uygulandı. İstatistiksel anlamlılık seviyesi $p < 0.05$ olarak kabul edildi.

4. BULGULAR

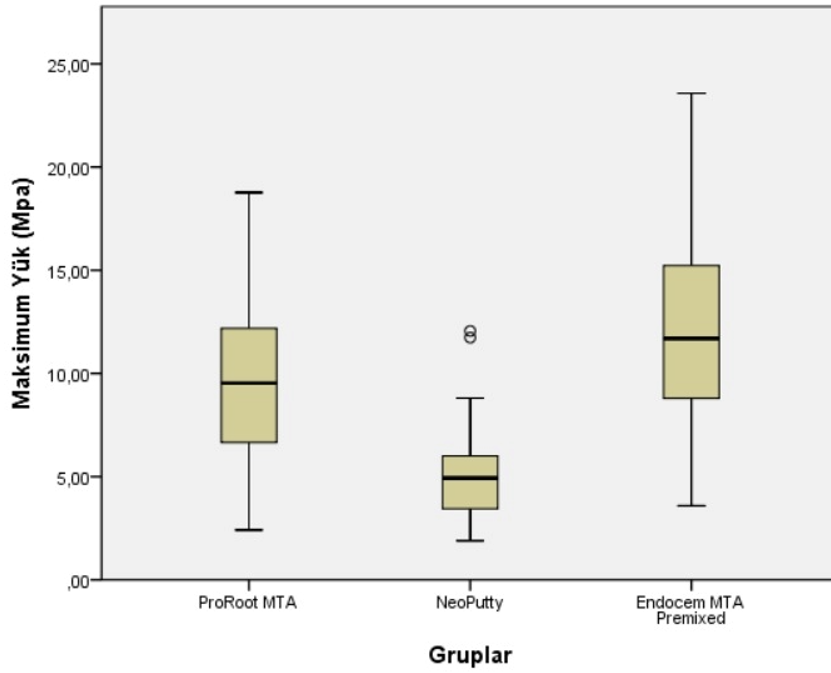
4.1. Push-out Bağlanma Dayanımı Testi Bulguları

Uygulanan irrigasyon solüsyonlarından bağımsız olarak, gruplara ait bağlanma dayanımı değerlerinin ortalama ve standart sapmaları Tablo 4.1 ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Aralarında anlamlı bir fark bulunmamakla birlikte, Endocem MTA Premixed’in bağlanma dayanımı değerleri (11.69 MPa), ProRoot MTA’dan (9.53MPa) daha yüksekti ($p>0.05$). NeoPutty’nin bağlanma dayanımı değerleri (4.94 MPa) ise diğer gruplara kıyasla anlamlı derecede daha düşüktü ($p<0.001$).

Tablo 4.1. Tamir materyallerine ait bağlanma dayanımı değerleri

Bağlanma Dayanımı (MPa)					
Grup	n	Ortanca	Min	Maks	SS
ProRoot MTA	60	9.53 ^a	2.42	18.77	3.59
NeoPutty	60	4.94 ^b	1.89	12.06	2.09
Endocem MTA Premixed	60	11.69 ^a	3.59	23.58	4.33

Farklı harflerle gösterilen üst karakterler, gruplar arasında anlamlı farklılık olduğunu belirtir ($p<0.05$).
SS: Standart sapma



Şekil 4.1. Tamir materyallerine ait bağlanma dayanımı değerlerinin dağılımı

ProRoot MTA, NeoPutty ve Endocem MTA Premixed gruplarının farklı irrigasyon solüsyonuna maruziyetleri sonrasındaki bağlanma dayanımı değerleri Tablo 4.2’de verilmiş olup Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

ProRoot MTA grubunda; normal salin solüsyonuna maruziyet sonrası bağlanma dayanımı değerleri (7.29 MPa), kontrol grubuna (10.95 MPa) kıyasla anlamlı derecede düşüktü ($p=0.016$). NaOCl ve EDTA solüsyonuna maruziyet ise ProRoot MTA’nın bağlanma dayanımı değerlerini etkilemedi ($p>0.05$).

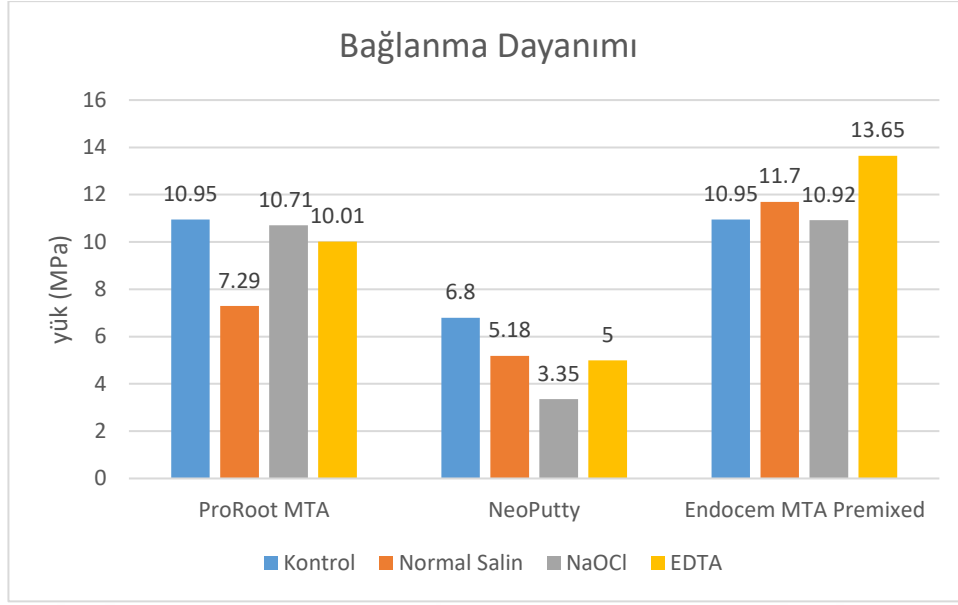
Endocem MTA Premixed grubunda; farklı irrigasyon solüsyonlarına maruziyet sonrası bağlanma dayanımı değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamakla birlikte ($p=0.272$), EDTA solüsyonuna maruziyet sonrası tamir materyallerinin bağlanma dayanımı değerlerinin (13.65 MPa) kontrol grubuna (10.95 MPa) kıyasla bir miktar arttığı görüldü.

NeoPutty grubunda ise; NaOCl solüsyonuna maruziyet sonrası bağlanma dayanımı değerleri (3.35 MPa), kontrol grubuna (6.80 MPa) kıyasla anlamlı derecede daha düşüktü ($p<0.05$). Normal salin ve EDTA solüsyonlarına maruziyet ise NeoPutty'nin bağlanma dayanımı değerleri açısından anlamlı bir farklılık oluşturmadi ($p>0.05$).

Tablo 4.2. Tamir materyallerinin irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti sonrası bağlanma dayanımı değerleri

Ana Grup	Alt Grup	n	Ortalama (MPa) ± SS	p
ProRoot MTA	Kontrol	15	10.95 ± 2.95 ^a	0.016
	Normal salin	15	7.29 ± 2.84 ^b	
	NaOCl	15	10.71 ± 3.96 ^a	
	EDTA	15	10.01 ± 3.58 ^a	
NeoPutty	Kontrol	15	6.80 ± 2.54 ^a	<0.001
	Normal salin	15	5.18 ± 1.47 ^a	
	NaOCl	15	3.35 ± 0.93 ^b	
	EDTA	15	5.00 ± 1.62 ^a	
Endocem MTA Premixed	Kontrol	15	10.95 ± 3.96 ^a	0.272
	Normal salin	15	11.70 ± 5.41 ^a	
	NaOCl	15	10.92 ± 3.59 ^a	
	EDTA	15	13.65 ± 3.98 ^a	

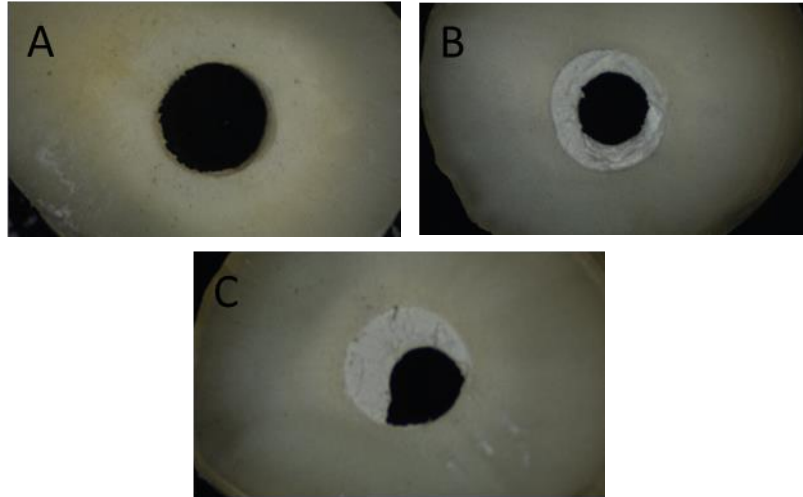
Farklı harflerle gösterilen üst karakterler, gruplar arasında anlamlı farklılık olduğunu belirtir ($p<0.05$).
SS: Standart sapma



Şekil 4.2 Tamir materyallerinin farklı irrigasyon solüsyonlarına maruziyetleri sonrası bağlanma dayanımı değerlerinin dağılımı

4.2. Stereomikroskop Analizi Bulguları

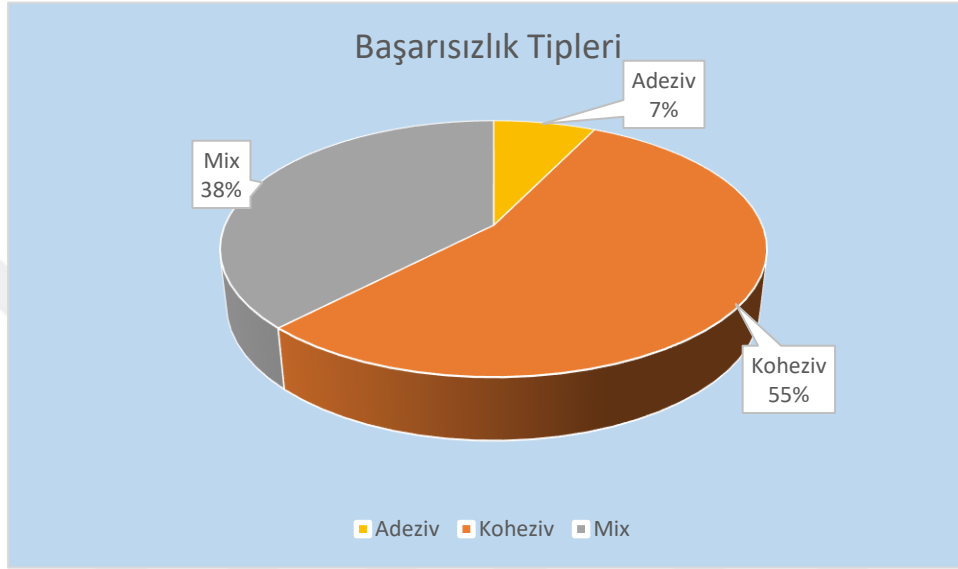
Push-out bağlanma dayanımı testi sonucunda tamir materyalleri ile dentin arasında gözlenen başarısızlık tiplerinin stereomikroskop görüntüleri Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Başarısızlık tiplerine ait stereomikroskop görüntüleri

