



T.C.

RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ ENDODONTİ

ANABİLİM DALI

**REJENERASYON TEDAVİSİNDE KULLANILAN
PROROOT MTA VE ENDOCEM PREMİXED MTA’NIN,
FARKLI ÇÖZÜCÜ SOLÜSYONLAR ALTINDA KANALDAN
UZAKLAŞTIRILMA ETKİNLİĞİNİN MİKRO BT İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Uzmanlık Tezi

Dt. Feyza ÇETİNKAYA

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN

RİZE

2023

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endodonti Ana bilim dalında, Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN danışmanlığında, Arş. Gör. Dt. Feyza ÇETİNKAYA tarafından hazırlanan “Rejenerasyon Tedavisinde Kullanılan Proroot Mta Ve Endocem Premixed Mta’nın, Farklı Çözücü Solüsyonlar Altında Kanaldan Uzaklaştırılma Etkinliğinin Mikro Bt İle Değerlendirilmesi” adlı bu tez çalışması, 15.02.2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı, Adı Soyadı

İmza

Başkan:

Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN

(Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

Üye:

Prof. Dr. Ali KELEŞ

(Abant İzzet Baysal Üniversitesi)

Üye:

Dr. Öğr. Üyesi Banu ARICIOĞLU

(İstanbul Medeniyet Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
İÇİNDEKİLER	II
ETİK BEYAN.....	IV
ÖNSÖZ	V
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. İmmatür Daimi Dişlerde Endodontik Tedaviler	4
2.1.1. Apeksifikasyon Tedavisi.....	4
2.1.1.1. Kalsiyum Hidroksit ile Apeksifikasyon	4
2.1.1.2. MTA ile Apeksifikasyon	5
2.2. Rejeneratif Endodontik Tedavi	6
2.2.2. RET Prosedürü.....	6
2.2.3. Enfeksiyon Kontrolü.....	10
2.2.3.1 RET’de kullanılan irrigasyon solüsyonları	10
2.2.3.2. RET’de Kullanılan Kanal İçi Medikamentler	11
2.2.4 RET’de Kullanılan Bariyer Materyalleri	12
2.2.4.1. Mineral Trioksit Agregat.....	12
2.2.4.1.1. Proroot MTA	13
2.2.4.1.2. Endocem MTA Premixed.....	15
2.2.4.2. Biodentine.....	16
2.2.4.3. Endosequence Kök Tamir Materyali (ERRM).....	16
2.2.5. RET’de Başarısızlık	16
2.2.5.1. RET’de Kullanılan Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Uzaklaştırılması	17
2.2.5.1.1. Mekanik Olarak Uzaklaştırma.....	18
2.2.5.1.2. Kimyasal Çözücüler ile Uzaklaştırma	19
2.2.5.2. Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Kanaldan Uzaklaştırılma Başarısının Değerlendirilmesi.....	21
2.2.5.2.1. Radyografik Yöntem	21

2.2.5.2.2. Kesit Alma Yöntemi	21
2.2.5.2.3. Şeffaflaştırma Yöntemi	21
2.2.5.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	22
2.2.5.2.5. Bilgisayarlı Tomografi	22
2.2.5.2.6. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi	22
2.2.5.2.7. Mikro Bilgisayarlı Tomografi	23
3.MATERYAL VE METOD.....	27
3.1. Örneklerin Seçilmesi ve Hazırlanması.....	27
3.2. Koronal Bariyer Materyallerinin Mikro BT ile İncelenmesi	32
3.3. Koronal bariyer materyallerinin Uzaklaştırılması.....	34
3.4. Koronal Bariyer Materyallerinin Uzaklaştırma Sürelerinin Belirlenmesi .	34
3.5. Koronal Bariyer Materyalleri Uzaklaştırıldıktan Sonra Örneklerin Mikro BT ile Değerlendirilmesi	35
3.6. BioPure MTAD ve Sitrik asit Uygulanması	35
3.7. İrrigasyon Sonrası Örneklerin Mikro BT ile Değerlendirilmesi	36
3.8. İstatistiksel Analiz.....	36
BULGULAR.....	37
4.1. Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Başlangıç Hacim Bulguları	37
4.2. Ultrasonik Enstrümantasyon Sonrası Kalan Madde Miktarı	37
4.3. Asidik Solüsyonlarla İlave İrrigasyon Sonrası Kalan Madde Miktarı	39
4.4. Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Uzaklaştırılma Süreleri	41
5. TARTIŞMA.....	42
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	51
7. KAYNAKÇA	52
EKLER.....	66
EK-1 Etik Kurul Kararı	66

ETİK BEYAN

Endodonti Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Rejenerasyon Tedavisinde Kullanılan Proroot Mta Ve Endocem Premixed Mta’nın, Farklı Çözücü Solüsyonlar Altında Kanaldan Uzaklaştırılma Etkinliğinin Mikro Bt İle Değerlendirilmesi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Usul ve Esaslarına uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve/veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

15/02/2023

(İmza)

Feyza ÇETİNKAYA

ÖNSÖZ

Bu çalışma kalsiyum silikat esaslı simanların ultrasonik enstrümantasyon ile uzaklaştırılma etkinliğini ve farklı çözücü solüsyonların uzaklaştırmaya etkisini değerlendirmek amacıyla hazırlandı.

Uzmanlık eğitim sürecim boyunca klinik birikimini, bilgilerini ve yaşam tecrübelerini benimle paylaşan; tez süresince sabır ve hoşgörü ile desteğini eksik etmeyen; uzmanlık süresince karşılaştığım tüm zorluklarda bana yardımcı olan; çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca değerli bilgilerini esirgmeden benimle paylaşan sevgili Dr. Öğr. Üyesi Banu ARICIOĞLU'na,

Tez çalışmamda büyük emeği olan ve bu süreçte desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Ali KELEŞ'e,

Tez çalışmamın laboratuvar aşamalarında destek veren saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Şengül Alpay KARAOĞLU ve Prof. Dr. Fatih İSLAMOĞLU'na,

Asistanlık hayatımın bana kattığı, ilk günden beri her koşulda beraber gülebildiğim eşkıdemlilerim Dt. Merve ÇOBAN ÖKSÜZER ve Dt. Mehmet Umutcan DOĞAN'a, aynı ortamda çalışmaktan keyif aldığım her ihtiyaç duyduğumda yanımda olan tüm asistan arkadaşlarıma ve bölüm personelimize,

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi, ellerini üzerimden bir an olsun çekmeyen benim için her türlü fedakârlığı yapan canım annem Cahide GÜR, babam Mehmet Ali GÜR ve hayatımdaki en büyük şanslarımdan olan Dr. Fatih GÜR'e,

Her zaman olduğu gibi uzmanlık sürecimde de beni destekleyen, bana yol gösterip sevgisiyle yolumu aydınlatan, tez çalışmamdaki en büyük yardımcım canım eşim Dt. Özgür ÇETİNKAYA'ya,

Tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: TDH-2022-1422

Feyza ÇETİNKAYA, 2023- RİZE

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı: Endodonti

Tez Türü: Uzmanlık Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN

Hazırlayan: Arş. Gör. Dt. Feyza ÇETİNKAYA

Yıl: 2023

Sayfa Sayısı: 66

ÖZET

Rejenerasyon Tedavisinde Kullanılan Proroot Mta Ve Endocem Premixed Mta'nın, Farklı Çözücü Solüsyonlar Altında Kanaldan Uzaklaştırılma Etkinliğinin Mikro Bt İle Değerlendirilmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı, rejeneratif endodontik tedavi (RET) prosedürüne göre koronal üçlüye uygulanan ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'in ultrasonik enstrümantasyon ile uzaklaştırılma etkinliğini değerlendirmek ve farklı asidik solüsyonların materyal uzaklaştırılmasına etkisini incelemektir.

Materyal ve Metod: Bu çalışmada 40 adet çekilmiş daimi üst santral diş kullanıldı. Giriş kavitesi preparasyonunun ardından peeso reamer frezler ile immatür diş simülasyonu gerçekleştirildi. Örnekler RET prokolüne uygun olarak dezenfeksiyon amacıyla %1.5 NaOCl ile irrigasyon yapıldı ve kanal içi medikament olarak kalsiyum hidroksit yerleştirildi. Örnekler iki hafta, 37°C'de PBS (Fosfat Tamponlu Salin) içerisinde inkübe edildi. Ardından %17 EDTA ile irrigasyon yapıp örnekler koronal bariyer materyaline göre rastgele 2 gruba (n=20) ayrıldı: Grup 1: ProRoot MTA, Grup 2: Endocem MTA Premixed. Materyaller üretici firma talimatları doğrultusunda hazırlanarak örnekler yerleştirilip iki hafta inkübe edildi. Ardından örnekler mikro BT ile tarandı. Mikro BT taramasından sonra dental operasyon mikroskobu altında Woodpecker DTE S6 ultrasonik cihazı ve Bust 03-05 uçları kullanılarak ultrasonik enstrümantasyon ile materyaller uzaklaştırıldı. Uzaklaştırma süreleri dijital kronometre ile kaydedildi. Örneklerin tekrar mikro BT taraması yapıldı. Tarama sonrasında her bir materyal grubu 2 alt gruba (n=10) ayrıldı: 1. Grup BioPure MTAD ve 2. grup %10 sitrik asit ile irrigate edildikten sonra tekrar mikro BT taraması yapıldı. Elde edilen görüntüler DataView yazılımında pozisyonlandırılıp CTAn yazılımı ile incelendi. Kalan materyal hacmi (mm³) ölçülerek uzaklaştırılamayan madde miktarı yüzde olarak ifade edildi. Elde edilen veriler IBM SPSS 25 programında istatistiksel olarak analiz edildi. Ultrasonik enstrümantasyon ve irrigasyon sonrası kalan dolgu maddesinin gruplar içinde ve gruplar arasındaki yüzde farklılıkları sırasıyla bağımsız örneklem t testi, kruskal wallis testi ve mann whitney u testi kullanılarak istatistiksel olarak karşılaştırıldı. p<0.05 değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Bulgular: Kullanılan materyallerin başlangıç hacimleri arasında anlamlı fark görülmedi(p>0.05).Ultrasonik enstrümantasyon sonrası uzaklaştırılamayan madde miktarı ProRoot MTA grubunda(%0.747) Endocem MTA Premixed grubuna(%0.009) göre anlamlı derecede daha yüksekti(p<0.05).Gruplar arasında uzaklaştırılma süresi açısından anlamlı fark görülmedi(p>0.05).Her iki asidik solüsyon grubunda irrigasyon sonrası kalan madde miktarında anlamlı bir azalma tespit edilmedi(p>0.05).

Sonuç:Operasyon mikroskobu altında ultrasonik enstrümantasyon ile kalsiyum silikat esaslı materyallerin büyük ölçüde uzaklaştırılabildiği tespit edildi. Endocem MTA Premixed'in uzaklaştırılabilirliğinin anlamlı derecede daha yüksek olması nedeniyle retreatment gerektiren vakalarda avantaj sağlayabileceği öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: MTA uzaklaştırılması, rejenerasyon, mikro BT, ultrasonik

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Endodontics

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Asst. Prof. Ahter ŞANAL ÇIKMAN

Author : RA Dt. Feyza ÇETİNKAYA

Year : 2023

Pages : 68

ABSTRACT

Evaluation Of Proroot MTA And Endocem MTA Premixed Used In Regeneration Treatment, Removal Efficiency From The Canal Under Different Solvent Solutions By Micro CT

Aim: The aim of this study is to evaluate the removal efficiency of ProRoot MTA and Endocem MTA Premixed applied to the coronal third according to the regenerative endodontic treatment (RET) procedure by ultrasonic instrumentation and to examine the effect of different acidic solutions on material removal.

Materials and Methods In this study, 40 extracted permanent upper central teeth were used. After the access cavity preparation, immature tooth simulation was performed with peeso reamer burs. The samples were irrigated with 1.5% NaOCl for disinfection in accordance with the RET protocol and calcium hydroxide was placed as an intracanal medicament. Samples were incubated in PBS (Phosphate Buffered Saline) at 37°C for two weeks. Then irrigation was done with 17% EDTA and the samples were randomly divided into 2 groups (n=20) according to the coronal barrier material: Group 1: ProRoot MTA, Group 2: Endocem MTA Premixed. The materials were prepared in according to the manufacturer's instructions, placed in the samples and incubated for two weeks. Then the samples were scanned with micro CT. After scanning, materials were removed by ultrasonic instrumentation using Woodpecker DTE S6 ultrasonic device and Bust 03-05 tips under a dental operating microscope. Removal times were recorded with a digital stopwatch. Micro CT scan of the samples was performed again. After scanning, each material group was divided into 2 subgroups (n=10): Group 1 was BioPure MTAD and group 2 was irrigated with 10% citric acid, and then microCT scanning was performed again. Obtained images were positioned in DataViewer software and analyzed with CTAn software. The residual material that could not be removed by measuring the remaining material volume (mm³) was expressed as a percentage. The obtained data were statistically analyzed in IBM SPSS 25 program. The percentage differences of the remaining filling material before and after ultrasonic instrumentation within and between groups were statistically compared using the paired sample t test, kruskal wallis test and mann whitney u test, respectively. The significance level was determined as 5%.