(A: Adeziv başarısızlık B: Koheziv başarısızlık C: Mix başarısızlık)

Materyal tipi ve irrigasyon solüsyonlarından bağımsız olarak, tüm örneklerin %55'inde koheziv başarısızlık ve %38'inde mix başarısızlık görülürken, %7 sinde ise adeziv başarısızlık görüldü (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Başarısızlık tiplerinin genel olarak dağılımı

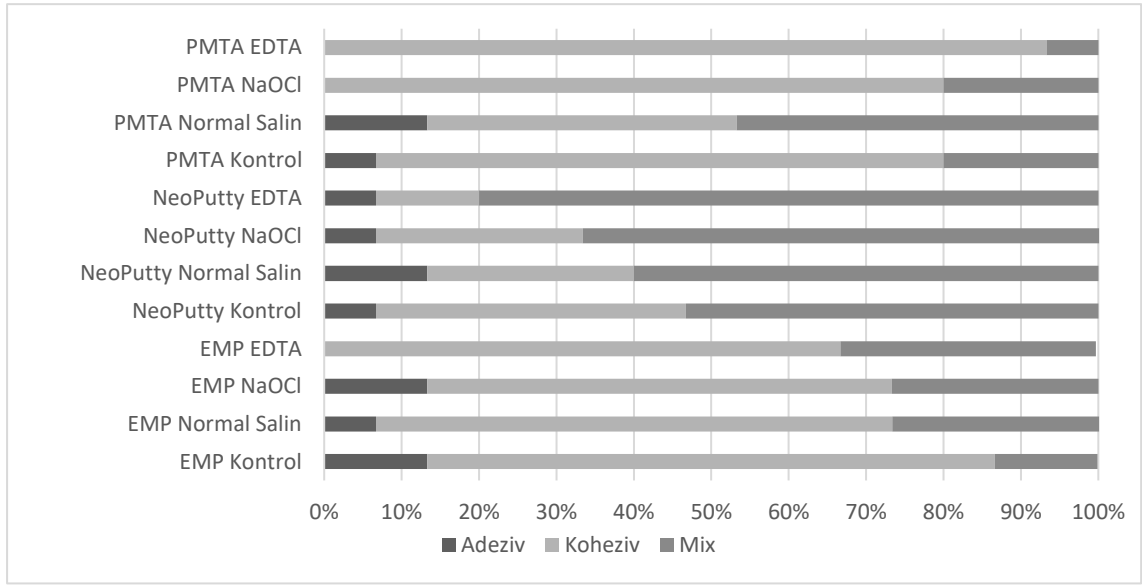
Kullanılan perforasyon tamir materyallerinin farklı irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti sonrası başarısızlık tiplerinin dağılımı Tablo 4.3 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir. ProRoot MTA grubunda toplamda %71.7 (n=43) oranında koheziv başarısızlık görülürken, %23.3 (n=14) mix başarısızlık ve %5 (n=3) adeziv başarısızlık tespit edildi. Kontrol, NaOCl ve EDTA grubunda ağırlıklı olarak koheziv başarısızlık görülürken, normal salin grubunda koheziv ve mix başarısızlık benzer oranda görüldü. Ayrıca, NaOCl ve EDTA grubunda adeziv başarısızlık görülmedi.

Endocem MTA Premixed grubunda ise toplamda %66.7 (n=40) koheziv başarısızlık görülürken, %25 (n=15) mix başarısızlık ve %8.3 (n=5) adeziv başarısızlık tespit edildi. Her bir solüsyon grubunda ise koheziv başarısızlık baskındı. Ayrıca, EDTA grubunda adeziv başarısızlık görülmedi.

NeoPutty grubunda toplamda %65 (n=39) oranında mix başarısızlık görülürken; %26.7 (n=16) koheziv ve %8.3 (n=5) oranında adeziv başarısızlık gözlemlendi. Tüm solüsyon gruplarında ağırlıklı olarak mix başarısızlık görüldü.

Tablo 4.3. Tamir materyallerinin irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti sonrası başarısızlık tipleri

Ana Grup	Alt Grup	Adeziv(n,%)	Koheziv(n,%)	Mix(n,%)	Toplam(n)
ProRoot MTA	Kontrol	1 (6.7)	11 (73.3)	3 (20.0)	15
	Normal salin	2 (13.3)	6 (40.0)	7 (46.7)	15
	NaOCl	-	12 (80.0)	3 (20.0)	15
	EDTA	-	14 (93.3)	1 (6.7)	15
	Toplam	3 (5.0)	43 (71.7)	14 (23.3)	60
NeoPutty	Kontrol	1 (6.7)	6 (40.0)	8 (53.3)	15
	Normal salin	2 (13.3)	4 (26.7)	9 (60.0)	15
	NaOCl	1 (6.7)	4 (26.7)	10 (66.7)	15
	EDTA	1 (6.7)	2 (13.3)	12 (80.0)	15
	Toplam	5 (8.3)	16 (26.7)	39 (65.0)	60
EndocemMTA Premixed	Kontrol	2 (13.3)	11 (73.3)	2 (13.3)	15
	Normal salin	1 (6.7)	10 (66.7)	4 (26.7)	15
	NaOCl	2 (13.3)	9 (60.0)	4 (26.7)	15
	EDTA	-	10 (66.7)	5 (33.3)	15
	Toplam	5 (8.3)	40 (66.7)	15 (25.0)	60



Şekil 4.5. Tamir materyallerinin farklı irrigasyon solüsyonlarına göre başarısızlık tiplerinin dağılımı. PMTA: ProRoot MTA, EMP: Endocem MTA Premixed

5. TARTIŞMA

Furkasyon perforasyonları, özellikle iyatrojenik olarak giriş kavitesi hazırlığı esnasında ya da kanal ağzı aranması sırasında ortaya çıkar. Bu perforasyonlar, enfekte kanal artıkları ve dolum materyallerinin periodontal alana itilmesi ve bakteriyel kontaminasyonu engellemek amacıyla, en kısa sürede ve kök kanal tedavisi tamamlanmadan önce tamir edilmelidir.¹⁸

Perforasyon tamiri için günümüze kadar çok çeşitli materyaller kullanılmıştır. ProRoot MTA, perforasyon tamirinde sıklıkla tercih edilen biyouyumlu, sızdırmazlık özelliği iyi, antibakteriyel etkili ve osteogenezis ve sementogenezisi indükleyen bir materyaldir. Ancak, ProRoot MTA'nın sertleşme süresinin uzun olması, manüpülasyonunun zor olması ve diş yapısında renk bozulmasına sebep olması gibi özelliklerinden dolayı yeni materyal arayışı devam etmektedir.¹³ NeoPutty ve Endocem MTA Premixed, geliştirilen yeni nesil biyoseramik esaslı tamir materyalleri arasında yer almaktadır.¹¹²

Kanal tedavisinin erken aşamalarında yerleştirilen tamir materyalleri, devamında kök kanallarını mikroorganizmalardan elimine etmek, debrisı uzaklaştırmak, lubrikasyon sağlamak ve smear tabakasını kaldırmak amacıyla kullanılan çeşitli irrigasyon solüsyonlarına maruz kalırlar.^{10, 15} Yapılan çalışmalarda; klinikte yaygın olarak kullanılmakta olan NaOCl, EDTA, CHX veya normal salin gibi solüsyonların materyalin kimyasal özelliklerini ve dentine olan bağlanma dayanımını etkileyebileceği bildirilmiştir.^{10, 162-164}

Literatür taraması yapıldığında, NeoPutty ve Endocem MTA Premixed'in farklı irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti sonrası dentine olan bağlanma dayanımını inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle yaptığımız bu çalışmada; klinikte kullanılan

normal salin, NaOCl ve EDTA solüsyonlarının, ProRoot MTA, NeoPutty ve Endocem MTA Premixed'in push-out bağlanma dayanımına etkisini incelemeyi amaçladık.

Deneyisel çalışmalar, özellikle diş hekimliğinde eğitimin gelişmesi ve klinik uygulamalara ışık tutması amacıyla oldukça önemlidir. Endodonti alanındaki kök kanal tedavisiyle ilgili tüm materyallerin ve bu materyallerin sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerin araştırılması gibi pek çok işlemde, klinik ortam taklit edilerek in vitro koşullarda kontrollü deneyler gerçekleştirilmektedir.¹⁶⁵

İn vivo koşullarda yapılan çalışmalarda hasta takibi zordur ve fazla süreye ihtiyaç vardır. Ayrıca, oral kavitedeki sıcaklık değişimlerinin dentin veya kullanılan materyaller arasında yaratacağı genleşme ve büzülme stresleri gibi faktörlerden dolayı standardizasyonun sağlanması oldukça güçtür.²⁰ Bunun üstesinden gelebilmek amacıyla araştırmacılar çoğunlukla yapay bloklar ya da çekilmiş dişler üzerinde çalışmaktadırlar. Çalışmalarda kullanılan çekilmiş insan dişleri, klinik koşulları yapay akrilik bloklara göre daha iyi yansıtmaktadır.¹⁶⁶⁻¹⁶⁸ Bu nedenle çalışmamızda yeni çekilmiş insan dişleri kullanıldı.

Vertucci'nin sınıflamasına göre maksiler santral dişlerin kök kanal morfolojilerinin tamamına yakını, tip 1 kök kanal konfigürasyonuna sahiptir.¹⁶⁹ Bu yüzden, dişlerden kaynaklanabilecek anatomik farklılıkları elimine etmek için, çalışmamıza sadece üst santral kesici dişler dahil edildi. Standardizasyonun sağlanması amacıyla da; apikal gelişimini tamamlamış, çürük, ortodontik ya da periodontal nedenlerle çekilmiş, kırık, çatlak ve kök rezorpsiyonu olmayan, herhangi bir restoratif işlem görmemiş dişler tercih edildi.¹⁷⁰

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak olan dişlerin saklanma koşulları değişkenlik gösterir. Yapılan bir literatür derlemesinde¹⁷¹ çalışmalarda kullanılan dişlerin %1 timol, timol içeren distile su, distile su, serum fizyolojik, formalin ve 5% kloramin T

solüsyonlarında saklandığı rapor edilmiştir. Bizim çalışmamızda da yeni çekilen dişler, birçok çalışmayla ^{123, 172, 173} benzer şekilde deney yapılana kadar 9°C’de distile suda bekletildi.