Results: There was no significant difference between the initial volumes of the materials used (p>0.05). The residual material that could not be removed after ultrasonic instrumentation was significantly higher in the ProRoot MTA group (0.747%) compared to the Endocem MTA Premixed group (0.009%). There was no significant difference in terms of the amount of substance remaining after irrigation in both acidic solution groups (p>0.05).

Conclusion: It was determined that calcium silicate-based materials could be removed to a great extent by ultrasonic instrumentation under the operating microscope. It is predicted that Endocem MTA Premixed can be advantageous in cases requiring retreatment due to its significantly higher removal rate.

Key Words: MTA removal, regeneration, micro CT, ultrasonic tips

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

>: Büyüktür

<: Küçüktür

%: Yüzde

°C: Santigrat derece

µm: Mikrometre

3D: Üç boyutlu

AAE: Amerikan Endodonti Derneği

Ca: Kalsiyum iyonu

Ca(OH)₂: Kalsiyum hidroksit

CHX: Klorheksidin glukonat

DAP: İkili antibiyotikli pat (Double Antibiotic Paste)

dk: Dakika

DMSO: Dimetil sülfoksit

EDTA: Etilen diamin tetraasetik asit

ERRM: Endosequence Kök Tamir Materyali

FDA: Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration)

HCl: Hidroklorik asit

ISO: Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu (International Standard of Organization)

KIBT: Konik ışıklı bilgisayarlı tomografi

kV: Kilovolt

mA: Miliamper

Mikro BT: Mikro bilgisayarlı tomografi

ml: Mililitre

mm: Milimetre

mm³: Milimetreküp

MPa: Megapaskal

MTA: Mineral trioksit agregat

NaOCl: Sodyum hipoklorit

p: Anlamlılık değeri

PBS: Tamponlanmış Salin Solüsyonu (Phosphat Buffered Salin)

pH: Power of hydrogen

PRF: Plateletten zengin fibrin

PRP: Plateletten zengin plazma

RET: Rejeneratif endodontik tedavi

RTEÜ: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

SEM: Taramalı elektron mikroskobu

sn: Saniye

TAP: Üçlü antibiyotik patı (Triple Antibiotic Paste)



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. RET basamaklarının şematik gösterimi.	9
Şekil 2. MTA uzaklaştırma kitinde bulunan uçlar.....	19
Şekil 3. Mikro BT bileşenleri	24
Şekil 4. Örnek sayılarının belirlendiği Power analizi	28
Şekil 5. Deneysel prosedürün şematik gösterimi.....	28
Şekil 6. Giriş kavitesi preparasyonu ve Açık apeks simülasyonu	29
Şekil 7. Kalsiyum hidroksit ve kök kanalına yerleştirilmesi	29
Şekil 8. PBS içerikli eppendorf tüpte bekletilen örnekler	30
Şekil 9. İnkübatör	30
Şekil 10. EM Premixed.....	31
Şekil 11. PR MTA	31
Şekil 12. Çalışmada kullanılan MTA'lar ve içerikleri	31
Şekil 13. Retrograd olarak teflon bant yerleştirilmesi	32
Şekil 14. SkyScan 1272 Mikro BT cihazı	32
Şekil 15. DataViewer görüntüsü.....	33
Şekil 16. CTAn yazılımı görüntüsü	33
Şekil 17. Çalışmada kullanılan ultrasonik cihaz.....	34
Şekil 18. Bust 03 ve 05 uçlar	34
Şekil 19. Çalışma grupları	35
Şekil 20. BioPure MTAD	36
Şekil 21. A. EM Premixed, B.PR MTA mikro BT görüntüsü.....	37
Şekil 22. Koronal bariyer materyalleri işlem öncesi- sonrası mikro BT görüntüleri	38
Şekil 23. Koronal bariyer materyalleri işlem öncesi- sonrası 3 boyutlu görüntüleri.	41

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Başlangıç Hacimlerinin Karşılaştırılması (mm ³)	37
Tablo 2. Ultrasonik Enstrümantasyon Sonrası Kalan Madde Miktarlarının Karşılaştırılması (%).....	38
Tablo 3. İlave İrrigasyon Sonrası Kalan Madde Miktarlarının Karşılaştırılması (%)39	
Tablo 4. İrrigasyon Öncesi ve Sonrası Hacim Ölçümlerinin Karşılaştırılması (%)..	40
Tablo 5. Materyallere Göre Materyal Delinmesi ve Tamamen Uzaklaştırma Süre Ortalamalarının Karşılaştırılması (dk)	41



1. GİRİŞ

Dişlerin gelişimi temel olarak hücre proliferasyonu ve farklılaşması ile meydana gelen karmaşık ve uzun bir süreçtir¹. Bir dişin ağız boşluğuna sürdükten sonra kök gelişiminin tam olarak gerçekleşebilmesi için 3 yıla ihtiyacı vardır². Bu dönemde çürük, travma ve dental anomali nedeniyle bu dişlerin pulpasında enflamasyon oluşabilir ve pulpa nekrozuna sebep olabilir. Bu süreçte görülen pulpa nekrozu kök gelişimini durdurur ve dişin yapısal olarak daha zayıf ve kırılgan olmasına neden olur^{3,4}. Pulpa nekrozu sonrası kronik periodontitis ve akut apikal abse görülebilmekte ve endodontik tedavi gerektirmektedir⁵. Ancak kök gelişimini tamamlamamış dişlerin geniş bir kök kanalına ve ince ve kırılgan dentin duvarlarına sahip olması, ayrıca kök ucunun açık ve düzensiz olması bu dişlere endodontik tedavi uygulamayı zorlaştırmaktadır⁶.

İmmatür daimi dişlerin geleneksel tedavi yöntemleri arasında kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ve mineral trioksit agregat (MTA) ile apeksifikasyon bulunmaktadır^{7,8}. Apeksifikasyon, apikal bariyer oluşumunu indüklemek için bir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ patının veya apeksin mekanik olarak kapatılması için MTA'nın kullanıldığı bir geleneksel tedavi yöntemidir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile uygulanan apeksifikasyon tedavisinde uzun süren ve tekrar eden seanslara rağmen apikalde bariyer oluşumunu sağlamanın güç olduğu, uzun süre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ uygulamanın diş yapısını zayıflattığı ve kırılma yatkınlığını artırdığı bilinmektedir^{9,10}. MTA ile tek seansta yapılan apeksifikasyon tedavisinde klinik tedavi süresi azalırken kök gelişiminin devamı ve dişin apikalinde kalsifiye bariyer oluşumu sağlanamamaktadır¹¹. Apeksifikasyon yöntemi ile apikalde bir bariyer oluşturularak ve periapikal lezyonların iyileşmesine yardımcı olunarak klinik başarıya ulaşılabilir. Ancak kök kanal duvarlarının kalınlık ve genişliği ile kök uzunluğunda bir artış gözlenmez¹². Bunun sonucunda ince ve kırılgan kökler kalmaktadır⁷. Bu sebeplerden dolayı son zamanlarda apeksifikasyon tedavisi yerine kök gelişimini devam ettirerek dentin duvarlarının kalınlaşmasına ve apeksin kapanmasına olanak sağlayan rejeneratif endodontik tedavi (RET) kabul görmeye başlamıştır¹³.

RET ile kök kanal boşluğu içinde mikroorganizmalar olmadığında, progenitor hücre ve üç boyutlu doku iskelesi varlığında, devital immatür daimi dişlerde doku onarımının yapılabileceği gösterilmiştir^{14,15}.

Günümüzde RET protokolü immatür devital daimi dişlerde sıklıkla tercih edilmektedir¹⁶.

RET’de amaç patolojik semptomların ortadan kalkmasına ek olarak kök kanalı içerisinde kök hücrelerin uyarılması veya kök hücrelerin kök kanalı içerisine nakli ile nekrotik pulpanın fonksiyonunu geri kazanmasıdır^{17,18}.

RET klinik prosedüründe ilk aşama kök kanalının irrigasyon solüsyonları ve antibiyotikli pat veya Ca(OH)₂ ile dezenfeksiyonunu içerir. İkinci aşamada kök kanalı içerisindeki medikamentin uzaklaştırılmasından sonra kök hücrelerin tutunacağı bir iskele oluşturulması ve MTA ile koronal tıkaç oluşturularak koronal restorasyonun tamamlanmasıdır^{12,19,20}.

Klinik belirti ve semptomların olmaması, periapikal bölgenin iyileşmesi başarılı bir RET için temel belirtiler olarak kabul edilmektedir. Kök duvarlarının kalınlığındaki artış, kök uzunluğundaki artış, dişin canlılığını tekrar kazanması ek hedefler olarak kabul edilmekte ve yüksek başarı seviyesini göstermektedir²¹.

Literatürde başarısız RET vakaları bazı raporlarda gösterilmiştir^{22,23}. RET’in başarısız olduğu durumlarda dişin yeniden tedavi edilebilmesi için restorasyonun ve koronal üçlüde tıkama amaçlı kullanılan materyalin tamamen uzaklaştırılabilmesi önemli bir adımdır. Kök kanalına uygulanan MTA’nın uzaklaştırılması amacıyla çeşitli yöntemler denenmiştir. K file eğe, rotary peeso reamerlar ve ultrasonik uçların MTA uzaklaştırılma etkinliğinin değerlendirildiği çalışmada ultrasonik sistemlerin üstünlüğü gösterilmiştir²⁴. Boutsoukis ve arkadaşları rotary eğe sistemleri ile MTA sökümünün imkansız olduğunu ve ultrasonik enstrümantasyonun MTA uzaklaştırmada rotary eğelerden daha üstün bulunduğunu göstermesine rağmen MTA’nın mekanik olarak kök kanal sisteminden uzaklaştırılamayacağını bildirmiştir²⁵. RET’in başarısız olduğu bir vaka raporunda koronal üçlüde bulunan MTA bol irrigasyon altında Cavitron ile uzaklaştırmıştır²⁶.

Literatürdeki farklı asidik solüsyonların kanal içinden MTA uzaklaştırma etkinliği inceleyen sınırlı sayıda çalışma vardır²⁷⁻³². MTA’nın yüzey mikrosertliğine %20 tartarik asit, %2 karbonik asit, %10 sitrik asit, %2 klorheksidin, %5.25 NaOCl (sodyum hipoklorit) ve salinin etkisi araştırılmıştır. Uygulanan %2 karbonik asit, %10 sitrik asit ve %20 tartarik asitin MTA’nın yüzey mikrosertliğini azalttığı görülmüştür²⁷. Saghiri’nin yaptığı çalışmada HCl(hidroklorik asit)’nin MTA’nın

bağlanma dayanımı ve mikrosertliğini azaltarak MTA'nın kanaldan uzaklaştırılmasında etkili olduğunu bildirmiştir³³. Klorheksidin, %17 EDTA(Etilen diamin tetra asetik asit), karbonik asit ve salinin MTA çözünürlüğüne etkisinin incelendiği bir çalışmada; EDTA'nın yüzey çözünürlüğü üzerinde etkisinin olmadığı, klorheksidinin sadece 1. günde yüzeyde çözünme meydana getirebildiği, karbonik asitin ise 21 gün sonra da yüzey çözünmesi meydana getirebildiği ortaya konmuştur³⁴. Başka bir çalışmada EDTA ve Biopure MTAD'nin, MTA'nın yüzey özellikleri, yapısal karakteristiği ve çözünürlüğünü incelemiştir. Biopure MTAD'nin daha fazla madde uzaklaştırdığı, yüzey pürüzlülüğünü daha fazla artırdığı ve daha fazla kalsiyum ekstrakte edildiğini gözlemlemişler³¹.

Bu çalışma, RET prosedürüne göre koronal üçlüye uygulanan ProRoot MTA ve Endocem MTA Premixed'in ultrasonik enstrümantasyon ile uzaklaştırılma etkinliğini değerlendirmek ve farklı asidik solüsyonların materyal uzaklaştırılmasına etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın birinci sıfır hipotezi Endocem MTA Premixed ve Proroot MTA arasında kök kanalından ultrasonik enstrümantasyon ile uzaklaştırılma etkinliği açısından fark olmayacağıdır. Çalışmanın ikinci sıfır hipotezi ise Biopure MTAD ve %10 sitrik asit irrigasyonun uzaklaştırılma etkinliğini etkilemeyeceğidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İmmatür Daimi Dişlerde Endodontik Tedaviler

İmmatür diş pulpasının nekroz olması kök gelişiminin durmasına ve apikal kapanmanın gerçekleşmemesine neden olur¹¹. İmmatür daimi dişlerin endodontik tedavisi ile apikal bölgedeki patolojiler iyileşmeli, mevcut semptomlar düzelmeli, duraklayan kök gelişimi apikal kapanmayı da sağlayacak şekilde devam etmeli ve pulpanın fonksiyonları geri kazandırılmalıdır³⁵. İnce kök duvarları, kök boyunun kısa olması, kök kanalı ve apeksin geniş olması gibi nedenler endodontik tedaviyi zorlaştırmaktadır³⁶. Kök kanallarının mekanik olarak temizlenmesi mümkün olmadığından dezenfeksiyonu daha çok irrigasyon solüsyonları ve kanal içi medikamentler ile sağlanmaktadır³⁷.

Kök gelişimi durmuş, devital genç daimi dişlerin tedavisinde apikal bölgenin doğal veya yapay bir bariyerle kapatılması veya kök gelişiminin devamını amaçlayan RET prosedürleri uygulanabilmektedir.

2.1.1. Apeksifikasyon Tedavisi

Apeksifikasyon tedavisinde kök kanalından nekrotik pulpa dokusu uzaklaştırıldıktan sonra kanal içerisine antimikrobiyal ajan yerleştirilerek, açık olan apekte yapay veya doğal bir bariyer oluşturulması hedeflenmektedir. Apikal bariyer oluşturulduktan sonra kök kanalının 3 boyutlu dolumu sağlanabilmektedir³⁸. Bu dişlerde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile uzun dönem apeksifikasyon tekniği kullanılarak apikalde fizyolojik bir sert doku bariyeri oluşumu sağlanabilir veya MTA ile apikal plug tekniği kullanılarak tek seansta mekanik bir apikal bariyer elde edilebilir¹⁶.

2.1.1.1. Kalsiyum Hidroksit ile Apeksifikasyon

Apikal kapanma için $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanımı ilk olarak Granath tarafından bildirilmiştir³⁹. Frank geleneksel apeksifikasyon tedavisini 1966 yılından itibaren genç daimi dişlerin tedavisinde kullanılmak üzere tanımlamıştır⁴⁰.

Apeksifikasyon tedavisinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en sık kullanılan materyallerden biri olmuştur⁴¹. Geleneksel apeksifikasyonda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ enfeksiyonu kontrol etmenin yanında kök gelişimini de devam ettirebilmektedir^{42,43}. Apikal bariyerin sağlanması için enfeksiyon kontrolü önemlidir. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hidroksil iyonları sayesinde enfeksiyon kontrolünde önemli bir rol oynamaktadır⁴⁴. Bunun yanı sıra, yüksek pH seviyesi ile sert

doku oluşumunu indükleyerek apeksin sementoid, osteosementoid içerikli dokularla kapanmasını sağlamaktadır ⁴⁵.

Ca(OH)₂ ile apeksifikasyonda apikal bariyer oluşumu için genelde 20 ay kadar uzun süre gerekebilmektedir; yaş, periapikal radyolusensi ve semptomların varlığı gibi koşullar bu süreyi etkilemektedir⁴⁶.

Uzun süren Ca(OH)₂ tedavileri sonucu diş yapısı zayıflamakta, dişin kırılabilirliği artmakta ve tekrarlayan seanslar nedeniyle geçici restorasyonda sızıntı riski oluşabilmektedir. Apikal bariyerin sadece bir noktada oluşabilmesi, Ca(OH)₂'in dentin duvarlarından tamamen uzaklaştırılamaması, kanal duvarında kalan Ca(OH)₂'in çinko oksit içerikli patlarla etkileşime girerek zayıf kohezyona neden olması gibi dezavantajlara sahiptir^{9,13,47,48}. Bu sebeple araştırmacılar alternatif materyallere yönelmektedir⁴⁹.

2.1.1.2. MTA ile Apeksifikasyon

İlk olarak 1993 yılında tanıtılan MTA, 1998'de FDA (Food and Drug Administration) onayını almış ve 1999'da Torabinejad ve Chivian yapay bir apikal bariyer oluşturmada kullanılabileceğini öne sürmüştür⁵⁰. MTA ile apeksifikasyonda immatür daimi dişin enfeksiyon kontrolü sağlandıktan sonra biyouyumlu bir materyal ile apikal bölgenin tıkanmasının ardından endodontik tedavi tamamlanır⁵¹. En yaygın olarak MTA tercih edilmekle beraber birçok materyal apikal bariyer oluşturmak için kullanılmıştır^{9,52,53}. MTA; sızdırmazlık, boyutsal stabilite, biyouyumluluk, iyi bir tıkama sağlayabilme, bakteriyostatik etkinlik, radyopak olma ve obturasyonda güçlü klinik özellikler gösterme gibi bir çok nedenle sık tercih edilmektedir^{54,55}.

MTA'nın iyi obturasyonu sonucunda dişlerin horizontal ve vertikal kırıklara karşı direncinin arttığı çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir^{56,57}. Ayrıca, toksik olmayan bir materyal olan MTA'nın sementogenezi uyardığı da bildirilmiştir⁵². Fiziksel bir bariyer oluşturmak amacıyla kullanılabildiği gibi MTA, kemik ve periodonsiyum oluşumuna da yardımcı olmaktadır^{58,59}.

Kök gelişimi ve apikal kapanmanın sağlanamaması bu tekniğin en önemli dezavantajlarından^{13,60}. Kök gelişimini tamamlayamayan immatür dişler zayıf yapıları nedeniyle kırılabilir^{61,62}.

2.2. Rejeneratif Endodontik Tedavi

İmmatür daimi dişlerin gelişimi çürük, travma, dens evaginatus gibi nedenlerle durabilir⁶³. Pulpa nekrozunun sonucunda kırılmaya yatkın dişlerin tedavisi ile ağızda sağlıklı bir şekilde tutulması ve kök gelişiminin devamı amaçlanmaktadır⁶⁴. Rejenerasyon devital immatür dişler için etkili bir tedavi yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu tedavi ile kök gelişiminin devam etmesi, kaybedilen dokuların yenilenmesi ve kök hücre aracılı büyümenin teşviki amaçlanmaktadır⁶⁵. Dentin ve kök yapıları da dahil olmak üzere pulpa-dentin kompleksi hücreleri gibi hasarlı yapıları yenisi ile değiştirmek için tasarlanmış biyolojik temelli prosedürler RET olarak tanımlanmıştır¹⁵. Dr. Hermann'ın 1952'de yaptığı Ca(OH)₂ ile vital amputasyon çalışması ve Ostby'nin 1960'lı yıllarda endodontik tedavide kan pıhtısının rolünü değerlendirdiği çalışma rejeneratif tedaviye öncülük eden çalışmalardandır^{15,66}. RET ile ilgili olarak ilk vaka raporunu 2001'de Iwaya yayınlanmıştır. Bu vakada immatür, kronik apikal abse teşhisi konmuş insan mandibular premolar dışında apeksifikasyona alternatif bir tedavi olarak RET yapılmış, 30 ay sonra radyografide kök gelişimi izlenmiş ve elektrikli pulpa testine olumlu yanıt alınmıştır⁶⁷.

RET kök kanalının dezenfeksiyonunu, ardından MTA gibi biyoaktif bir malzeme ile uygulanan doku iskelesinin üzerinin kapatılmasını içerir⁶⁸.

RET'in başarısı; apikal periodontitisin iyileşmesi, kök duvarlarının uzaması ve kalınlaşmasına ek olarak pulpa canlılık testlerine olumlu yanıt alınması ile ilişkilidir⁶⁹.

2.2.2. RET Prosedürü

RET başarısı için vaka seçimi ve doğru endikasyon koyabilmek çok önemlidir. Vakaların büyük kısmı apeksi kapanmamış dişlerden oluşurken literatürde matür dişlerde RET uygulamalarını gösteren yayınlar da bulunmaktadır^{15,70}.

AAE (Amerikan Endodonti Derneği) 2021 yılında RET hakkında önerilerini yayınlamıştır²⁴¹. (Şekil 1) Klinisyenler bu alandaki güncel gelişmeleri takip etmelidir.

Vaka Seçimi

AAE, RET için endikasyonu bulunan durumları şu şekilde sıralamıştır:

- Nekrotik pulpa ve açık apekse sahip immatür dişler
- Post kor benzeri restorasyona ihtiyacı olmayan dişler
- Uyumlu hasta ve ebeveyn

- Tedavide kullanılan ilaç ve antibiyotiklere karşı alerjisi bulunmayan, fiziksel durumu Amerikan Anestezistler Derneği'ne (ASA) göre ASA 1 ve ASA 2 olan hastalar

AAE, RET klinik uygulama prosedürünü 2021 yılında güncellemiştir ²⁴¹.

Birinci Seans

- Lokal anestezi uygulanır ve rubber dam ile izolasyon sağlanır. Ardından giriş kavitesi açılır.

- 20 ml NaOCl ile irriganların periapikal bölgeye ekstrüzyon olasılığını en aza indiren bir irrigasyon sistemi kullanarak (kapalı uçlu ve yandan açılan enjektör veya EndoVac) bol ve nazik irrigasyon yapılır. NaOCl'nin düşük konsantrasyonları (%1.5- %3, 20 ml / kanal, 5 dakika) önerilir. Daha sonra apikal dokulardaki kök hücrelere sitotoksiteyi en aza indirmek için irrigasyon iğnesi kök ucundan yaklaşık 1 mm koronalde olacak şekilde salın veya EDTA (20 mL/kanal, 5 dakika) ile irriye edilir.

- Kanal kağıt kon yardımıyla kurulanır. Kalsiyum hidroksit veya düşük konsantrasyonda üçlü antibiyotik patı yerleştirilir. Üçlü antibiyotik patı (TAP) kullanılıyorsa:

1) Pulpa odasının [renklenme riskini en aza indirmek için] bir dentin bonding ajanla kapatılması düşünülmeli ve

2) 1:1:1 siprofloksasin: metronidazol: minosiklin 1-5 mg/ml'lik bir konsantrasyonda karıştırılmalıdır. Üçlü antibiyotik pat diş renklenmesi ile ilişkilendirilmiştir. Minosiklin içermeyen ikili antibiyotikli pat (DAP) veya minosiklin yerine başka bir antibiyotik (örn., klindamisin; amoksisilin, sefaklor) kullanımı kök kanal dezenfektanı olarak başka bir alternatiftir. Klinisyenler, çalışmaların daha yüksek konsantrasyonlarda TAP/DAP kullanılarak yapıldığının farkında olmalıdır, ancak sınırlı çalışmalar nedeniyle şu anda daha yüksek bir konsantrasyon önerisi yapılamaz.

- Medikament kanal içerisine uygulanır. TAP kullanılıyorsa, kron renklenmesini azaltmak için mine sement bileşiminin altında kaldığından emin olunmalıdır.

- Kavite 3-4mm Cavit™, IRM™, cam iyonomer siman veya başka bir geçici materyal ile kapatılır. Hastaya 1-4 hafta sonraya randevu verilir.

İkinci Seans

- İlk tedaviye yanıtı değerlendirilmelidir. Kalıcı enfeksiyon belirtileri/septomları varsa, alternatif antimikrobiyal ile ek tedavi süresi düşünülmelidir.

- Vazokonstriktörsüz %3 mepivakainli anestezi yapılır, rubber dam izolasyonu sağlanır.

- 20 ml %17 EDTA ile bol, nazik irrigasyon yapılır.

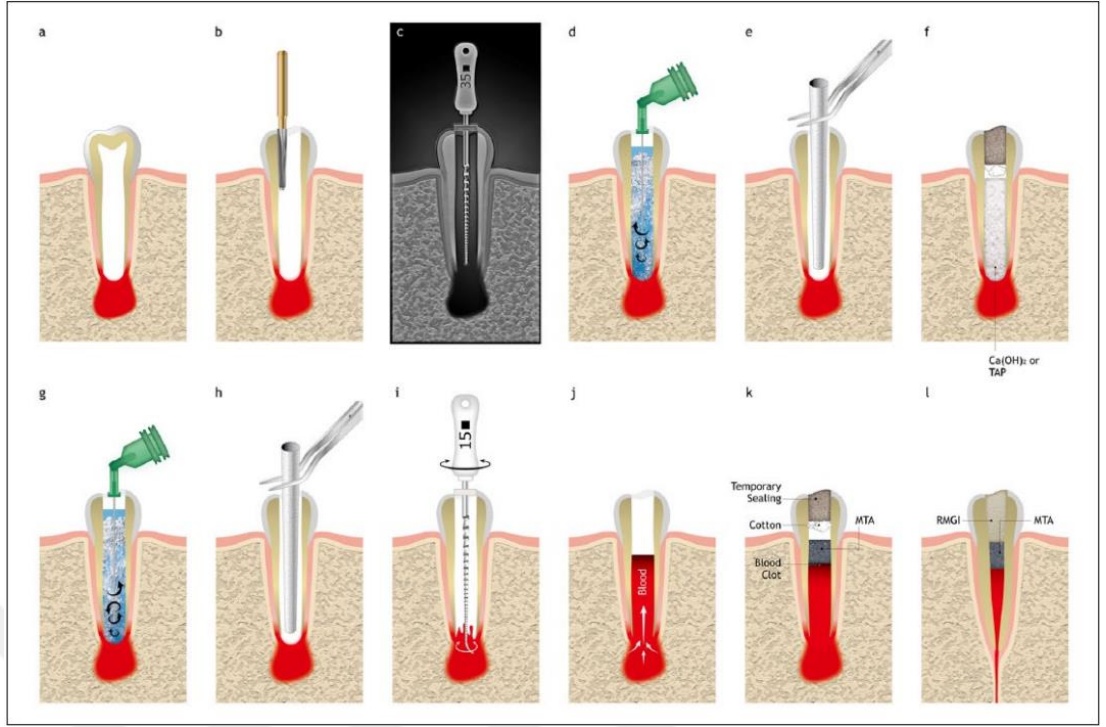
- Kağıt konlarla kurulanır.