Literatürde, irrigasyon solüsyonlarının tamir materyallerine etkisini değerlendirmek için yapılan çalışmalarda, materyalin solüsyonlara maruz kalma süreleri değişkenlik göstermektedir. Bazı çalışmalarda^{8, 155, 163, 174, 175} NaOCl ve normal salin solüsyonuna maruziyet süresi 5 dk, 10 dk veya 30 dk iken; EDTA’nın kullanıldığı çalışmalarda^{8, 163, 175-178} ise 1 dk, 5 dk ve 30 dk olarak değişkenlik göstermektedir. Biz de çalışmamızda, diğer benzer çalışmalarda^{8, 10, 163} olduğu gibi tamir materyallerini normal salin ve NaOCl’e 30 dk süreyle maruz bıraktık. EDTA’nın dentine uzun süreli teması demineralizasyona sebep olabileceği için, tamir materyallerini EDTA solüsyonuna 5 dk süreyle maruz bıraktık.¹⁵²

Bağlanma dayanımını ölçmek için günümüze kadar çeşitli yöntemler denenmiştir. Bunlar; makaslama, gerilim ve push-out testi gibi çeşitli test yöntemleridir. Makaslama testinde kuvvet yüklü uç ile bağlanma yüzeyi doğru hizalanmadığında örnek üzerinde beklenmedik tork yüklemeleri ortaya çıktığı için sonuçlarda tutarsızlık görülebilmektedir.¹⁵⁸ Oldukça hassas bir test olan gerilim testinde ise yük uygulaması sırasındaki stres dağılımındaki küçük değişiklikler, sonuçlar üzerinde önemli farklılıklar yaratır.^{158, 159} Push-out bağlanma dayanımı testi ise yük uygulanması sırasındaki küçük stres değişikliklerine daha az hassastır ve materyalin bağlanma dayanımı düşük olsa bile kullanılan materyallerin değerlendirilmesine izin verir.¹⁶⁰ Push- out testinin germe ve makaslama testlerine göre avantajı; materyali, dentinin çevrelediği bir kanal içerisinde test etme kabiliyeti ve klinik stresleri daha doğru simule ederek daha hassas bir ölçüm sağlamasıdır.^{179, 180} Dolayısıyla bizim çalışmamızda, bağlanma dayanımını ölçmek amacıyla etkili, pratik ve güvenilir bir test olan push-out testi kullanıldı.

Push-out testinde kullanılan dentin disklerinin kalınlıkları, testin güvenilirliği açısından önemlidir. Yapılan çalışmalarda, push-out testinde kullanılan dentin diskinin kalınlığı arttıkça sürtünme kuvvetinin de artacağı ve daha yüksek bağlanma dayanımına sebep olacağı belirtilmiş ve tüm örnekler için standart olarak 1 mm kalınlıkta dentin diski kullanımı önerilmiştir.^{181, 182} Bizim çalışmamızda da sürtünme kuvvetinin yaratacağı dezavantajı elimine etmek amacıyla, 1 ± 0.1 mm kalınlığında dentin diskleri kullanıldı. Ayrıca, bazı çalışmalarda¹⁸²⁻¹⁸⁴ perforasyonu taklit etmek amacıyla alt molar dişler kullanılırken, bazılarında^{8, 10, 175} ise tek köklü dişlerin kesitlerinden yararlanılmıştır. Koronal ve apikal dentin tübül dizilimleri ve yoğunlukları değişkenlik gösterdiğinden, direk olarak furkasyon alanının perforasyonu dentin kesitine göre daha doğru bir simülasyon gösterebilir. Ancak, furkasyon bölgesindeki ortalama kök gövde yüksekliği 1.37 ile 2.04 mm arasında değiştiğinden, molar dişlerin furkal alanının kalınlığının standardizasyonu zor olacaktır.¹⁸⁵ Dolayısıyla, tek köklü diş kesitlerinin kullanımı, sabit kalınlıkta ve standardizasyonu sağlanmış numunelere olanak sağlayacağından, biz de çalışmamızda tek köklü dişlerin dentin kesitlerini kullandık.

Dentin kesitlerine push-out testini uygulamak için kullanılacak olan pistonun uç çapının, sadece test materyali ile temas edecek ve dentin duvarına mümkün olduğunca yakın olacak şekilde ayarlanması gerekir.¹⁶³ Bizim çalışmamızda da, dentin duvarı kenarında 0.2 mm'lik bir boşluk kalacak şekilde, 1.2 mm çapında olan silindirik bir uç kullanıldı.

Perforasyon tamirinde kullanılan materyaller, çiğneme esnasında ya da materyallerin kondensasyonu sırasında yer değiştirme kuvvetlerine maruz kalabilirler. Bu nedenle, dentine olan marjinal adaptasyon ve yer değiştirmeye karşı materyalin gösterdiği direnç endodontik prosedürlerin başarısı için önemli bir faktördür.¹⁸⁶ Dolayısıyla; başarılı

bir perforasyon tamirinde, tamir materyallerinin dentine olan bağlanma dayanımının yüksek olması beklenir.

Kalsiyum silikat esaslı materyallerde, bağlanma dayanımı değerlerinin yüksek olması, dentine olan güçlü mikromekanik bağlantıyı sağlayan biyoaktiviteleriyle ilgilidir.¹⁶⁴ MTA'nın yüksek biyoaktivitesi ise; fosfat içeren fizyolojik sıvılarla temas halindeyken, Ca iyonları salma ve apatit benzeri kristalli çökeltiler üreterek, tag benzeri yapılara sahip bir ara yüzey tabakası oluşturma kapasitesine bağlıdır.^{89, 187, 188} Yapılan çalışmalarda^{188, 189} MTA-dentin ara yüzünde oluşan apatit benzeri kristalin çökeltilerin, mikrosızıntıyı azaltabileceği ve bağlanma dayanımını olumlu yönde etkileyebileceği bildirilmiştir. Oluşan bu apatit kristalleri, MTA ile dentin arasındaki boşlukları doldurarak önce mekanik bağlanmayı sağlar, daha sonra apatit tabakası ile dentin arasında difüzyon kontrollü bir reaksiyon meydana getirerek kimyasal bağlanmayı gerçekleştirir.¹⁹⁰

Endocem MTA ile ProRoot MTA'nın Ca iyonları salma ve apatit benzeri çökeltiler üretme yeteneklerinin değerlendirildiği bir çalışmada, Endocem MTA'nın önemli ölçüde daha az Ca iyonu saldığı ancak, her iki materyalin de benzer kimyasal kompozisyona sahip apatit benzeri çökeltiler oluşturduğu rapor edilmiştir.¹⁹¹ Ayrıca, Ca iyon salınımının ve Ca/P oranının düşük olmasının, Endocem MTA'nın içeriği, puzolanik sertleşme reaksiyonları ve ProRoot MTA'dan daha düşük çözünürlüğüyle ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda da yeni nesil bir tamir materyali olan Endocem MTA Premixed ile ProRoot MTA benzer bağlanma dayanımı sergiledi. Bu sonuç, iki materyalin benzer apatit oluşturma kapasiteleri ile ilişkilendirilebilir.

Endocem MTA Premixed, geleneksel kalsiyum silikat esaslı materyallerden farklı olarak, bir çözücü olarak kullanılan ve materyalin biyouyumluluğunu arttıracak düşünülen DMSO içerir.¹¹⁹ DMSO, dentinin ıslanabilirliğini arttıran bir çözücüdür ve son

zamanlarda yapılan çalışmalar, DMSO'nun düşük konsantrasyonda bile ıslanabilirliği arttırarak mikrosızıntıyı azaltabildiğini ve dentine olan adeziv bağlanmayı arttırabileceğini göstermiştir.¹⁹²⁻¹⁹⁴

Lindblad ve ark.,¹⁹⁵ CHX ve DMSO'nun kalsiyum silikat esaslı materyallerdeki sızdırmazlık yeteneği ve biyomineralizasyon üzerine etkinliklerini inceledikleri çalışmada; en yüksek push-out bağlanma dayanımı değerlerini ProRoot MTA kontrol ile ProRoot MTA-DMSO gruplarının gösterdiğini; ayrıca, en az adeziv başarısızlığın da bu gruplarda görüldüğünü rapor etmişlerdir. Uzun süre devam eden sızdırmazlık ve adezyonu ise, DMSO tarafından indüklenen üstün ıslanabilirlik ve bunun ara yüz bütünlüğüne katkısı ile ilişkilendirmişlerdir. Çalışmamızda Endocem MTA Premixed'in sergilemiş olduğu yüksek bağlanma dayanımında, içerdiği DMSO'nun da payı olabileceği düşünülmektedir.

Kalsiyum silikat esaslı materyallerin partikül büyüklükleri de materyalin dentine olan bağlanma dayanımını etkileyebilir.¹⁶⁴ Yapılan bazı çalışmalarda daha küçük ve homojen partiküllere sahip simanların dentine olan adezyonunun ve dolayısıyla bağlanma dayanımının daha fazla olduğu bildirilmiştir.^{123, 163, 164, 178} Silva ve ark.'nın¹²³ yaptığı çalışmada; Endocem MTA ile MTA Angelus'un bağlanma dayanımı karşılaştırılmış ve Endocem MTA daha küçük parçacıklı olmasına rağmen iki grup arasında anlamlı fark görülmediği, küçük puzolan parçacıklarının sadece sertleşme süresinin kısalmasında etkili olduğu rapor edilmiştir. Bizim çalışmamızda da ProRoot MTA ile Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımı değerleri arasında herhangi bir fark görülmedi.

Aloumodi ve ark.'nın¹⁷⁴ yaptığı başka bir çalışmada; sertleşme süresi daha kısa olan EndoSequence premixed putty kıvamlı tamir materyalinin bağlanma dayanımının, sertleşme süresi daha uzun olan EndoSequence pat kıvamlı tamir materyalinden daha fazla olduğu bildirilmiştir. Bu bulgu, materyallerin mikro yapısıyla ilişkilendirilmiş ve

daha hızlı sertleşen materyalin daha fazla yükü kaldırabilen bir mikroyapıya sahip olduğu rapor edilmiştir. Yaptığımız çalışmanın verileri, bu çalışmanın verileriyle tutarlı olup; daha uzun sertleşme süresine sahip NeoPutty'nin bağlanma dayanımı değerleri, sertleşme süresi daha kısa olan ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'den anlamlı derecede daha düşüktü. Dolayısıyla çalışmamızın ilk hipotezi reddedildi.