- Taşkın enstrümantasyon ile kanal sistemine kanama oluşturulur. Önceden kavisli bir K eğe ile apikal foramenden 2 mm ötede döndürülerek semento enomel birleşime kadar tüm kanalın kanla doldurulması amacıyla indüklenir. Kan pıhtısı oluşturmaya bir alternatif, trombosit zengin plazma (PRP), trombosit zengin fibrin (PRF) veya otolog fibrin matrisinin (AFM) kullanılmasıdır.

- 3-4 mm restoratif materyale izin verecek düzeyde kanama durdurulur.

- Gerekirse kan pıhtısının üzerine CollaPlug™, Collacote™, CollaTape™ gibi rezorbe olabilen bir matriks uygulanabilir ve kaplama malzemesi olarak beyaz MTA kullanılır.

- 3-4 mm'lik bir cam iyonomer tabakası (örn. Fuji IX™, GC America, Alsip, IL) kaplama materyalinin üzerine yerleştirilir ve 40 s boyunca ışınlanır. MTA renk değişikliği ile ilişkilendirildiği için estetik kaygısı olan dişlerde MTA'ya alternatifler (biyoseramik veya trikalsiyum silikat simanlar [örn., Biodentine®, Septodont, Lancated, PA, ABD, EndoSequence® BC RRM-Fast Set Putty, Brasseler, ABD]) düşünülmelidir.



Şekil 1. RET basamaklarının şematik gösterimi. a-İmmatür diş, b-Giriş kavitesi açılması, c-Kanal boyu belirlenmesi, d-İrrigasyon protokolü, e-Kağıt konlarla kurulum, f –Kanal içi medikament yerleştirilmesi, g-2.seans irrigasyon protokolü, h- Kök kanallarının kurulanması, i-Apikal kanama oluşturulması, j-Kök kanalının kanla dolması, k-Pıhtının üzerinin MTA ile örtülmesi ve geçici dolgu uygulama, l-MTA sertleştikten sonra RMGIS uygulaması

Takip

Klinik ve radyografik muayenede

- Ağrı, yumuşak dokuda şişlik veya fistül bulunmaması
- Apikal radyolüsensinin çözülmesi (genellikle tedaviden 6-12 ay sonra gözlenmektedir)
- Kök duvarlarının genişliğinin artması (bu genellikle kök uzunluğundaki belirgin artıştan önce gözlenmekte ve genellikle tedaviden 12-24 ay sonra ortaya çıkmaktadır).
- Kök uzunluğunun artması
- Pulpa canlılık testine pozitif yanıt değerlendirilir.

Rejeneratif endodontik prosedürlerin başarı derecesi, birincil, ikincil ve üçüncül hedeflere ulaşmanın mümkün olduğu ölçüde ölçülür:

Birincil amaç: Semptomların ortadan kalkması ve kemikte iyileşmenin görülmesi

İkincil amaç: Kök duvar kalınlığının ve /veya kök uzunluğunun artması (istenmektedir ama olmazsa olmaz değildir)

Üçüncül amaç: Canlılık testlerine olumlu yanıt (elde edilirse daha organize bir vital pulpa dokusunu gösterebilir)

2.2.3. Enfeksiyon Kontrolü

2.2.3.1 RET’de kullanılan irrigasyon solüsyonları

RET’de geleneksel kök kanal tedavisinde olduğu gibi enfeksiyon kontrolü önemlidir. Apeksi açık dişler ince dentin duvarlarına sahiptir ve tedavi kaynaklı kırılma ihtimalleri daha fazladır. Bu sebeple mekanik preparasyon RET’ de minimal seviyede yapılmalı ve kimyasal ajanlarla dezenfeksiyon gerçekleştirilmelidir⁶⁵. NaOCl ve EDTA RET’de yaygın olarak kullanılmaktadır.

NaOCl yüksek bakterisidal etkisi, doku çözme kabiliyeti, dentin difüzyonunun kolay olması, düşük maliyeti, lubrikant etkisi gibi sahip olduğu özelliklerden dolayı avantajlıdır⁶³. NaOCl yüksek pH’ı ile (11-12,2) geniş antimikrobiyal etkinliğe sahiptir⁷¹.

Yüksek konsantrasyonda NaOCl kullanımı ile kök hücrelerin vitalite ve farklılaşma potansiyeli azalmakta, önemli büyüme faktörlerinde denatürasyon görülmekte ve dentin duvarına hücre yapışması olumsuz etkilenebilmektedir. En az olumsuz etki için düşük konsantrasyonda (%1.5) kullanımı tercih edilmelidir⁷².

EDTA (Etilen diamin tetra asetik asit) düşük antimikrobiyal özelliği ile smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadır⁷¹. RET’in ikinci seansında %17’lik EDTA kullanımı AAE tarafından önerilmiştir¹. Kalsiyum iyonlarına geri dönüşümsüz bağlanan EDTA, dentinden büyüme faktörü salınımını uyarır ve kök hücrelerin rejenerasyona aktif katılımını teşvik etmektedir^{73,74}. Ayrıca, EDTA ile irrigasyon NaOCl’nin kök hücreler üzerindeki olumsuz etkilerini geri döndürmektedir⁷². Yapılan çalışmalar %17 EDTA ile %1.5 ve %2.5 NaOCl’nin beraber kullanılması ile tek başına EDTA kullanımına göre daha fazla büyüme faktörü açığa çıktığı ortaya konmuştur⁷⁵.

2.2.3.2. RET’de Kullanılan Kanal İçi Medikamentler

RET’de periapikal bölgede inflamasyon ve kanal içi bakterilerin varlığı, kök hücre osteojenik farklılaşma potansiyelini değiştirebilmektedir⁷⁶. Bu nedenle kanal içi medikamentler dezenfeksiyon sağlamak amacıyla RET’de kullanılmaktadır⁶⁹. En yaygın olarak kalsiyum hidroksit ve antibiyotik patı kullanılmaktadır.

Kalsiyum hidroksit; endodontik tedavide sert doku onarımını uyarabilen bir antimikrobiyal ajandır, alkali pH’ı ile osteoklastik aktiviteyi azalır, bakterisidal etki yaratır ve alkaline fosfataz reaksiyonunu aktive edebilir^{77,78}. Ca(OH)_2 dental pulpa dokuları ve kemik tarafından tolere edilebilmektedir⁷⁸.

Ca(OH)_2 ’in dentin ile teması sonrası toksik olmadığı ve kök hücrelerin canlılığını ve proliferasyonunu uyarabildiği, osteojenik farklılaşmasını ve mineralizasyon kapasitesini iyileştirdiği gözlenmiştir^{79,80}. Kök hücrelerin dentine bağlanmasının, Ca(OH)_2 kullanımı sonrası TAP(üçlü antibiyotik patı)’dan daha yüksek olduğu gösterilmiştir⁸¹. Ca(OH)_2 ’nin uzun dönemde dentinin mekanik özelliklerinde olumsuz etkiye neden olabilmekte ve kök kırıklarına sebep olabilmektedir⁹.

Antibiyotikli patlar bakterileri kök kanalından uzaklaştırmak amacıyla kullanılabilir. Siprofloksasin, minosiklin ve metronidazol (her biri 100 µg/ml) karışımı kullanılarak TAP hazırlanmaktadır^{71,82,83}. TAP kanal içinde optimal bir antimikrobiyal etki sağlar ve kök hücrelerin bağlanması için uygun ortam oluşturur⁸⁴. Yüksek konsantrasyonda antibiyotikli patlar kök hücrelerin sağ kalımı üzerinde olumsuz etkiye sahipken düşük konsantrasyonlar *Enterococcus faecalis* biyofilmine karşı maksimum etkinlik sağlamakta, kök hücrelerin canlılığı, bağlanması ve proliferasyon kabiliyetleri üzerinde minimum yan etki ortaya koyduğu gösterilmiştir^{79,85-87}.

TAP içeriğinde bulunan minosiklin; dişte renklenme, alerjik reaksiyon ve bakteri direncine sebep olmaktadır⁸⁸. Renklenmelerin önüne geçebilmek amacıyla içeriğindeki minosiklinin çıkarılmasıyla oluşan DAP (ikili antibiyotik patı) kullanımı önerilmiştir⁸⁹.

2.2.4 RET’de Kullanılan Bariyer Materyalleri

Koronal bariyer materyalinden beklenen özellikler; biyouyumluluk, sızdırmazlık, hücre çoğalması ve farklılaşmasını teşvik etmesidir. Kalsiyum silikat esaslı simanlar bu özellikleri karşılamaktadır⁹⁰.

2.2.4.1. Mineral Trioksit Agregat

MTA 1995 yılında geliştirildiğinden beri endodontide biyoseramik esaslı materyal olarak başarıyla kullanılmaktadır²⁹. Geliştirilme amacı ilk olarak perforasyon tamiri ve retrograd dolgu olan MTA ilerleyen zamanlarda pulpotomi, apeksifikasyon, internal rezorbsiyon ve rejeneratif prosedürlerde kullanılmaya başlamıştır⁹¹.

MTA; trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat ve trikalsiyum alüminat içeren bir kalsiyum silikat simandır. Bizmut oksit içeriğinden dolayı radyoopaktır⁹². ISO (International Standard of Organization) standartlarına göre restoratif bir materyalin radyoopasitesi aynı kalınlıktaki alüminyum ile eşdeğer veya daha fazla olması gerekmektedir. MTA ortalama 7.17 mm’lik alüminyum kalınlığına eşdeğer radyoopasite göstermektedir⁹³.

MTA tozu su ile karıştırıldığı zaman kalsiyum hidroksit, kalsiyum silikat ve kristalize yapıda pöroz bir jel meydana gelir. Kalsiyum çökeltisi olduğu için kalsiyum silikat oranı düşer. Çöken kalsiyum, hidrasyondan sonra kalsiyum hidroksit oluşturmaktadır⁹⁴. Salınan Ca^{+2} iyonları dokularda bulunan karbondioksit ile reaksiyona girerek kalsiyum karbonata dönüşmekte ve kalsiyum karbonat da sert doku oluşumunu stimüle etmektedir. Bu kalsiyum hidroksitin etki mekanizmasına benzemektedir⁹⁵. MTA, antimikrobiyal etkinliği yüksek alkali pH’ından kaynaklanan biyouyumlu ve biyoaktif bir materyaldir. $Ca(OH)_2$ ’ye göre sert dokuları uyarıcı özelliği fazladır⁹⁶.

Uzun dönemde yapılan çalışmalarda MTA’da çözünme meydana geldiği görülmüştür⁹³. Likite göre daha yüksek oranda toz kullanımıyla MTA’nın çözünürlüğü ve pörozitesi artmaktadır. MTA içeriğindeki bizmut oksit çözünmeyi azaltmaktadır⁹⁷.

MTA karıştırıldıktan sonra basınç direnci ilk 24 saatte 40 Mpa, 21. günde 67 Mpa olarak bulunmuştur⁹⁸.

MTA sertleşme reaksiyonundan sonra tozunda bulunan kalsiyum oksitin doku sıvıları ile temasa geçmesi sonucunda kalsiyum hidroksit oluşmaktadır. Bu nedenle

MTA, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ye benzer etki göstermektedir⁹⁷. Sertleşme reaksiyonunun sonucunda oluşan kalsit kristalleri hücre adezyonu ve sert doku oluşumundan sorumlu fibronektinleri etkilemektedir. Fibronektin sert doku oluşumunun ilk aşamasını meydana getirir. Meydana gelen apatit kristalleri etrafında fibronektin birikerek hücre adezyonu ve farklılaşmasına sebep olmaktadır⁹⁹.

MTA'nın yapısındaki fosfat ve kalsiyum iyonları, 'blast' hücrelerini çekme ve sementin oluşumu için uygun ortam sağlayabilme yeteneğine sahiptir. Fibroblastlardan alkalin fosfataz ve osteoblastlardan osteokalsin gibi interlökinlerin salınımında da etkili olduğu düşünülmektedir¹⁰⁰.