ProRoot MTA radyopaklaştırıcı ajan olarak bizmut oksit içerirken, Endocem MTA Premixed zirkonyum oksit içerir. Yapılan çalışmalarda, Portland çimentosuna bizmut oksit ilavesinin materyalin hidrasyon mekanizmasını etkileyerek çimento içerisinde poröz yapıların oluşmasına sebep olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, bu durumun materyalin çözünürlüğünü arttırdığı, kırılmaya karşı direncini azalttığı ve dolayısıyla bağlanma dayanımının azalmasına sebep olabileceği rapor edilmiştir.^{196, 197} Silva ve ark.'nın¹²³ yaptığı çalışmada ise; benzer kimyasal bileşimlere sahip materyallerin, radyopaklaştırıcı ajan olarak bizmut oksit ya da zirkonyum oksit içermesinin, dentine olan bağlanma dayanımını etkilemediği belirtilmiştir. Bu çalışmayla uyumlu olarak bizim çalışmamızda da bizmut oksit içeren ProRoot MTA ile zirkonyum oksit içeren Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımı değerleri arasında anlamlı bir fark görülmedi.

Kalsiyum silikat esaslı tamir materyalleri, hidrasyon reaksiyonu sırasında bir miktar kimyasal büzülme gösterirken, sertleşme reaksiyonu sırasında da bir miktar genleşme gösterirler.^{198, 199} Bu hacimsel değişikliklerin, MTA'nın dentine adaptasyonunda ve sızdırmazlık yeteneğinde önemli olduğu düşünülmektedir.¹⁹⁹ ProRoot MTA ile beyaz MTA Flow'un hacimsel değişikliklerinin incelendiği bir çalışmada; radyopaklaştırıcı ajan olarak tantal oksit içeren beyaz MTA Flow'un hacimsel kaybının daha fazla olduğu ve bunun materyalin farklı bileşimi veya tantal oksit içeriğinden kaynaklı olabileceği rapor edilmiştir.²⁰⁰ İpek ve ark.'nın¹⁷³ NeoPutty, MTA Repair HP ve Biodentin'in bağlanma dayanımını inceledikleri çalışmasında; Biodentin'in bağlanma

dayanımının, NeoPutty ve MTA Repair HP'den anlamlı derecede daha fazla olduğu ve NeoPutty ile MTA Repair HP arasında anlamlı bir fark olmadığı rapor edilmiştir. Bu çalışmaların verileriyle tutarlı olarak bizim çalışmamızda da; NeoPutty'nin radyoopaklaştırıcı ajan olarak tantal oksit içermesi, hacimsel kayba ve materyal-dentin arasındaki adezyon kaybına ve dolayısıyla, bağlanma dayanımının olumsuz etkilenmesine neden olmuş olabilir.

MTA'nın fosfat içeren solüsyonlara maruziyeti, apatit benzeri çökeltilerin oluşmasıyla sonuçlanır ve bu çökeltilerin materyalin biyoaktivitesini olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.^{164, 191} ProRoot MTA'nın push-out bağlanma dayanımının incelendiği bir çalışmada; fosfat tamponlu salin (PBS) solüsyonuna maruziyetin, biyomineralizasyon sürecini etkileyerek bağlanma dayanımını arttırdığı rapor edilmiştir.¹⁶⁴ MTA'nın PBS'ye maruziyeti sonrasında üzerinde oluşan çökeltilerin morfolojik ve kimyasal değişiminin incelendiği başka bir çalışmada; MTA-dentin ara yüzü boyunca amorf, apatit benzeri kristalin çökeltilerin olduğu ve bu çökeltinin materyalin sızdırmazlık kabiliyetini arttırdığı rapor edilmiştir.¹⁸⁹ Asgary ve ark.²⁰¹ çeşitli solüsyonlara maruziyetin materyallerde meydana getirdiği morfolojik değişimleri incelemişler ve ProRoot MTA'nın PBS'ye maruziyeti sonrasında yüzeyinde kristalin yapıların olduğu ancak normal saline maruziyeti sonrasında herhangi bir çökelti oluşmadığı; New Experimental Cement grubunda ise hem normal salin hem PBS maruziyeti sonrası çökelti olduğu rapor edilmiştir. Bizim çalışmamızda da diğer tamir materyalleri normal salinden etkilenmezken, ProRoot MTA'nın normal saline maruziyeti sonrasında bağlanma dayanımı değerlerinin anlamlı derecede düştüğü tespit edildi ve çalışmamızın ikinci hipotezi de reddedilmiş oldu. Bu durum, normal salin solüsyonunun ProRoot MTA'nın yüzeyinde kristalin çökeltisi oluşturmamasına ve bu nedenle materyal-dentin ara yüzündeki adezyonun zayıf olmasına bağlanabilir.

Perforasyon onarımından sonra, kök kanallarını dezenfekte etmek amacıyla kullanılan NaOCl veya bir şelasyon ajanı olan EDTA'nın tamir materyali ile olan teması, materyalin yüzeyinde farklı kimyasal değişiklikler yaratabilir.^{10, 202, 203}

EDTA, MTA'nın partikül bağlayıcı hidrasyon fazına etki ederek Ca iyonlarıyla şelat oluşturabilir ve materyalin dayanımı ve tıkama kabiliyetini olumsuz etkileyebilir.^{202, 203} Govindaraju ve ark.¹⁶² farklı irrigasyon solüsyonlarının kalsiyum silikat esaslı materyallerinin bağlanma dayanımına etkilerini incelemişler ve EDTA'nın interfasiyal ara yüzdeki kimyasal adezyonu engelleyebileceği ve tamir materyalinin sertleşmesi sırasında yerinden çıkmasına neden olabileceğini bildirmişlerdir. Bunun, EDTA'nın MTA'nın kalsiyum-silikat-hidrat jeli oluşturmaya müdahale eden şelatlama etkisinden kaynaklanabileceği rapor edilmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda; kalsiyum silikat esaslı tamir materyallerinin EDTA solüsyonuna maruziyetinin, dentine olan bağlanma dayanımı değerlerini değiştirmediği rapor edilmiştir.^{155, 204} MTA, Biodentin ve Bioaggregate'ın çeşitli irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti sonrası bağlanma dayanımlarının incelendiği bir çalışmada ise; Biodentinin EDTA'ya maruziyeti sonrasındaki bağlanma dayanımı değerlerinin, saf suya maruziyete kıyasla anlamlı derecede daha fazla olduğu bildirilmiştir.¹⁷⁶ Bu sonuç, Biodentin grubunda EDTA uyguladıktan sonra dentin tübül çaplarının artarak partiküllerin bu tübüllere daha fazla penetre olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, bu sıkı tübül penetrasyonunun, biyomineralizasyonu başlatarak tamir materyali ile dentin arasındaki adezyonu daha iyi sağlayabildiği belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda; EDTA solüsyonuna maruziyet sonrası, ProRoot MTA ve Neoputty'nin bağlanma dayanımı değerlerinde bir miktar düşüş görülürken Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımı değerinde bir miktar artış gözlemlendi. Ancak, hiçbir grupta istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşmadı.

NaOCl, insan kök dentininde mineral birikimine neden olan, inorganik materyali açığa çıkarabilen, dentin çözünmesini önleyebilen halojenli bir bileşiktir.²⁰⁵ EDTA'dan farklı olarak, MTA-dentin ara yüzünde hızlı bir bozulmaya neden olması beklenmez.¹⁵⁵ Bazı çalışmalarda^{10, 206-208} NaOCl'e maruziyetin MTA'nın bağlanma dayanımı değerlerini anlamlı derecede arttırdığı gösterilirken, bazı çalışmalarda^{8, 155, 163} ise anlamlı bir fark oluşturmadağı belirtilmiştir. Alsubait ve ark.,¹⁰ NaOCl'in ProRoot MTA, Biodentin, Endosequence ve NeoMTA Plus'ın bağlanma dayanımına etkisini incelemişlerdir. Sonuçta; NaOCl'in, ProRoot MTA ve Endosequence'in bağlanma dayanımını arttırırken, Biodentin ve NeoMTA Plus'ın bağlanma dayanımını azalttığını rapor etmişlerdir. Yapılan bir başka çalışmada ise; NaOCl'nin MTA içerikli tamir materyalinin bağlanma dayanımını anlamlı derecede düşürdüğü rapor edilmiş ve bu durum, NaOCl'nin materyalin organik içeriğini çözerek yüzey kırılma direncini azaltmasına bağlanmıştır.¹⁷⁴ Bizim çalışmamızda da NaOCl'e maruziyet, ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımını değıştirmezken; NeoPutty'nin bağlanma dayanımını anlamlı derecede düşürmüştür.

Kalsiyum silikat esaslı materyallerin çeşitli irrigasyon solüsyonlarına maruziyeti ve bunların materyallerin fiziksel özellikleri üzerinde meydana getirdikleri bu değışiklikleri inceleyen çeşitli çalışmalarda sonuçların farklı olması; partikül boyutu, radyoopaklaştırıcı ajan içeriğı veya materyalin diğer bileşenleri gibi faktörlere bağlanmıştır.²⁰⁹⁻²¹¹ Bazı çalışmalarda ise irrigasyon solüsyonlarının pH'ı ya da kimyasal içerikleriyle de ilişkili olabileceğı bildirilmiştir.^{123, 212, 213}

Materyal ile dentin arasında görülen bağlantı başarısızlıklarının, materyalin dentin tübüllerine penetrasyonunu etkileyen partikül boyutları ve tübüllerdeki mikromekanik bağlantıya yol açan tag benzeri yapılarla ilişkili olduğu söylenebilir. Daha küçük partikül boyutuna sahip materyallerin dentin tübüllerine olan penetrasyonu daha fazla

olacağından, bu materyallerde koheziv tip başarısızlığın daha baskın olması beklenir.⁸⁶ Güneşer ve ark.¹⁶³ ProRoot MTA ve Biodentin'in bağlanma dayanımını inceledikleri çalışmada; ProRoot MTA'dan daha küçük partikül boyutuna sahip Biodentin'de daha çok koheziv başarısızlığın, ProRoot MTA'da ise daha çok adeziv başarısızlığın görüldüğünü rapor etmişlerdir. Güneşer ve ark. ile benzer şekilde Saghiri ve ark.¹³⁵ da yaptıkları çalışmada ProRoot MTA'da daha çok adeziv başarısızlığın görüldüğünü tespit etmişlerdir. Ancak, yapılan diğer çalışmalarda ise ProRoot MTA'da daha çok mix başarısızlık görüldüğü rapor edilmiştir.^{131, 214, 215} Başarısızlık tiplerinde görülen bu farklılıkların, deneysel metodolojideki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.^{132, 216}

Materyallerde görülen koheziv başarısızlık, aynı zamanda materyalin dentine olan yüksek adezyonu ve bağlanma dayanımıyla ilişkidir.^{163, 217, 218} Yapılan çeşitli çalışmalarda, bağlanma dayanımının yüksek olduğu kalsiyum silikat esaslı materyallerde dentin ile siman arasındaki başarısızlık tipinin daha çok koheziv başarısızlık olduğu rapor edilmiştir.^{163, 186, 219} Roy ve ark. nın¹²² yaptığı çalışmada; bağlanma dayanımının yüksek olduğu Endocem MTA'da daha çok koheziv başarısızlık görülmüştür. NeoPutty'nin bağlanma dayanımının incelendiği bir çalışmada ise, baskın olan başarısızlık tipinin adeziv ve mix tip olduğu rapor edilmiştir.¹⁷³ Bizim çalışmamızda da bağlanma dayanımının yüksek olduğu ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'de daha çok koheziv başarısızlık görülürken, daha düşük olduğu NeoPutty'de ise ağırlıklı olarak mix başarısızlık görüldü. ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'de baskın olarak görülen koheziv başarısızlık, bu materyallerin dentine olan adezyonunun iyi olduğunu ve materyali yerinden çıkaracak kuvvetlere karşı daha dirençli olduğunu gösterir.