MTA'nın kök ucu dolgu materyali olarak test edildiği çalışmalarda marjinal adaptasyon ve sızdırmazlık açısından başarılı bir materyal olduğu ortaya konmuştur⁹³.

MTA'nın sızdırmazlık sağlayabilmesi için 3 mm kalınlıkta uygulanmasının yeterli olduğu gösterilmiştir¹⁰¹.

İçeriğindeki alüminoferrit sebebiyle gri renkte olan MTA estetik açıdan sorun oluşturduğu için 2012 yılında içerikten alüminoferrit çıkarılarak beyaz MTA geliştirilmiştir¹⁰².

MTA'nın ağız sıvılarıyla temasta özelliklerini kaybetmeme, düşük toksisite, yüksek antimikrobiyal etkinlik, dentinogenez ve sementogenezini stimüle ederek RET'e katkı sağlaması gibi avantajları mevcuttur.

Pahalı olması, manipülasyon güçlüğü ve uzun sertleşme süresine sahip olması gibi dezavantajlara sahiptir¹⁰³.

2.2.4.1.1. Proroot MTA

Torabinejad tarafından tanıtılan ProRoot MTA(PR MTA), endodontide kullanılan ilk biyoseramik esaslı tamir materyalidir¹⁰⁴. PR MTA nem varlığında sertleşmekte ve hidrofilik ince partiküller içermektedir. İlk piyasaya sürüldüğünde gri renkli bir tozdan oluşmaktadır. Kalsiyum sülfat, trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum alüminat ve kalsiyum karbonat bileşenlerine ek olarak kalsiyum oksit, silisyum oksit, magnezyum oksit, sodyum sülfat ve potasyum sülfat içermektedir^{92,105,106}.

2002 yılında gri MTA'nın renk değiştirme potansiyeli ile beyaz MTA geliştirilmiştir¹⁰⁷. Her iki MTA'da %70 Portland çimentosu, %20 bizmut oksit ve %5

alçı taşı bulunmaktadır¹⁰⁸. Beyaz MTA'da gri MTA'dan daha düşük miktarda magnezyum, alüminyum ve demir bulunmaktadır¹⁰⁹.

PR MTA'nın tozu su ile karıştırılınca, hidroksil iyonlarının salınmasıyla pH etkilenir ve pH 10.2 'den 3 saat 12.5'e yükselir⁹³. Başlangıç olarak Ca(OH)_2 ve kalsiyum-silikat-hidrat oluşmakta ve son olarak zayıf, kristalize ve poröz bir jele dönüşmektedir⁹². Kalsiyum çökeltisinin oluşması nedeniyle kalsiyum silikat oranı düşmektedir. Çöken kalsiyum, hidrasyon reaksiyonundan sonra Ca(OH)_2 oluşturarak MTA'nın yüksek alkalinitesinin nedenini oluşturmaktadır⁹². Ca(OH)_2 , MTA'nın biyoaktif ve biyouyumlu olmasından sorumlu olan kalsiyum iyonlarını serbest bırakmaktadır¹¹⁰.

Ca(OH)_2 ve diğer hidrasyon ürünleri çözünerek MTA'nın yüzeysel porözitesini artırır. Yüzeysel Ca iyonunun konsantrasyonu azalırken, alüminyum ve silisyum iyonlarının bu iyonlar ile yer değiştirdiği ve bu nedenle MTA'nın 'kendi kendini tamir' yeteneğinin bulunduğu gösterilmiştir¹¹¹.

MTA içerisinde radyopaklaştırıcı ajan olarak bulunan bizmut oksit renkleşmeye sebep olabilmektedir¹¹². MTA'nın hidrasyonundan sonra bizmut oksit Ca(OH)_2 'in çökmesini etkilediği bildirilmiştir. Bizmut oksit asidik ortamlarda çözünmesi nedeniyle, MTA inflame doku gibi asidik bir ortama yerleştirildiğinde bizmut oksit salınımına neden olabilmektedir⁹². Bu durum doku kültüründeki hücre çoğalmasını teşvik etmediği için MTA'nın biyouyumluluğu olumsuz yönde etkilemektedir¹¹³.

PR MTA 3:1 toz sıvı oranında su ile karıştırılarak hazırlanır ve ortalama sertleşme süresi 165 ± 5 dakikadır¹¹⁴.

İçinde bulunan hidrofilik partiküllerin suyu absorpsiyonu sonucu MTA sertleşir bu nedenle MTA'nın sertleşmesi için nemli ortam gerekmektedir¹⁰⁸. Pulpa kaplaması, perforasyon tamiri, apikal tıkama amaçlı kullanıldığında MTA'nın sertleşmesi için üzerine nemli pamuk yerleştirilmesi önerilmiştir⁹⁷. MTA tedavi bölgesine yerleştirildikten sonra ilk 24 saatte yeterli nem varlığında basınç dayanımı, bağlanma dayanımı ve eğilme dayanımı gibi optimal fiziksel özellikleri kazanmaktadır⁹⁷.

PR MTA;

- Uzun sertleşme süresi
- Renkleşme potansiyeli
- Manipülasyon zorluğu
- Yüksek maliyet
- İkinci seansa ihtiyaç duyma
- Sökümünün zor olması gibi dezavantajlara sahiptir^{97,101}.

2.2.4.1.2. Endocem MTA Premixed

Küçük partiküllü puzolan çimentosu içeren Endocem ‘MTA türevi puzolan’ olarak tanımlanmaktadır¹¹⁵. Puzolan hidrolik di/trikalsiyum silikat esaslı bir materyaldir. Tarihi antik Roma’ya dayanan puzolan çimentosu, Portland çimentosundan önce geliştirilmiştir ve günümüzde literatürde Portland çimentosunun silika eklenmiş hali puzolanik Portland çimentosu olarak geçmektedir^{115,116}.

Puzolan çimentosu, kalsiyum oksit ve silikanın su ile reaksiyonu sonucunda oluşmaktadır. Endocem MTA, kalsiyum hidroksit ve puzolanın kimyasal reaksiyonu sonucunda sertleşmektedir. Bu puzolanik reaksiyon olarak tanımlanmaktadır¹¹⁷. Bu reaksiyonda serbest kalsiyum miktarı kademeli olarak azalarak kalsiyum-silikat-hidrat ve kalsiyum-alüminat-hidratın kararlı kristallerini oluşturarak materyalin dayanımını artırmaktadır¹¹⁸.

Mevcut Endocem MTA’nın macun tipi olarak piyasaya sürülen Endocem MTA Premixed (EM Premixed); perforasyon tamir materyali, kök ucu dolgu materyali ve vital pulpa tedavilerinde kullanılmaktadır. Kalsiyum silikat, kalsiyum sülfat ve kalsiyum alüminattan oluşan EM Premixed’in biyouyumluluğunu artırmak için içerisine dimetil sülfoksit (DMSO) eklenmiştir. ISO 6876’ya uygun, kök kanalı çevresindeki nemi emerek sertleşen, önceden karıştırılmış, tamir ve kök kanal dolgu materyalidir. İçerisinde radyopaklaştırıcı ajan olarak zirkonyum oksit bulunur²⁴².

İçeriğinde bulunan küçük tanecikli puzolan çimentosu nedeniyle, yüzey teması artmakta ve kimyasal hızlandırıcı eklenmeden daha hızlı sertleşmektedir. EM Premixed, PR MTA’dan daha hızlı sertleşmekte olup; ilk sertleşme süresi 2 dk $\pm$ 30 sn ve final sertleşme süresi 4 dk $\pm$ 30 sn’dir¹¹⁵.

2.2.4.2. Biodentine

Biodentin 2009 yılında ‘dentin replasman’ malzemesi olarak özel tasarlanmıştır. Trikalsiyum silikat, kalsiyum karbonat, kalsiyum klorür ve zirkonyum oksit içerir¹⁰². Radyoopasitesini zirkonyum oksit sağlamaktadır. Biodentine kapsül içerisindeki toz ve likitten oluşmaktadır. 5 damla likite toz (700 mg) ilave edilerek amalgamatörde 30 sn karıştırılarak elde edilir. Ortalama 12 dakikada sertleştiği için tedaviler tek seansta tamamlanabilir.¹¹⁹.

MTA’da olduğu gibi temel endikasyonları rezorpsiyon tedavisi, perforasyon tamiri, pulpa kaplama prosedürleri, retrograd dolgular, apeksifikasyon ve RET’dir.

Örtücülüğü ve basınca karşı gösterdiği direnç MTA’dan üstündür. Manüplasyonu daha kolaydır ve dişte renk değişikliğine sebep olmamaktadır¹²⁰. MTA ve Biodentin’in dental pulpa hücreleri üzerindeki osteojenik ve odontojenik kapasitelerinin benzer olduğu ifade edilmiştir¹²¹.

2.2.4.3. Endosequence Kök Tamir Materyali (ERRM)

ERRM(Brasseler, Svannah, ABD) kullanıma hazır üretilmiş enjektörlü pat ve macun formu bulan biyoseramik içerikli bir materyaldir. Rejeneratif tedavilerde, perforasyon tamirinde ve retrograd kavitelerde kullanılabilir¹²².

ERRM yaklaşık 4 saatlik bir sertleşme süresine sahiptir. Monobazik kalsiyum fosfat, zirkonyum oksit, kalsiyum silikat, tantal oksit, propilen dolgu maddesi ve yoğunlaştırıcıdan oluşur. ERRM 70-90 MPa’lık mukavemete ve mükemmel radyoopasiteye sahiptir¹²². Diğer kalsiyum silikat içerikli materyaller gibi ERRM’nin pH değeri yüksektir ve antibakteriyel etkilidir¹²³.

Al Anezi ve ark. ERRM biyoyumluluğunu değerlendirdikleri çalışma sonucunda hücre yaşayabilirliğinin beyaz PR MTA ile karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir¹²².

2.2.5. RET’de Başarısızlık

RET protokolünün dezenfeksiyon etkinliği son zamanlarda sorgulanmaya başlanmıştır. Bazı vaka raporlarında RET uygulanan dişlerde kök kanal sisteminin enfeksiyonu ve apikal periodontitis ile karşılaşmıştır. Sağlam koronal restorasyona sahip çekilmiş dişlerin histolojik incelemelerinde nekrotik debris ve kalın bir bakteriyel biyofilm ile dolu geniş alan görülmüştür^{124,125}.

Shah, hastalara uygulanan RET prosedürünü takiben kök kanalının morfolojisi ve pulpa hücrelerinin bileşenleri hakkında uzun dönem takip verilerinin olmaması ve RET'in ileride endodontik tedaviyi zorlaştırabilecek düzeyde kök kanal kalsifikasyonlarına neden olabileceğini bildirmiştir⁶¹. Pulpa ve apikal papilla hücrelerinin tamamı nekroz olan dişlerde revaskülarizasyon sağlanamayabilmektedir. İmmünolojik sorunlar ve sistemik hastalıklar, alerjik reaksiyonlar, dirençli bakteri suşlarının gelişimi, periradiküler bölgede enfeksiyon varlığı gibi durumlar kök gelişiminin devam etmesine engel olmaktadır⁴⁷.

RET ile ilgili yapılan son sistematik derlemelerdeki sonuçlara göre, periapikal patolojilerde iyileşme oranı %91, kök gelişiminin devamının sağlanması %80 ve apikal kapanma %76 oranında sağlanmaktadır^{23,126}. Kök kırığı meydana gelen vakalar mevcuttur^{16,127,128}. Tedavi sonrası iyileşme döneminde kök kanalında gözlenen kemik dokusunun varlığı tartışmalıdır⁴⁹. Yakın dönemde yapılan bir çalışma RET ile ilgili kanal içi kalsifikasyon prevalansının ortalama %62.1 olduğunu bildirilmektedir¹²⁹. Literatürde mevcut başarısız vakalar, minimal enstrümantasyon ve yetersiz dezenfeksiyon nedeniyle yeterince uzaklaştırılamayan biyofilm ve koronal sızıntının engellenemediği başarısız restorasyonlara bağlanmaktadır^{124,125}.