Çalışmamızın limitasyonlarından biri perforasyon simülasyonu için üst santral dişlerin kanal lümenlerinin kullanılmasıdır. Dentin tübül sayısı ve dizilimi apikal,

koronal ve furkal alanda farklılık gösterir. Bu nedenle, materyallerin kökün orta üçlüsündeki bağlanma dayanımı, furkal bir perforasyon alanındaki bağlanma dayanımı ile farklılık gösterebilir. Ayrıca dişin yaşı ve kalsifikasyon derecesi de sonuçları etkileyebilir. Bir diğer limitasyon, materyalin kaviteye uygulanması ve solüsyon maruziyeti sırasında vücut sıcaklığı, ortamın pH'sı ve kanla kontaminasyon gibi oral kavite kaynaklı faktörlerin taklit edilememesidir. Bu faktörler tamir materyalinin sertleşmesini ve bağlanma dayanımını etkileyebilir. Bu limitasyonlar nedeniyle, bu in vitro çalışmanın sonuçları sadece standart koşullar altında materyallerin birbiriyle karşılaştırılmasına olanak sağlar ve kliniği birebir yansıtamaz. Dolayısıyla, perforasyon tamirinde kullanılan materyallerinin etkinliklerini tam olarak değerlendirebilmek için ileri klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmamızda; farklı irrigasyon solüsyonlarının, perforasyon tamirinde kullanılan ProRoot MTA, NeoPutty ve Endocem MTA Premixed'in dentine olan bağlanma dayanımına etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sınırlamaları dahilinde, elde edilen verilere göre şu sonuçlara varılmıştır:

1. Tamir materyallerinin dentine olan bağlanma dayanımı değerleri bakımından ProRoot MTA ile Endocem MTA Premixed grubu arasında anlamlı bir fark görülmezken, NeoPutty'nin bağlanma dayanımı değerleri diğer gruplara kıyasla anlamlı derecede daha düşüktü.
2. Farklı irrigasyon solüsyonlarına maruziyet, Endocem MTA Premixed'in bağlanma dayanımı değerlerinde anlamlı bir farklılık göstermedi.
3. ProRoot MTA grubunda; normal salin solüsyonuna maruziyet, bağlanma dayanımı değerlerini anlamlı derecede düşürdü.
4. NeoPutty grubunda ise; NaOCl solüsyonuna maruziyet, bağlanma dayanımı değerlerini anlamlı derecede düşürdü.
5. ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'de daha çok koheziv başarısızlık görülürken, NeoPutty'de mix başarısızlık daha fazlaydı.

Sonuç olarak, irrigasyon solüsyonlarının tamir materyallerinin bağlanma dayanımlarını etkileyebileceği göz önünde bulundurularak, klinikte tamir materyali ve irrigasyon solüsyonu seçiminde bu etkileşimlerin dikkate alınması önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Tabassum S, Khan FR. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *European journal of dentistry*. 2016;10(01):144-147.
2. Song M, Kim H-C, Lee W, Kim E. Analysis of the cause of failure in nonsurgical endodontic treatment by microscopic inspection during endodontic microsurgery. *Journal of endodontics*. 2011;37(11):1516-1519.
3. Ashley M, Harris I. The assessment of the endodontically treated tooth. *Dental update*. 2001;28(5):247-252.
4. Siqueira Jr JF. Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *International endodontic journal*. 2001;34(1):1-10.
5. Grossman L. The management of accidents encountered in endodontic practice. *Dent Clin North Am*. 1957;11:903-912.
6. Krause TA, Liewehr FR, Hahn C-L. The antimicrobial effect of MTAD, sodium hypochlorite, doxycycline, and citric acid on *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*. 2007;33(1):28-30.
7. Tsesis I, Fuss Z. Diagnosis and treatment of accidental root perforations. *Endodontic Topics*. 2006;13(1):95-107.
8. Elnaghy AM. Influence of QMix Irrigant on the Micropush-out Bond Strength of Biodentine and White Mineral Trioxide Aggregate. *J Adhes Dent*. 2014;16(3):277-283.
9. Ford TRP, Torabinejad M, McKendry DJ, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1995;79(6):756-763.
10. Alsubait SA. Effect of sodium hypochlorite on push-out bond strength of four calcium silicate-based endodontic materials when used for repairing perforations on human dentin: an in vitro evaluation. *J Contemp Dent Pract*. 2017;18(4):289-294.
11. do Prado M, de Lima CO, das Neves Marques J, Balbal V, Simão R, Campos CN. Effect of different irrigation regimens on the bond strength of Biodentine used for furcal perforation repair. *International Journal of Prosthodontics*. 2019;32(2).
12. Fuss Z, Trope M. Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. *Dental Traumatology*. 1996;12(6):255-264.
13. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer P. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview—part I: vital pulp therapy. *International endodontic journal*. 2018;51(2):177-205.
14. Camilleri J. Staining potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, and Biodentine used for pulpotomy procedures. *Journal of endodontics*. 2015;41(7):1139-1145.
15. Kang S-H, Shin Y-S, Lee H-S, Kim S-O, Shin Y, Jung, Y, Song J-S. Color changes of teeth after treatment with various mineral trioxide aggregate-based materials: an ex vivo study. *Journal of endodontics*. 2015;41(5):737-741.
16. Shin J-H, Jang J-H, Park SH, Kim E. Effect of mineral trioxide aggregate surface treatments on morphology and bond strength to composite resin. *Journal of endodontics*. 2014;40(8):1210-1216.
17. Tanomaru-Filho M, Andrade A, Rodrigues EM, Viola KS, Faria G, Camilleri J, Guerreiro-Tanomaru, JM. Biocompatibility and mineralized nodule formation of Neo MTA Plus and an experimental tricalcium silicate cement containing tantalum oxide. *International endodontic journal*. 2017;50:e31-e39.
18. Alhadainy HA. Root perforations: a review of literature. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*. 1994;78(3):368-374.

19. Aktemur Türker S, Uzunoğlu E, Bilgin B. Comparative evaluation of push-out bond strength of Neo MTA Plus with Biodentine and white ProRoot MTA. *Journal of adhesion science and Technology*. 2017;31(5):502-508.
20. Yang H-S, Lang LA, Guckes AD, Felton DA. The effect of thermal change on various dowel-and-core restorative materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2001;86(1):74-80.
21. Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *Journal of endodontics*. 2003;29(12):787-793.
22. Setzer FC, Boyer KR, Jeppson JR, Karabucak B, Kim S. Long-term prognosis of endodontically treated teeth: a retrospective analysis of preoperative factors in molars. *Journal of endodontics*. 2011;37(1):21-25.
23. Alaçam T. Endodonti BA, Özyurt Matbaacılık, 2012: 913-944.
24. Walton RE, Torabinejad M. Principles and practice of endodontics: WB Saunders company 1996.
25. Wong R. Conventional endodontic failure and retreatment. *Dental Clinics*. 2004;48(1):265-289.
26. Lin LM, Skribner JE, Gaengler P. Factors associated with endodontic treatment failures. *Journal of endodontics*. 1992;18(12):625-627.
27. Nair PR, Sjögren U, Krey G, Kahnberg, KE, Sundqvist G. Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *Journal of endodontics*. 1990;16(12):580-588.
28. Lin LM, Rosenberg PA, Lin J. Do procedural errors cause endodontic treatment failure? *The Journal of the American Dental Association*. 2005;136(2):187-193.
29. Inoue N, Skinner D. A simple and accurate way of measuring root canal length. *Journal of Endodontics*. 1985;11(10):421-427.
30. Lin LM, Pascon EA, Skribner J. Clinical, radiographic, and histologic study of endodontic treatment failures. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*. 1991;71(5):603-611.
31. Siqueira Jr JF, Araujo M, Garcia PF, Fraga RC, Dantas CJ. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *Journal of endodontics*. 1997;23(8):499-502.
32. Engström B, Lundberg M. The correlation between positive culture and the prognosis of root canal therapy after pulpectomy. *Odontologisk Revy*. 1965;16(3):193-203.
33. Kerekes K, Tronstad L. Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. *Journal of endodontics*. 1979;5(3):83-90.
34. Simon S, Machtou P, Tomson P, Adams N, Lumley P. Influence of fractured instruments on the success rate of endodontic treatment. *Dental update*. 2008;35(3):172-179.
35. Panitvisai P, Parunnit P, Sathorn C, Messer H. Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta-analysis. *Journal of endodontics*. 2010;36(5):775-780.
36. Lin K. Local Anaesthesia in the Management of Painful Pulpitis. *Endodontic*. 2010;5.
37. Grossman LK. Endodontic failures. *Dent Clin North Am* 1972;16:59-70.
38. Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: the Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment. *Journal of Endodontics*. 2004;30(9):627-633.

39. Kvinnsland I, Oswald R, Halse A, Grønningsaeter, AG. A clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforation. *International endodontic journal*. 1989;22(2):75-84.
40. Estrela C, Decurcio DdA, Rossi-Fedele G, Silva JA, Guedes OA, Borges ÁH. Root perforations: a review of diagnosis, prognosis and materials. *Brazilian oral research*. 2018;32.
41. Sinai IH. Endodontic perforations: their prognosis and treatment. *The Journal of the American Dental Association*. 1977;95(1):90-95.
42. Vajda TT. Treatment of internal resorption--involving lateral root perforation--by immediate root resection technique. Case report. *Australian Dental Journal*. 1969;14(5):325-326.
43. Trope M. Root resorption of dental and traumatic origin: classification based on etiology. *Practical periodontics and aesthetic dentistry*: PPAD. 1998;10(4):515-522.
44. Hartsfield Jr J, Everett ET, Al-Qawasmi R. Genetic factors in external apical root resorption and orthodontic treatment. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 2004;15(2):115-122.
45. Bakland L. Endodontic mishaps: perforations. *Journal of the California Dental Association*. 1991;19(4):41-44, 46.
46. Kaufman AY, Keila S. Conservative treatment of root perforations using apex locator and thermatic compactor—case study of a new method. *Journal of endodontics*. 1989;15(6):267-272.
47. Saed SM, Ashley M, Darcey J. Root perforations: aetiology, management strategies and outcomes. The hole truth. *British dental journal*. 2016;220(4):171.
48. Taatz H, Stiefel A. Zur therapie von zahnperforationen. *Zahnaertztl Welt*. 1965;66:814-819.
49. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA Pécora, JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian dental journal*. 2002;13:113-117.
50. Weisman MI. Treatment of an unusual perforation of an anterior tooth: Report of a case. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1959;12(6):732-735.
51. Torabinejad M, Waiton RE. Principles and practice of endodontics: WB Saunders company 2009.
52. Glickman GN, Dumsha T. Problems in canal cleaning and shaping. Problem Solving in Endodontics, 3rd edn St Louis, MO: Mosby. 1997:91-122.
53. Reeh ES, Messer HH. Long-term paresthesia following inadvertent forcing of sodium hypochlorite through perforation in maxillary incisor. *Dental Traumatology*. 1989;5(4):200-203.
54. Lemon RR. Nonsurgical repair of perforation defects. Internal matrix concept. *Dental Clinics of North America*. 1992;36(2):439-457.
55. Jeansonne BG, Boggs WS, Lemon RR. Ferric sulfate hemostasis: effect on osseous wound healing. II. With curettage and irrigation. *Journal of endodontics*. 1993;19(4):174-176.
56. Allam CR. Treatment of stripping perforations. *Journal of endodontics*. 1996;22(12):699-702.
57. Simon JH, Kelly WH, Gordon DG, Ericksen GW. Extrusion of endodontically treated teeth. *The Journal of the American Dental Association*. 1978;97(1):17-23.
58. Charrier M, Medioni E. Microleakage of three filling materials for furcation perforation. *Eur Cell Mater*. 2007;13: 9.
59. Beavers R, Bergenholtz G, Cox C. Periodontal wound healing following intentional root perforations in permanent teeth of Macaca mulatta. *International Endodontic Journal*. 1986;19(1):36-44.

60. Nicholls E. Treatment of traumatic perforations of the pulp cavity. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1962;15(5):603-612.
61. Frank A. Resorption, perforations, and fractures. 1974.
62. Bryan EB, Woollard G, Mitchell W. Nonsurgical repair of furcal perforations: a literature review. *General dentistry*. 1999;47(3):274-278; quiz 279.
63. Messing J. Planned Re-Implantation. *International Endodontic Journal*. 1970;4(1):2-5.
64. Mitsis F. Flap operation techniques for the treatment of certain endodontic and periodontic problems. *International Endodontic Journal*. 1970;4(1):6-9.
65. Meister Jr F, Lommel TJ, Gerstein H, Davies EE. Endodontic perforations which resulted in alveolar bone loss: report of five cases. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1979;47(5):463-470.
66. Seltzer S, Sinai I, August D. Periodontal effects of root perforations before and during endodontic procedures. *Journal of dental research*. 1970;49(2):332-339.
67. Hashem AAR, Amin SAW. The effect of acidity on dislodgment resistance of mineral trioxide aggregate and bioaggregate in furcation perforations: an in vitro comparative study. *Journal of endodontics*. 2012;38(2):245-249.
68. De-Deus G, Petrucci V, Gurgel-Filho E, Coutinho-Filho T. MTA versus Portland cement as repair material for furcal perforations: a laboratory study using a polymicrobial leakage model. *International Endodontic Journal*. 2006;39(4):293-298.
69. Vallet-Regí M. Evolution of bioceramics within the field of biomaterials. *Comptes Rendus Chimie*. 2010;13(1-2):174-185.
70. Koch K, Brave D, Nasseh AA. A review of bioceramic technology in endodontics. CE article. 2012;4:6-12.
71. Swarup S, Rao A. Bioceramics in pediatric endodontics: LAP LAMBERT Academic Publishing 2013.
72. Chang JWW, Praisarnti C, Neelakantan P. Increasing use of bioceramics in endodontics: A narrative review. *Oral Health Group* 2017.
73. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of endodontics*. 2010;36(1):16-27.
74. Primus CM, Tay FR, Niu L-n. Bioactive tri/dicalcium silicate cements for treatment of pulpal and periapical tissues. *Acta biomaterialia*. 2019;96:35-54.
75. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics—a review. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*. 2017;51(3 Suppl 1):S128.
76. Siboni F, Taddei P, Prati C, Gandolfi MG. Properties of Neo MTA Plus and MTA Plus cements for endodontics. *International endodontic journal*. 2017;50:e83-e94.
77. Al-Hezaimi K, Al-Hamdan K, Naghshbandi J, Oglesby S, Simon J-HS, Rotstein I. Effect of white-colored mineral trioxide aggregate in different concentrations on *Candida albicans* in vitro. *Journal of endodontics*. 2005;31(9):684-686.
78. Siqueira Jr J, Lopes H. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *International endodontic journal*. 1999;32(5):361-369.
79. Okabe T, Sakamoto M, Takeuchi H, Matsushima K. Effects of pH on mineralization ability of human dental pulp cells. *Journal of endodontics*. 2006;32(3):198-201.
80. Al-Hezaimi K, Al-Shalan TA, Naghshbandi J, Simon J-HS, Rotstein I. MTA preparations from different origins may vary in their antimicrobial activity. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009;107(5):e85-e88.

81. Stowe TJ, Sedgley CM, Stowe B, Fenno JC. The effects of chlorhexidine gluconate (0.12%) on the antimicrobial properties of tooth-colored ProRoot mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2004;30(6):429-431.
82. Torabinejad M, Hong C, McDonald F, Ford TR-P. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of endodontics*. 1995;21(7):349-353.
83. Holland R, de Souza V, Nery MJ, et al. Calcium salts deposition in rat connective tissue after the implantation of calcium hydroxide-containing sealers. *Journal of endodontics*. 2002;28(3):173-176.
84. Holland R, de Souza V, Nery MJ, Bernabé, PFE, Otoboni Filho JA, Junior ED, Murata SS. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tube filled with mineral trioxide aggregate, Portland cement or calcium hydroxide. *Braz Dent J*. 2001;12(1):3-8.
85. Baranwal AK, Paul ML, Mazumdar D, Adhikari HD, Vyavahare NK, Jhajharia K. An ex-vivo comparative study of root-end marginal adaptation using grey mineral trioxide aggregate, white mineral trioxide aggregate, and Portland cement under scanning electron microscopy. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2015;18(5):399.
86. Atmeh A, Chong E, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *Journal of dental research*. 2012;91(5):454-459.
87. Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2008;11(4):141.
88. Neeraj Malhotra M, Antara Agarwal M, Kundabala Mala M. Mineral trioxide aggregate: a review of physical properties. *Compendium*. 2013;34(2).
89. Sarkar N, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2005;31(2):97-100.
90. Kratchman SI. Perforation repair and one-step apexification procedures. *Dental Clinics*. 2004;48(1):291-307.
91. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Brink F. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2005;31(2):101-103.
92. Ferris DM, Baumgartner JC. Perforation repair comparing two types of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2004;30(6):422-424.
93. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Stowe S, Brink F. A qualitative X-ray analysis of white and grey mineral trioxide aggregate using compositional imaging. *Journal of materials science: materials in medicine*. 2006;17(2):187-191.
94. Camilleri J, Montesin F, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *International endodontic journal*. 2005;38(11):834-842.
95. Song J-S, Mante FK, Romanow WJ, Kim S. Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2006;102(6):809-815.
96. Camilleri J. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*. 2007;40(6):462-470.
97. Bozeman TB, Lemon RR, Eleazer PD. Elemental analysis of crystal precipitate from gray and white MTA. *Journal of endodontics*. 2006;32(5):425-428.
98. Poggio C, Lombardini M, Alessandro C, Simonetta R. Solubility of root-end-filling materials: a comparative study. *Journal of Endodontics*. 2007;33(9):1094-1097.

99. Sluyk S, Moon P, Hartwell G. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *Journal of Endodontics*. 1998;24(11):768-771.
100. Camilleri J, Montesin FE, Papaioannou S, McDonald F, Pitt Ford TR. Biocompatibility of two commercial forms of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*. 2004;37(10):699-704.
101. Vallés M, Mercadé M, Duran-Sindreu F, Bourdelande JL, Roig M. Color stability of white mineral trioxide aggregate. *Clinical oral investigations*. 2013;17(4):1155-1159.
102. Gandolfi MG, Iacono F, Agee K, Siboni F, Tay F, Pashley DH, Prati C. Setting time and expansion in different soaking media of experimental accelerated calcium-silicate cements and ProRoot MTA. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009;108(6):e39-e45.
103. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M. Sealing ability of a novel endodontic cement as a root-end filling material. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: 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*. 2008;87(3):706-709.
104. Bates CF, Carnes DL, Carlos E. Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *Journal of Endodontics*. 1996;22(11):575-578.
105. Yildirim T, Er K, Taşdemir T, Tahan E, Buruk K, Serper A. Effect of smear layer and root-end cavity thickness on apical sealing ability of MTA as a root-end filling material: a bacterial leakage study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2010;109(1):e67-e72.
106. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part II: leakage and biocompatibility investigations. *Journal of endodontics*. 2010;36(2):190-202.
107. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dental materials*. 2008;24(2):149-164.
108. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine RJ, Weller RN, Pashley DH, Tay FR. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *Journal of endodontics*. 2011;37(5):673-677.
109. Persson C, Engqvist H. Premixed calcium silicate cement for endodontic applications: injectability, setting time and radiopacity. *Biomatter*. 2011;1(1):76-80.
110. Sun Q, Meng M, Steed JN, Sidow SJ, Bergeron BE, Niu Li, Ma J, Tay F. Manoeuvrability and biocompatibility of endodontic tricalcium silicate-based putties. *Journal of Dentistry*. 2021;104:103530.
111. NuSmile, Houston, TX, USA <https://www.nusmile.com/Plugins/Widgets.FAQ.Vinformatix/Content/FAQ/FAQCategoryFiles/IFU-61%20NuSmile%20NeoPUTTY%20FAQ.%20Rev.%201.pdf>
112. Primus C, Gutmann JL, Tay FR, Fuks AB. Calcium silicate and calcium aluminate cements for dentistry reviewed. *Journal of the American Ceramic Society*. 2021.
113. Holt DM, Watts JD, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. The anti-microbial effect against enterococcus faecalis and the compressive strength of two types of mineral trioxide aggregate mixed with sterile water or 2% chlorhexidine liquid. *Journal of endodontics*. 2007;33(7):844-847.
114. NuSmile, Houston, TX, USA <https://www.avalonbiomed.com/products/>
115. Pushpala S. Physicochemical and Biological Properties of NeoMta Putty. The University of Texas School of Dentistry at Houston 2021.