2.2.5.1. RET'de Kullanılan Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Uzaklaştırılması

RET'in başarısız olduğu durumlarda dişin yeniden tedavi edilebilmesi için restorasyonun ve koronal üçlüde tıkama amaçlı kullanılan materyalin tamamen uzaklaştırılabilmesi önemli bir adımdır. Koronal tıkama materyali olarak kullanılabilen kalsiyum silikat esaslı simanlar, biyouyumlulukları, biyomineralizasyon kapasiteleri ve geleneksel simanlar ile karşılaştırıldığında daha yüksek sızdırmazlık kabiliyetleri ile son zamanlarda popüler hale gelmiştir³². Kalsiyum silikat esaslı simanların dentine bağlanma dayanımının yüksek olması dentin ile arasında oluşan kimyasal bağ ve dentin tübüllerine mikromekanik olarak bağlanmasını sağlayan biyoaktiviteleri kaynaklıdır. MTA fosfat içeren fizyolojik sıvılar ile temas ettiğinde Ca açığa çıkarmakta ve apatit benzeri kristalli çökeltiler oluşturmaktadır. Tag benzeri yapıya sahip bir ara yüzey tabakası oluşturma kapasitesi MTA'nın yüksek biyoaktivitesi ile ilişkilidir^{106,130,131}. MTA-dentin ara yüzünde oluşan apatit benzeri kristalleri boşlukları doldurarak önce mekanik bağlanma, ardından difüzyon kontrollü

reaksiyon ile kimyasal bağlanma gerçekleştirir. Bu olayın mikrosızıntıyı da azalttığı düşünülmektedir¹³².

Dentin ve kalsiyum silikat esaslı simanlar arasındaki bu güçlü bağlantı retreatment sırasında uzaklaştırılmalarını zorlaştırmaktadır^{25,133}.

2.2.5.1.1. Mekanik Olarak Uzaklaştırma

MTA'nın kök kanalından uzaklaştırılması amacıyla günümüze kadar çeşitli yöntemler denenmiştir. El eğeleri, döner eğeler, peeso reamerlar ve ultrasonik uçlar MTA'nın mekanik uzaklaştırılması amacıyla kullanılmıştır.

#15-20 numaralı K file el eğeleri hafif apikal basınç ve çeyrek dönüşler ile çalışma uzunluğuna erişmek amacıyla #25-30-35 numaralı eğelerde örnek içerisindeki MTA'nın tamamen uzaklaştırılması amacıyla kullanılmıştır²⁴. El eğelerinin MTA uzaklaştırma etkinliği bulunmamaktadır. Aynı çalışmada Peeso reamerlar kökün koronal ve orta üçlüsünde bulunan MTA'ların uzaklaştırılması amacıyla kullanılmıştır²⁴.

Kanal tedavisi yenilenmesi tedavisinde kullanılan çeşitli döner eğeler üretici firmanın talimatlarına uygun olarak kullanılmıştır²⁵. Döner eğelerin de el eğeleri gibi MTA uzaklaştırma etkinliği bulunmamaktadır. MTA ile kanal dolumu yapılan durumlarda MTA'nın rotary sistemlerle tamamen uzaklaştırılmasının mümkün olmadığı, uzaklaştırılmasında ultrasonik aletlerin kullanımının daha etkili olduğu gösterilmiştir²⁵.

MTA uzaklaştırma kitinde (BioMTA, Seoul, Kore) Bust-05-EMS, Bust-03-EMS/SAT ve Bust-CM-EMS/SAT şeklinde farklı ultrasonik uçlar yer almaktadır(Şekil 2).

Bust-05- EMS 0.5 mm çaplı elmas kaplı uca sahiptir. MTA uzaklaştırma, kalsifiye kanalların açılması ve irrigasyon amacıyla koronal ve orta üçlüde kullanılabilir. Tasarımı EMS ile kullanıma uygundur.

Bust-03-EMS/SAT 0.3mm çaplı elmas kaplı uca sahiptir. MTA uzaklaştırma, kalsifiye kanalların açılması ve irrigasyonda orta ve apikal üçlüde kullanılabilir. EMS ve Satelec ile uyumludur.

Bust-CM-EMS/SAT 0.25 mm çaplı ucu bulunmaktadır ve bu uç kontrol hafızası özelliğine sahiptir. BUST 03 ve 05 uçlarının kullanımından sonra

uygulanabilir. Son irrigasyon ve apikal bölgedeki artıkları temizlemek için kullanılabilir. EMS ve Satelec ile uyumludur.



Şekil 2. MTA uzaklaştırma kitinde bulunan uçlar

Ultrasonik uçların MTA çıkarmak amacı ile 60 sn lik süre ile devamlı su soğutması altında ve hafif koronal basınç altında bir ileri geri hareket ile uygulanması önerilmektedir¹³⁴. Yapılan bir çalışmada ultrasonik kullanılırken dentinde çatlak oluşumunu en aza indirmek amacıyla çalışma süresi 60 sn ile sınırlı tutulmuştur. Ultrasoniklerin uygulama süresinin uzaması ile daha fazla dolgu materyali uzaklaştırılabilecektir ancak bu uygulama daha fazla çatlak oluşumuna sebebiyet verebilir. Ultrasonik uçların dişin uzun aksına ve materyale dik bir şekilde uygulanması ile çatlak oluşumunun azalacağı düşünülmektedir¹³⁴.

Kökün dış yüzeyinde 10°C'lik bir sıcaklık artışı komşu dokularda önemli bir periodontal hasara neden olabilmektedir¹³⁵. Bu sıcaklık artışı su soğutması kullanımına, ultrasonik ucun tipine, gücüne ve kök kanalı içerisinde kullanıldığı süreye bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir¹³⁶. Bu nedenlerle ultrasonik enstrümantasyon devamlı su soğutması altında yapılmalı ve kullanım süresine dikkat edilmelidir.

2.2.5.1.2. Kimyasal Çözücüler ile Uzaklaştırma

Çeşitli araştırmacılar kalsiyum silikat esaslı simanların kök kanalından uzaklaştırılmasını ve farklı çözücülerin materyallerin mikrosertliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir¹³⁷.

Tam sertleşmesinden sonra MTA, 12.5'lik bir pH'a ulaşır ve doğası gereği alkalidir¹³⁸. Asitler ve kimyasallar MTA ile etkileşime girebilir ve MTA'nın yüzey sertliğini azaltabilmektedir.

MTA pH 4.4'e tamponlanmış butirik aside (periapikal iltihabı taklit etmek için kullanılan) maruz kaldığında yüzey sertliği azalır ve gözenekli hale gelir³⁰. Torabinejad, şiddetli inflamasyonda olduğu gibi asidik bir ortamın yakınında kullanıldığında MTA'nın yumuşak kaldığını bildirmiştir²⁹. Lee ve diğerleri, MTA'nın hidrasyonunun asidik bir ortamdan olumsuz etkilendiğini ve bunun da malzemenin mikro yapısının zayıflamasına neden olduğunu bildirdi²⁸.

Butt ve Tawlar, MTA yerleştirildikten 21 gün sonra % 10 sitrik asite 20 dk maruz bırakıldığında mikrosertliğinde önemli bir düşüşe neden olduğunu gözlemlemişlerdir²⁷.

Smear tabakasını uzaklaştırmak amacıyla EDTA ve BioPure MTAD (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK) gibi ajanlar tasarlanmıştır, bu irriganlar sağlam intraradiküler dentini bile demineralize edecek kadar agresiftir¹³⁹⁻¹⁴¹. BioPure MTAD sitrik asit içeren bir kök kanal temizleyicisidir. Sitrik asit ve doksisisiklin bileşenleri, MTAD'i fosforik asit pürüzlendirmesinin yerini alacak kadar asidik (pH=2) yapar¹⁴². Bu pH, Portland çimentosu esaslı materyallerin çevresel bozulması için ciddi derecede agresif (XA3) olarak kabul edilen değerden çok daha asidiktir¹⁴³.

Smith ve arkadaşları, EDTA ve MTAD'nin MTA'nın çözünmesi, yüzey özellikleri ve ince yapısındaki değişimi inceledikleri çalışmalarında, MTAD'nin EDTA'ya göre önemli ölçüde daha fazla yüzey pürüzlülüğü ve Ca⁺² ekstraksiyonu yaptığını göstermiştir. Bu durum partikül bağlayıcı hidrasyon fazlarının asit korozyonu ile ayrışması sonucu meydana gelmektedir. Şelasyon ajanları, MTA'nın partikül bağlayıcı hidrasyon fazına etki etmektedir. Ca iyonları ile şelat oluşturabilir ve kullanılan materyalin tıkama yeteneği ve dayanımını kötü etkileyebilmektedir³¹.

2.2.5.2. Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Kanaldan Uzaklaştırılma Başarısının Değerlendirilmesi

Kök kanal dolgu malzemeleri ve miktarının tespit edilmesinde kullanılan yöntemler:

- Radyografik yöntem
- Kesit alma yöntemi
- Şeffaflaştırma yöntemi
- Taramalı elektron mikroskobu (SEM)
- Bilgisayarlı tomografi
- Konik ışıklı bilgisayarlı tomografi (KIBT)
- Mikro bilgisayarlı tomografi (Mikro BT) olarak sıralanabilir

2.2.5.2.1. Radyografik Yöntem

Radyografik yöntem ile örnek bir bütün olarak incelenmektedir ancak iki boyutlu bir görüntüleme yapılabilmektedir¹⁴⁴. Kök kanalı dolumundan ve retreatment sonrası bukkolingual ve mesiodistal yönde alınan radyografiler AUTOCAD gibi dijital programda üst üste çakıştırılır. Kalan materyal miktarı radyoopasite farkıyla belirlenir¹⁴⁵.

Üç boyutlu bir materyalin iki boyutlu bir görüntüsünün elde edilmesi, magnifikasyon ve distorsiyon nedeniyle retreatment sonrası kalan materyal miktarının hesaplanmasında sapmalara neden olması gibi dezavantajları bulunmaktadır¹⁴⁶.

2.2.5.2.2. Kesit Alma Yöntemi

Kesit alma yöntemi örneklerden elde edilen kesitlerin incelenerek fotoğraflanması ve görüntülerin dijital olarak analiz edilmesiyle elde edilir¹⁴⁷.

Elde edilen kesitler ışık mikroskobunda incelenebilir, görüntüler bilgisayar ortamına aktararak inceleme yapılabilmektedir¹⁴⁸. Dişlerden bukkolingual olarak alınan kesitler dental operasyon mikroskobuyla incelenebilir ancak tek başına yeterli değildir¹⁴⁹.

2.2.5.2.3. Şeffaflaştırma Yöntemi

Şeffaflaştırma yönteminde dişin içerisinden materyel uzaklaştırıldıktan sonra nitrik asit gibi kimyasallar ile dekalsifikasyon sağlanır. Bukkolingual ve mesiodistal yönde örnekler standardize edilir. Ardından örnekler yıkanarak ve alkolle dehidrate

edilerek şeffaflaştırma sağlanır. Stereomikroskopta istenen büyütmede görüntüleme ve analiz yapılır. Şeffaflaştırma yönteminde kalan dolgu hacmi tam olarak hesaplanamamaktadır¹⁵⁰.

2.2.5.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM elektron demetinin örneğin yüzeyini taraması prensibi ile çalışmaktadır. Örneğin yüzeyine çarpan elektron ışını geriye yansıtılarak bir dedektör tarafından toplanmaktadır¹⁵⁰.

SEM smear tabakasının çıkarılması, dentin tübüllerinin incelenmesi, enstrümantasyonun değerlendirilmesi, mikroozıntı, adezyon ve anatominin incelendiği çalışmalarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda SEM kök kanallarında bulunan dolgu materyalinin değerlendirilmesini sağlamaktadır¹⁵¹.

SEM ile incelemede sadece incelenen yüzey görüntülenmekte ve üç boyutlu olarak değerlendirilememektedir⁹³. Bakım ücretlerinin fazla olması ve teknik hassasiyet gerektirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır¹⁵¹.

2.2.5.2.5. Bilgisayarlı Tomografi

Bu yöntemlerdeki eksiklikler dikkate alınarak, ileri görüntüleme yöntemleri dolgu materyallerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bilgisayarlı tomografi (BT) ile medikal radyolojide önemli bir etki oluşmuştur. Bilgisayarlı tomografi ile hızlı, invaziv olmayan incelemeler yapılabilmekte, örnekler zarar görmemekte ve elde edilen görüntüler kopyalanıp çoğaltılabilmektedir¹⁵². Bilgisayarlı tomografide kök kanal anatomisini ayrıntılı bir şekilde değerlendirmek ve yeterli çözünürlüğü elde edebilmek için çok yüksek dozda radyasyon gerekmektedir¹⁵³.

2.2.5.2.6. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

Geleneksel BT'den daha düşük radyasyon dozuyla Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) üç boyutlu görüntü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. KIBT ile elde edilen görüntülerde, geleneksel veya dijital periapikal radyografilerde görülen diş distorsiyonu ya da komşu anatomik yapı süperpozisyonları gibi olumsuzluklar elimine edilmiştir. Ancak, X ışınına bağlı oluşan artefaktlar KIBT görüntüsünün hekim tarafından yanlış yorumlanmasına neden olabilmektedir¹⁵⁴.

Işınlama dozu ve voksel boyutu görüntünün kalitesi ile pozitif korelasyon göstermektedir^{155,156}. Daha yüksek voksel boyutları yüksek hassasiyete sahip ve daha iyi bilgiler sağlanmaktadır^{157,158}.