116. Choi Y, Park S-J, Lee S-H, Hwang Y-C, Yu M-K, Min K-S. Biological effects and washout resistance of a newly developed fast-setting pozzolan cement. *Journal of endodontics*. 2013;39(4):467-472.
117. Snellings R, Mertens G, Elsen J. Supplementary cementitious materials. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2012;74(1):211-278.
118. Rodriguez-Camacho R, Uribe-Afif R. Importance of using the natural pozzolans on concrete durability. *Cement and concrete research*. 2002;32(12):1851-1858.
119. Maruchi, Wonju, Kore <http://mtamall.com/product/endocem-mta-premixed/181/>
120. Jang G-Y, Park S-J, Heo S-M, Yu M-K, Lee K-W, Min K-S. Washout resistance of fast-setting pozzolan cement under various root canal irrigants. *Restorative dentistry & endodontics*. 2013;38(4):248-252.
121. Silva EJ, Carvalho NK, Zanon M, Senna PM, De-Deus G, Zuolo ML, Zaia AA. Push-out bond strength of MTA HP, a new high-plasticity calcium silicate-based cement. *Brazilian oral research*. 2016;30(1).
122. Roy SS. An In Vitro Evaluation and Comparison of Push Out Bond Strength of MTA and MTA like materials in Acidic and Alkaline pH. Ragas Dental College and Hospital, Chennai 2016.
123. Silva EJNL, Carvalho NK, Guberman MRdCL, Prado M, Senna PM, Souza EM, De-Deus G. Push-out bond strength of fast-setting mineral trioxide aggregate and pozzolan-based cements: ENDOCEM MTA and ENDOCEM Zr. *Journal of Endodontics*. 2017;43(5):801-804.
124. Saghiri MA, Orangi J, Asatourian A, Gutmann JL, Garcia-Godoy F, Lotfi M, Sheibani N. Calcium silicate-based cements and functional impacts of various constituents. *Dental materials journal*. 2017;36(1):8-18.
125. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Iravani A, Kharrazifard MJ, Dummer PM. Effect of acidic environment on the push-out bond strength of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2010;36(5):871-874.
126. Humel MMC, Oliveira MT, Cavalli V, Giannini M. Effect of storage and disinfection methods of extracted bovine teeth on bond strength to dentin. *Brazilian Journal of Oral Sciences*. 2007;6(22):1402-1406.
127. Danesh G, Dammaschke T, Gerth H, Zandbiglari T, Schäfer E. A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. *International endodontic journal*. 2006;39(3):213-219.
128. Islam I, Chng HK, Yap AUJ. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. *Journal of endodontics*. 2006;32(3):193-197.
129. De Almeida J, Felipe MS, Bortoluzzi E, Teixeira CS, Felipe WT. Influence of the exposure of MTA with and without calcium chloride to phosphate-buffered saline on the push-out bond strength to dentine. *International endodontic journal*. 2014;47(5):449-453.
130. Nekoofar MH, Oloomi K, Sheykhrezae M, Tabor R, Stone David F, Dummer PMH. An evaluation of the effect of blood and human serum on the surface microhardness and surface microstructure of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*. 2010;43(10):849-858.
131. Rahimi, S, Ghasemi N, Shahi S, Lotfi M, Froughreyhani MM, , Amin Salem Bahari M. "Effect of blood contamination on the retention characteristics of two endodontic biomaterials in simulated furcation perforations." *Journal of Endodontics* 2013; 39(5): 697-700.
132. VanderWeele RA, Schwartz SA, Beeson TJ. Effect of blood contamination on retention characteristics of MTA when mixed with different liquids. *Journal of endodontics*. 2006;32(5):421-424.

133. Lee Y-L, Lee B-S, Lin F-H, Lin A-Y, Lan W-H, Lin C-P. Effects of physiological environments on the hydration behavior of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials*. 2004;25(5):787-793.
134. Saghiri MA, Lotfi M, Saghiri AM, Vosoughhosseini S, Aeinehchi M, Ranjkesh B. Scanning electron micrograph and surface hardness of mineral trioxide aggregate in the presence of alkaline pH. *Journal of Endodontics*. 2009;35(5):706-710.
135. Saghiri MA, Shokouhinejad N, Lotfi M, Aminsobhani M, Saghiri AM. Push-out bond strength of mineral trioxide aggregate in the presence of alkaline pH. *Journal of endodontics*. 2010;36(11):1856-1859.
136. Gancedo-Caravia L, Garcia-Barbero E. Influence of humidity and setting time on the push-out strength of mineral trioxide aggregate obturations. *Journal of endodontics*. 2006;32(9):894-896.
137. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao, Y. Irrigation in endodontics. *Dental Clinics*. 2010;54(2):291-312.
138. Abbott P, Heijkoop P, Cardaci S, Hume WR, Heithersay GS. An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *International endodontic journal*. 1991;24(6):308-316.
139. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *International dental journal*. 2008;58(6):329-341.
140. McDonnell G, Russell AD. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clinical microbiology reviews*. 1999;12(1):147-179.
141. Schäfer E. Irrigation of the root canal. *Endodontic Practice Today*. 2007;1(1).
142. Yamada RS, Armos A, Goldman M. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating. *J Endodon*. 1983;9:137-142.
143. Martinho FC, Gomes BP. Quantification of endotoxins and cultivable bacteria in root canal infection before and after chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 2008;34(3):268-272.
144. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International endodontic journal*. 2003;36(12):810-830.
145. Ostby N. Chelating in root canal therapy. Ethylene-diamine tetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontol Tidskr*. 1957;65:3-11.
146. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic topics*. 2012;27(1):74-102.
147. O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner, JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *Journal of Endodontics*. 2000;26(12):739-743.
148. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of endodontics*. 2002;28(1):17-19.
149. Teixeira C, Felipe M, Felipe W. The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *International endodontic journal*. 2005;38(5):285-290.
150. Lopes HP, Elias CN, Estrela C, Toniasso S. Mechanical stirring of smear layer removal: influence of the chelating agent (EDTA). *Braz endod J*. 1996:52-55.
151. Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *International endodontic journal*. 2002;35(11):934-939.
152. Holland R, Souza V, Nery M, Mello V. Efeitos de diferentes preparados à base de EDTA na dentina dos canais radiculares. *Rev Fac Odont Araçatuba*. 1973;2:127-131.

153. Frithjof R, Östby BN. Effect of EDTAC and sulfuric acid on root canal dentine. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1963;16(2):199-205.
154. Baumgartner JC, Ibay AC. The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *Journal of endodontics*. 1987;13(2):47-51.
155. Nagas E, Cehreli ZC, Uyanik MO, Durmaz V, Vallittu PK, Lassila LVJ. Bond strength of mineral trioxide aggregate to root dentin after exposure to different irrigation solutions. *Dental Traumatology*. 2014;30(3):246-249.
156. Bitter K, Meyer-Lueckel H, Priehn K, Kanjuparambil JP, Neumann K, Kielbassa AM. Effects of luting agent and thermocycling on bond strengths to root canal dentine. *International endodontic journal*. 2006;39(10):809-818.
157. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, Tay F, Ferrari M. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *European journal of oral sciences*. 2004;112(4):353-361.
158. Onay EO, Ungor M, Ari H, Belli S, Ogus E. Push-out bond strength and SEM evaluation of new polymeric root canal fillings. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009;107(6):879-885.
159. Van Noort R, Cardew G, Howard I, Noroozi S. The effect of local interfacial geometry on the measurement of the tensile bond strength to dentin. *Journal of dental research*. 1991;70(5):889-893.
160. Ungor M, Onay E, Orucoglu H. Push-out bond strengths: the Epiphany–Resilon endodontic obturation system compared with different pairings of Epiphany, Resilon, AH Plus and gutta-percha. *International endodontic journal*. 2006;39(8):643-647.
161. Marques JHS, Silva-Sousa YTC, Rached-Júnior FJA, et al. New methodology to evaluate bond strength of root-end filling materials. *Brazilian dental journal*. 2015;26:288-291.
162. Govindaraju L, Neelakantan P, Gutmann JL. Effect of root canal irrigating solutions on the compressive strength of tricalcium silicate cements. *Clinical oral investigations*. 2017;21(2):567-571.
163. Guneser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *Journal of endodontics*. 2013;39(3):380-384.
164. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. The biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and Portland cement on dentin enhances the push-out strength. *Journal of endodontics*. 2010;36(2):286-291.
165. Özgür U. Deneysel endodontide üç boyutlu rekonstrüksiyon çalışmaları. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 24(3):181-186.
166. Sauáia TS, Gomes BP, Pinheiro ET, Zaia AA, Ferraz CCR, Souza-Filho FJ. Microleakage evaluation of intraorifice sealing materials in endodontically treated teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2006;102(2):242-246.
167. John AD, Webb TD, Imamura G, Goodell GG. Fluid flow evaluation of Fuji Triage and gray and white ProRoot mineral trioxide aggregate intraorifice barriers. *Journal of Endodontics*. 2008;34(7):830-832.
168. Nagas E, Uyanik O, Altundasar E, Durmaz V, Cehreli Z, Vallittu PK, Lassila LVJ. Effect of different intraorifice barriers on the fracture resistance of roots obturated with Resilon or gutta-percha. *Journal of endodontics*. 2010;36(6):1061-1063.
169. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*. 1984;58(5):589-599.

170. Retief D. Standardizing laboratory adhesion tests. *American journal of dentistry*. 1991;4(5):231-236.
171. Rueggeberg F. Substrate for adhesion testing to tooth structure-Review of the literature: A report of the ASC MD156 Task Group on Test methods for the adhesion of restorative materials Accredited standards committee MD156 for dental materials and devices. *Dental Materials*. 1991;7(1):2-10.
172. Demarco F, Ramos O, Mota C, Formolo E, Justino LM. Influence of different restorative techniques on microleakage in class II cavities with gingival wall in cementum. *Operative dentistry*. 2001;26(3):253-259.
173. İpek İ, Ünal M, Güner A, Candan M. Push-out bond strength of Biodentine, MTA repair HP, and a new pre-mixed NeoPutty bioactive cement: scanning electron microscopy energy dispersive X-ray spectroscopy analysis. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2021;1-9.
174. Alamoudi RA, Abu Zeid ST. Effect of Irrigants on the Push-Out Bond Strength of Two Bioceramic Root Repair Materials. *Materials*. 2019;12(12):1921.
175. Prasanthi P, Garlapati R, Nagesh B, Sujana V, Naik KMK, Yamini B. Effect of 17% ethylenediaminetetraacetic acid and 0.2% chitosan on pushout bond strength of biodentine and ProRoot mineral trioxide aggregate: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2019;22(4):387.
176. Akkaya N, Zıraman F. Çeşitli İrrigasyon Solüsyonlarının Üç Farklı Perforasyon Tamir Materyalinin Bağlanma Dayanımına Etkisinin Değerlendirilmesi. Endodonti Anabilim Dalı. Uzmanlık Tezi, Ankara: Ankara Üniversitesi, 2017.
177. Neelakantan P, Nandagopal M, Shemesh H, et al. The effect of root dentin conditioning protocols on the push-out bond strength of three calcium silicate sealers. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2015;60:104-108.
178. Reboloso de Barrio E, Gancedo-Caravia L, García-Barbero E, Pérez-Higueras JJ. Effect of exposure to root canal irrigants on the push-out bond strength of calcium silicate-based cements. *Clinical Oral Investigations*. 2021;25(5):3267-3274.
179. Huffman B, Mai S, Pinna L, et al. Dislocation resistance of ProRoot Endo Sealer, a calcium silicate-based root canal sealer, from radicular dentine. *International Endodontic Journal*. 2009;42(1):34-46.
180. Sudsangiam S, van Noort R. Do dentin bond strength tests serve a useful purpose. *J Adhes Dent*. 1999;1(1):57-67.
181. Collares F, Portella F, Rodrigues S, et al. The influence of methodological variables on the push-out resistance to dislodgement of root filling materials: a meta-regression analysis. *International endodontic journal*. 2016;49(9):836-849.
182. Nagas E, Kucukkaya S, Eymirli A, et al. Effect of laser-activated irrigation on the push-out bond strength of ProRoot Mineral Trioxide Aggregate and Biodentine in furcal perforations. *Photomedicine and laser surgery*. 2017;35(4):231-235.
183. Guo Y-j, Du T-f, Li H-b, et al. Physical properties and hydration behavior of a fast-setting bioceramic endodontic material. *BMC oral health*. 2016;16(1):1-6.
184. Ballal V, Marques J, Campos C, et al. Effects of chelating agent and acids on Biodentine. *Australian Dental Journal*. 2018;63(2):170-176.
185. Marcaccini AM, Pavanelo Â, Nogueira AVB, et al. Morphometric study of the root anatomy in furcation area of mandibular first molars. *Journal of applied oral science*. 2012;20(1):76-81.
186. Akbulut MB, Bozkurt DA, Terlemez A, Akman M. The push-out bond strength of BIOfactor mineral trioxide aggregate, a novel root repair material. *Restorative dentistry & endodontics*. 2019;44(1).

187. Han L, Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *International endodontic journal*. 2011;44(12):1081-1087.
188. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. Biomineralization ability and interaction of mineral trioxide aggregate and white portland cement with dentin in a phosphate-containing fluid. *Journal of endodontics*. 2009;35(5):731-736.
189. Han L, Okiji T, Okawa S. Morphological and chemical analysis of different precipitates on mineral trioxide aggregate immersed in different fluids. *Dental Materials Journal*. 2010;29(5):512-517.
190. Gandolfi MG, Taddei P, Modena E, et al. Biointeractivity-related versus chemi/physisorption-related apatite precursor-forming ability of current root end filling materials. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2013;101(7):1107-1123.
191. Han L, Kodama S, Okiji T. Evaluation of calcium-releasing and apatite-forming abilities of fast-setting calcium silicate-based endodontic materials. *International endodontic journal*. 2015;48(2):124-130.
192. Mehtälä P, Pashley D, Tjäderhane L. Effect of dimethyl sulfoxide on dentin collagen. *Dental Materials*. 2017;33(8):915-922.
193. Stape THS, Seseogullari-Dirihan R, Tjäderhane L, et al. A novel dry-bonding approach to reduce collagen degradation and optimize resin-dentin interfaces. *Scientific reports*. 2018;8(1):1-8.
194. Stape THS, Tjäderhane L, Abuna G, et al. Optimization of the etch-and-rinse technique: New perspectives to improve resin–dentin bonding and hybrid layer integrity by reducing residual water using dimethyl sulfoxide pretreatments. *Dental Materials*. 2018;34(7):967-977.
195. Lindblad R, Lassila L, Vallittu P, et al. The effect of chlorhexidine and dimethyl sulfoxide on long-term sealing ability of two calcium silicate cements in root canal. *Dental Materials*. 2021;37(2):328-335.
196. Coomaraswamy KS, Lumley PJ, Hofmann MP. Effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic Portland cement-based (MTA-like) system. *Journal of endodontics*. 2007;33(3):295-298.
197. Tanomaru-Filho M, Morales V, da Silva GF, et al. Compressive strength and setting time of MTA and Portland cement associated with different radiopacifying agents. *International Scholarly Research Notices*. 2012;2012.
198. Geiker M. Studies of Portland cement hydration by measurements of chemical shrinkage and a systematic evaluation of hydration curves by means of the dispersion model. *Technical University of Denmark* 1983.
199. Shahi S, Yavari HR, Esk M, Rahimi S, Sadrhaghighi H. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) and Portland cement as root-end filling materials: A scanning electron microscopy (SEM) study. *African Journal of Biotechnology*. 2011;10(71):16084-16088.
200. Pelepenko LE, Saavedra F, Antunes TB, Bombarda Gabriela F, Gomes Brenda PFA, Zaia AA, Camilleri J, Marciano MA. Physicochemical, antimicrobial, and biological properties of White-MTAFlow. *Clinical Oral Investigations*. 2021;25(2):663-672.
201. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghoddusi J. Effect of two storage solutions on surface topography of two root-end fillings. *Australian Endodontic Journal*. 2009;35(3):147-152.

202. Lee Y-L, Lin F-H, Wang W-H, Ritchie HH, Lan W-H, Lin C-P. Effects of EDTA on the hydration mechanism of mineral trioxide aggregate. *Journal of dental research*. 2007;86(6):534-538.
203. Smith JB, Loushine RJ, Weller RN, et al. Metrologic evaluation of the surface of white MTA after the use of two endodontic irrigants. *Journal of endodontics*. 2007;33(4):463-467.
204. de Barrio ER, Gancedo-Caravia L, García-Barbero E, Pérez-Higueras JJ. Effect of exposure to root canal irrigants on the push-out bond strength of calcium silicate-based cements. *Clinical Oral Investigations*. 2020:1-8.
205. Uyanik MO, Nagas E, Sahin C, Daglı F, Cehreli Z. Effects of different irrigation regimens on the sealing properties of repaired furcal perforations. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009;107(3):e91-e95.
206. Hong S-T, Bae K-S, Baek S-H, Kum K-Y, Shon W-J, Lee W. Effects of root canal irrigants on the push-out strength and hydration behavior of accelerated mineral trioxide aggregate in its early setting phase. *Journal of endodontics*. 2010;36(12):1995-1999.
207. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *Journal of endodontics*. 2006;32(6):569-572.
208. Loxley EC, Liewehr FR, Buxton T, McPherson III JC. The effect of various intracanal oxidizing agents on the push-out strength of various perforation repair materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2003;95(4):490-494.
209. Tesch W, Eidelman N, Roschger P, Goldenberg F, Klaushofer K, Fratzl P. Graded microstructure and mechanical properties of human crown dentin. *Calcified Tissue International*. 2001;69(3).
210. Gandolfi M, Taddei P, Tinti A, Prati C. Apatite-forming ability (bioactivity) of ProRoot MTA. *International endodontic journal*. 2010;43(10):917-929.
211. Voicu G, Bădănoiu A, Ghițulică C, Andronescu E. Sol-gel synthesis of white mineral trioxide aggregate with potential use as biocement. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 2012;7(4):1639-1646.
- shout bond strengths of white mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2012;38(4):501-504.
213. Çelik D, Er K, Serper A, Taşdemir T, Ceyhanlı KT. Push-out bond strength of three calcium silicate cements to root canal dentine after two different irrigation regimes. *Clinical oral investigations*. 2014;18(4):1141-1146.
214. Adl, A, Sadat Shojaee N, Pourhatami N. Evaluation of the dislodgement resistance of a new pozzolan-based cement (EndoSeal MTA) compared to ProRoot MTA and Biodentine in the presence and absence of blood. *Scanning* 2019.
215. Shokouhinejad N, Razmi H, Nekoofar MH, Sajadi S, Dummer PMH, Khoshkhounejad M. Push-out bond strength of bioceramic materials in a synthetic tissue fluid. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*. 2013;10(6):540.
216. Shokouhinejad N, Yazdi KA, Nekoofar MH, Matmir S, Khoshkhounejad M. Effect of acidic environment on dislocation resistance of endosequence root repair material and mineral trioxide aggregate. *Journal of dentistry (Tehran, Iran)*. 2014;11(2):161.
217. Kadić S, Baraba A, Miletić I, Ionescu A, Brambilla E, Ivanišević Malčić A, Gabrić D. Push-out bond strength of three different calcium silicate-based root-end filling materials after ultrasonic retrograde cavity preparation. *Clinical oral investigations*. 2018;22(3):1559-1565.

218. Dawood AE, Manton DJ, Parashos P, Wong RHK, Palamara JEA, Reynolds EC. Push-out bond strength of CPP-ACP-modified calcium silicate-based cements. *Dental materials journal*. 2015;34(4):490-494.
219. Saghiri MA, Garcia-Godoy F, Gutmann JL, Lotfi M, Asatourian A, Ahmadi. Push-out bond strength of a nano-modified mineral trioxide aggregate. *Dental Traumatology*. 2013;29(4):323-327.



EKLER

EK-1 ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nihan ÇELİK UZUN
Eğitim	
Lise	Akçaabat Y.D.A. Lisesi (2008)
Lisans	Marmara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi (2011-2017)
Uzmanlık	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Endodonti Anabilim Dalı (2018-2022)
Yabancı Dil	
İngilizce	