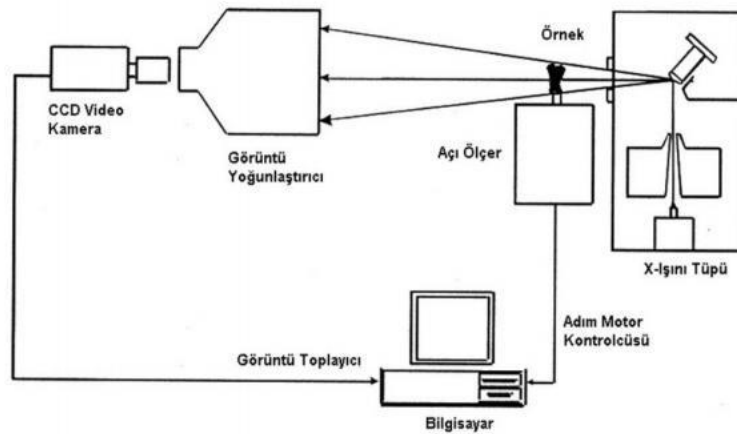
KIBT sınırlı görüş alanına sahiptir, düşük radyasyon dozu ve yeterli çözünürlük sağlamaktadır. Endodontide tanı, tedavi ve tedavilerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır^{159,160}.

2.2.5.2.7. Mikro Bilgisayarlı Tomografi

Tıpta teşhis için önem arz eden BT, bir nesnenin iki boyutlu kesitlerinden X ışını absorpsiyon haritası üretilmesini sağlamaktadır. Elde edilen iki boyutlu dilimlere dik olarak bir eksenin etrafında X ışını projeksiyonları alınarak üç boyutlu bir harita oluşturulur. BT yetersiz yazılım, yüksek maliyet ve düşük uzaysal çözünürlük kaynaklı görüntülerin doğru olmaması nedeniyle endodontide yalnızca sınırlı fayda sağlayabilmektedir¹⁶¹.

Mikro BT, X ışını kullanarak bir nesnenin kesit görüntülerini oluşturabilme yeteneğine sahip görüntüleme yöntemidir. Mikrotomografiyle elde edilen iki boyutlu kesitsel görüntüler mikro (μ) birim piksellerden oluşur. Bu sayede küçük nesnelerin veya büyük nesnelerin parçalarının geometrisi ve iç yapıları ile ilgili işlenebilir bilgiler elde edilebilir. Endüstriyel ve tıbbi prototipleme sürecinde üç boyutlu (3D) yazıcı ve mikro BT teknolojilerinin kullanımıyla ilgili araştırmalar ülkemizde ve dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Biyolojik bir yapı mikro BT ile taranıp veriler işlendikten sonra üç boyutlu olarak dijital ortamda modellenmesi ile çeşitli uygulama alanları oluşmaktadır.

Mikrotomografi cihazı; X-ışını tüpü, bilgisayar kontrolünde belirli aralıklar ile dönen gövdeye monte edilmiş bir motor, üzerinde sabit olan örneği belli aralıklarla çeviren bilgisayar kontrollü bir adım motoru, ortamda bulunan X-ışınlarını kamera sensörüne odaklayan görüntü yoğunlaştırıcı, alınan X-ışınlarını görüntü verisine dönüştüren CCD kamera, görüntü toplayıcı ve tüm bu bileşenleri kontrol eden bir bilgisayardan oluşmaktadır(Şekil 3).



Bilgisayarlı tomografi ile 1 mm³ vokselle boyutu ile tarama yapılırken mikro BT ile 5–10 µm³ vokselle boyutu ile daha iyi bir uzaysal çözünürlük elde edilir. Bu şekilde BT’den 1.000.000 kat daha küçük alanlar görüntülenebilmekte ve ayrıntılı araştırmalar yapılabilmektedir^{162,163}. BT’de X ışını kaynağı ve dedektör hastanın etrafında dönerken, mikro BT’de örnek sabit X ışını kaynağı kendi vertikal ekseninin etrafında döndürülerek tarama yapılmaktadır. X ışını kaynağı sabit olduğu için titreşim azalmakta ve çözünürlük artmaktadır¹⁶⁴. Bu işleme yeniden yapılandırma anlamında ‘3D rekonstrüksiyon’ denilmektedir¹⁶⁵.

Elliot ve Dover 1980’lerin başında ilk defa yüksek çözünürlüklü mikro BT cihazını oluşturmuştur. Enine kesitlerin *piksel* boyutları *mikrometre* boyut aralığında olduğu için cihazda ‘mikro’ terimi kullanmıştır. İnce ve çok sayıda kesit olması, örneklerden daha fazla bilgi edinmesini sağlayıp çözünürlüğü artırmaktadır¹⁶⁶.

Endodontik araştırma alanında bilgisayar destekli görüntüleme 1986 yılında Mayo tarafından başlamıştır. Çekilmiş dişlerin kök kanalına enjekte ettikleri kontrast madde sonrası her dişin belirli açılardan altı adet radyografisi alınmıştır. Bu görüntülerin tamamı birleştirilerek, dişlerin matematiksel olarak belirlenen 3D gösterimi elde edilmiştir. Bilgisayar destekli bir program ile bu verilerden kök kanallarının çapları ve hacimleri elde edilmiştir¹⁶⁷.

1995 yılında mikro BT'nin endodontik araştırmalarda kullanımı kabul edilmiştir. Nielsen ve ark. tarafından yapılan çalışmada dört adet maksiller birinci molar dişin iç ve dış anatomisinin rekonstrüksiyonu yapılmıştır. 127 µm izotropik

çözünürlük kullanılarak; preparasyon ve kök kanal dolumundan sonra kök kanalındaki morfolojik değişikliklerin incelendiği bir çalışmada mikro BT kullanımının güvenilirliği değerlendirilmiştir. Sonuçta, mikro BT'nin araştırma amacıyla kullanılabilecek gelişmiş bir sistem olarak umut vaat ettiği yazarlar tarafından ortaya konmuştur¹⁶⁸.

İlk defa Bjorndal ve arkadaşları tarafından kök kanal sisteminin kantitatif analizi için mikro BT kullanılmıştır. Kök kanal şekli 33 µm piksel boyutu ile taranan 5 adet maksiller azı dişinin kökleri yazarlar tarafından incelenmiştir¹⁶⁹.

Peters 12 adet maksiller molar dişin kök kanal anatomilerini, yüzey alanı, hacim, çap ve yapılandırılmış model indeksi de dahil olmak üzere morfolojik parametrelerini mikro BT ile incelemiştir¹⁷⁰.

Diş hekimliği alanında mikro BT ile mine kalınlığının ölçümü, kök kanal anatomisi, kanal preparasyon değerlendirilmesi, kanalın çapı, transportasyon varlığı, enstrümente edilen ve edilmeyen yüzey, preparasyon sonrası hacim ve yüzey alanındaki değişiklik, uzaklaştırılan dentinin hacmi, kök kanalında kalan materyal hacmi, endodontide kullanılan materyallerin fizikokimyasal özelliklerinin ölçümü, malzemelerin sızdırmazlık ve marjinal adaptasyonu, NiTi aletlerin deformasyonu ve kesme etkinliği gibi bir çok parametre incelenebilmektedir¹⁷¹⁻¹⁷⁵.

Mikro BT son 10 yıl içerisinde diş hekimliğinde ve özellikle endodontide popülerlik kazanmaktadır. Yüksek çözünürlüğe sahip görüntüleme imkanı sunan, non invaziv, kök kanal sistemi ile üç boyutlu bir çalışmaya imkan sağlayan mikro BT farklı tedavi prosedürlerinin etkisini anlamak amacıyla kullanılabilmektedir.

Avantajları; ışınlanan kenar bir dizi dilime bölünmekte ve dilim içinde bulunan bilgiler örneğin her iki tarafındaki farklılıklardan etkilenmemektedir¹⁷⁶.

Elde edilen görüntüler büyütülebilir ve 360° döndürülebilir¹⁷⁷.

Örneklerin tüm eksenlerin üstünde hareketini gösteren animasyonlar elde edilebilir¹⁷⁷.

Noninvaziv bir görüntüleme yöntemi olduğu için görüntülemeler tekrar edilebilir ve örneklerle biyolojik ve mekanik testler yapılabilir¹⁷⁸.

Dezavantajları; Tarama ve yeniden yapılandırma süreçlerinin zaman alması tekniğin aşırı radyasyon üretmesi nedeniyle klinik kullanım için uygun değildir¹⁷⁹.

Mikro BT ekipmanları pahalıdır ve yeniden yapılandırma işlemleri ileri seviyede bilgisayar uzmanlığı gerektirmektedir¹⁷⁷.

İn vivo uygulamalara göre sınırlamaları bulunmaktadır¹⁸⁰.



3.MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışması Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi (RTEÜ) BAP birimi tarafından TDH-2022-1422 proje numarası ile desteklenerek Endodonti Anabilim Dalı'nda yürütüldü. RTEÜ Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı'ndan 15.09.2022 tarihli ve 2022/151 karar numarası ile etik kurul onayı alındı (Ek-1).

3.1. Örneklerin Seçilmesi ve Hazırlanması

RTEÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı'na başvuran hastalara çalışma ile ilgili bilgilendirme yapıldıktan sonra araştırmaya katılmayı kabul eden hastalara bilgilendirilmiş onam formu imzalatıldı.

- Periodontal hastalık sebebiyle çekilen,
- Tek kök ve kanala sahip olan,
- Kök oluşumu tamamlanmış üst santral dişler çalışmaya dahil edildi.

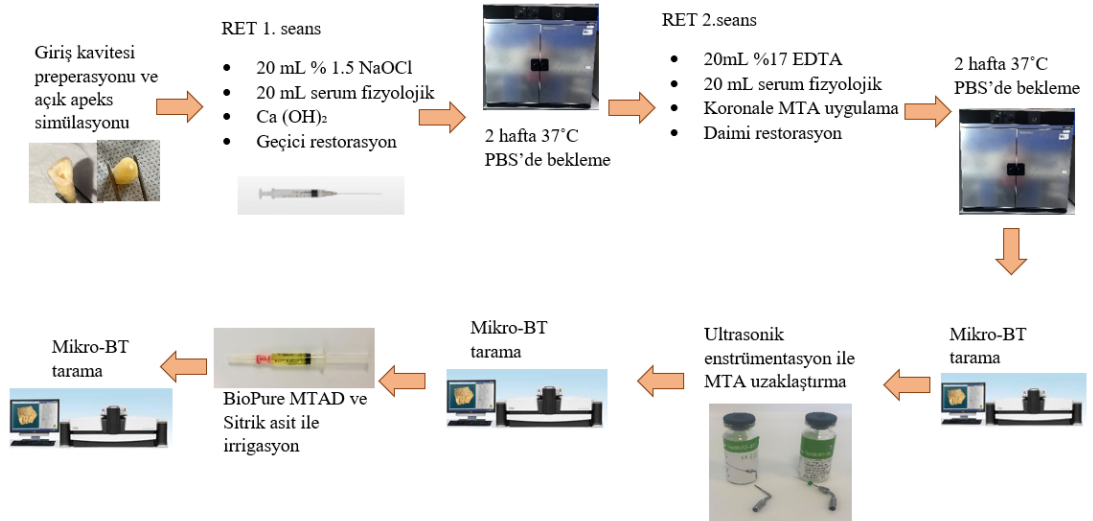
Dişlerin çekiminden sonra yapılan incelemede çatlak, kırık, deformasyon, çürük, internal / eksternal kök rezorpsiyonu ve kalsifikasyon bulunan dişler çalışma dışı bırakıldı.

Çalışma planlanırken elde edilen bulguların istatistiksel analizinin güvenilirliğini test etmek amacıyla power analizi yapıldı. Etki büyüklüğü Almaz ve ark.'ın kalan hacim verileri baz alınarak hesaplandı¹⁸¹. İki farklı kalsiyum silikat esaslı materyal, 2 farklı irrigasyon solüsyonu grubu olduğunda %99 güç ile minimum örnek sayısı her grup için 8 olarak belirlendi (Şekil 4). Çalışma esnasında oluşabilecek aksiliklerin önüne geçebilmek amacıyla her grupta 10 adet açık apeksli diş modeli olacak şekilde dahil edilme kriterlerine uygun toplam 40 adet maksiller santral diş seçildi.

Test family F tests	Statistical test ANCOVA: Fixed effects, main effects and interactions
Type of power analysis A priori: Compute required sample size - given α , power, and effect size	
Input Parameters	Output Parameters
Determine =>	Noncentrality parameter λ
Effect size f	20.4900390
α err prob	Critical F
0.05	4.2252013
Power (1- β err prob)	Denominator df
0.99	26
Numerator df	Total sample size
1	31
Number of groups	Actual power
4	0.9916654
Number of covariates	
1	

Şekil 4. Örnek sayılarının belirlendiği Power analizi

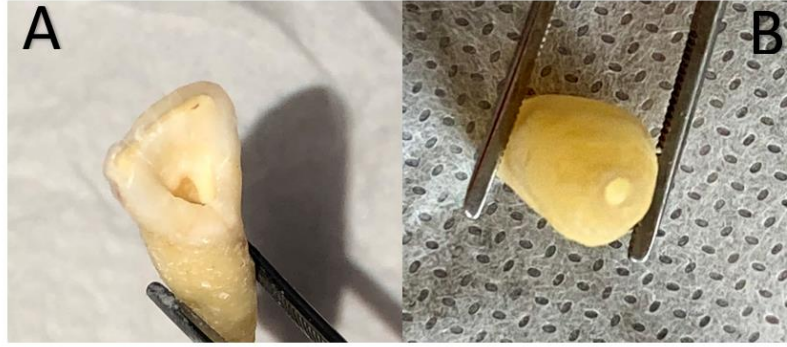
Seçilen örnekler, genç daimi dişlerde RET prosedürünü simüle edecek biçimde hazırlandı. Çalışma esnasında örneklerin hazırlanması tek bir operatör tarafından yapıldı (F.Ç). Dişler kullanılmadan önce kök yüzeylerindeki artıklar mekanik olarak kretuar ile temizlendikten sonra dezenfeksiyon amacıyla %0,1'lik timol solüsyonunda 24 saat bekletildi ve sonrasında çalışma başlayıncaya kadar distile suda muhafaza edildi. Deneysel prosedür Şekil 5'teki gibidir.



Şekil 5. Deneysel prosedürün şematik gösterimi

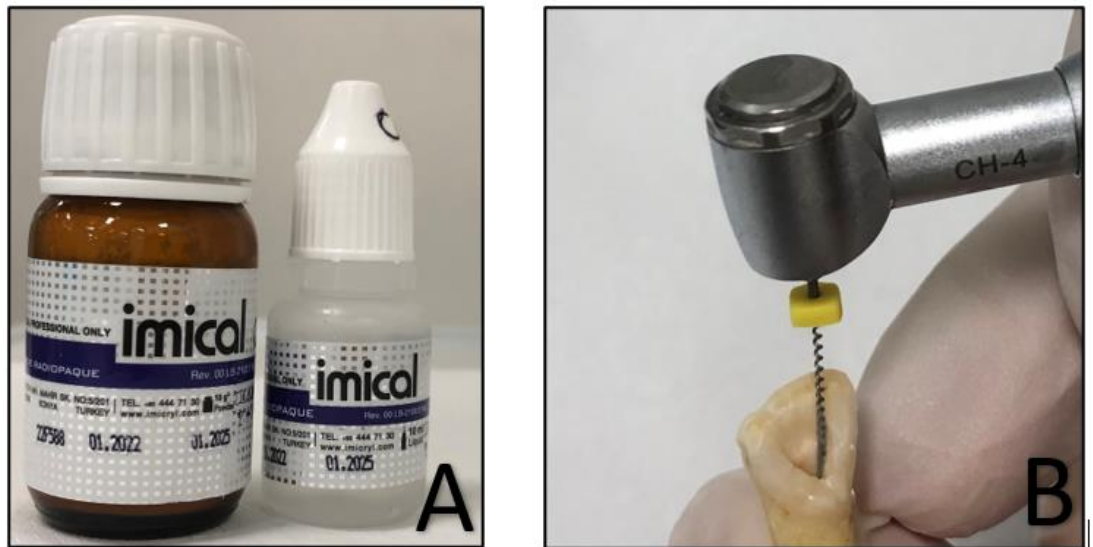
Dişlere su soğutması altında yüksek devirli aeratör kullanılarak elmas rond ve fissür frezler ile giriş kavitesi açıldı. İmmatür dişlerin geniş kanalını taklit etmek için kök kanalları önce 2 Shape(MicroMega, Besancon, Fransa) 35.04 numaralı eğeye

kadar genişletildi. Açık apeks simülasyonu sağlamak amacıyla tüm örneklerde sırasıyla 1-6 numaralı Peeso Reamer frezler (Nic, Shenzhen, Çin) retrograd olarak kullanıldı¹⁸². (Şekil 6)



Şekil 6. A: Giriş kavitesi preparasyonu ve **B:** Açık apeks simülasyonu

Dişlerin kök kanal preparasyonu tamamlandıktan sonra RET prosedürü in vitro olarak uygulandı. Güncel RET protokolüne uygun olarak 5 dakika 20 mL %1,5'lik NaOCl ile, ardından 5 dk 20 mL serum fizyolojik ile irrigasyon yapıldıktan sonra kanallar kağıt konlar ile kurutuldu. Ardından kalsiyum hidroksit (İmical, Konya, Türkiye) tozu likit ile temiz bir cam üzerinde üretici firma talimatları doğrultusunda hazırlanarak kanal içerisine yerleştirildi (Şekil 7). Kanal ağzlarına pamuk yerleştirildikten sonra örnekler geçici dolgu materyali (TMP-RS (Prime Ürünler, Maharashtra, Hindistan)) ile restore edildi.



Şekil 7. Kalsiyum hidroksit ve kök kanalına yerleştirilmesi

Örnekler RTEÜ Biyoloji Anabilim Dalı'nda hazırlanan Phosphat Buffered Salin (PBS) (Tamponlanmış Salin Solüsyonu) içerisinde %100 nemli ortamda 37°C'de iki hafta süreyle inkübe edildi (Şekil 8-9).



Şekil 8. PBS içerikli eppendorf tüpte bekletilen örnekler



Şekil 9. İnkübatör

İnkübatörde iki hafta bekledikten sonra dişlerin koronalinde bulunan geçici dolgular aeratör yardımıyla kaldırıldı. Kök kanallarının irrigasyonu ilk olarak 20 mL %17 EDTA ile, ardından 20 mL serum fizyolojik ile yapılarak kalsiyum hidroksit uzaklaştırıldı. Kanallar kağıt kon ile kurulandıktan sonra kanal dolgu materyaline göre dişler rastgele 2 gruba ayrıldı (n=20);

1. Grup: EM Premixed (Maruchi, Wonju, Korea) (Şekil 10)
2. Grup: PR MTA (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Johnson City, TN, ABD) (Şekil 11)

Çalışmada kullanılan MTA'ların içerikleri Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 10. EM Premixed

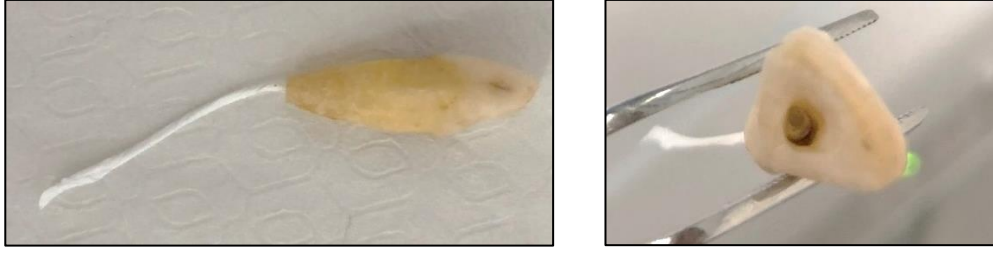


Şekil 11. PR MTA

	Üretici firma	İçerik	Sertleşme zamanı	Radyoopasite verici ajan
ProRoot MTA	Dentsply Tulsa Dental Specialties, Johnson City, TN, ABD	Trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, bizmut oksit, trikalsiyum aluminat, kalsiyum sülfat dihidrat Likiti: Distile su	15 dakika	Bizmut oksit
EndoCEM MTA Premixed	Maruchi, Gangwon-do, Güney Kore	Kalsiyum silikat, kalsiyum alüminat, kalsiyum sülfat, zirkonyum oksit, dimetil sülfoksit (DMSO)	4 dakika	Zirkonyum oksit

Şekil 12. Çalışmada kullanılan MTA'lar ve içerikleri

Mine sement sınırının 3-4 mm apikaline kadar dişlere retrograd olarak teflon bantlar yerleştirildi. (Şekil 13). Kalan kısım mine sement sınırına kadar her bir gruptaki koronal bariyer materyelleri ile dolduruldu. PR MTA üretici firma talimatlarına uygun toz/likit oranı 3:1 olacak şekilde karıştırılarak hazırlandı. Endodontik plugger ve nemli pamuk yardımı ile yerleştirildi.



Şekil 13. Retrograd olarak teflon bant yerleştirilmesi

EM Premixed kendi aplikatörüyle kaviteye uygulanıp kondanse edildi. Kontrol amacıyla periapikal radyografi alındı. Her iki grupta da MTA üzerine nemli pamuk yerleştirilerek EM Premixed için 4 dk ± 30 , PR MTA için 165dk ± 5 sonra ilk sertleşmesi kontrol edildi^{115,183}. İlk sertleşme tamamlandıktan sonra materyalin üzeri cam iyonomer kaide (Kavitan Pro, Spofa-Dental A.S, Çek Cumhuriyeti) ve kompozit rezin (Llis, FGM Produtos Odontológicas, Joinvile, SC, Brezilya) ile restore edildi.

Giriş kaviteleri kapatıldıktan sonra örnekler 14 gün boyunca inkübatörde bekletildikten sonunda kök kanalındaki dolgu materyallerinin incelenmesi için mikro BT ile görüntülendi.

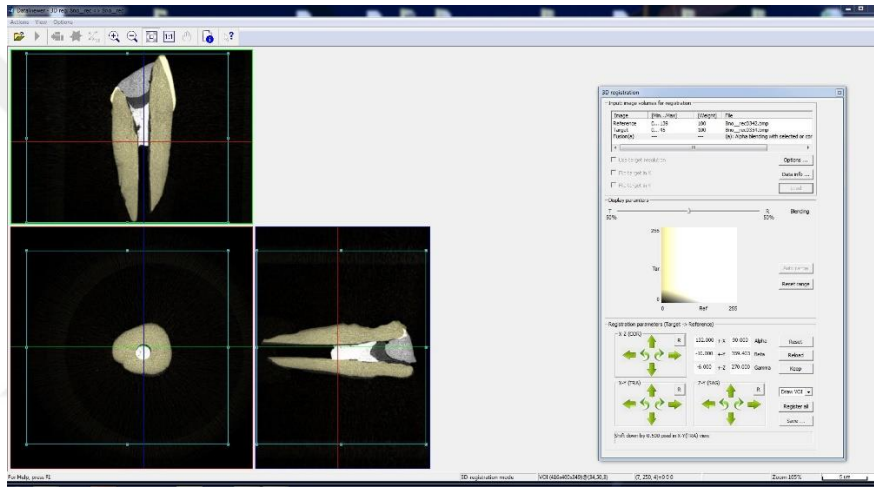
3.2. Koronal Bariyer Materyallerinin Mikro BT ile İncelenmesi

Hazırlanan örnekler üç boyutlu görüntülerinin elde edilmesi amacıyla İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi'nde (İBTAM) SkyScan 1272 Mikro BT cihazıyla (Bruker Skyscan 1272, Billerica, Massachusetts, ABD) tarandı (Şekil 14).

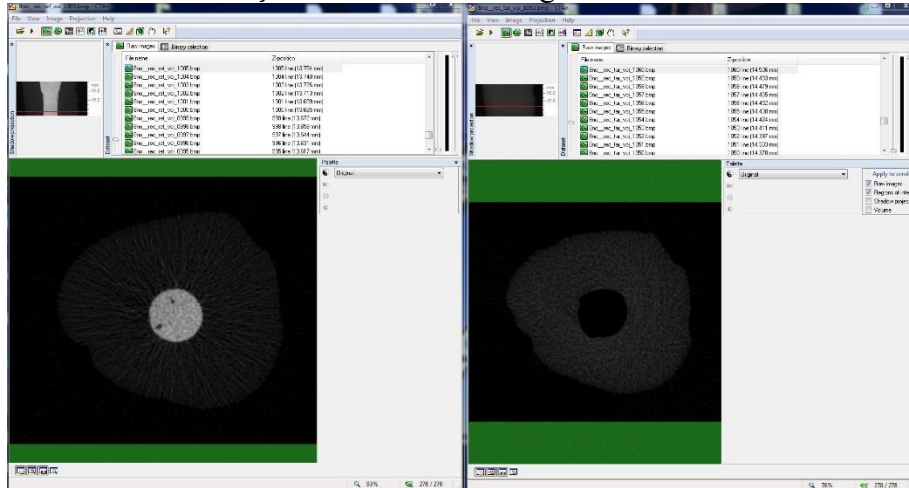


Şekil 14. SkyScan 1272 Mikro BT cihazı

Taramalar sırasında X ışını tüpü 80 kV voltaj ve 124 μ A akım ile çalıştırıldı. Dikey eksen etrafında 180° bir dönme açısı, 0,7° dönme aralığı ve 2400 ms'lik X ışınına maruz kalma süresi ve 1mm Al+Cu filtre kullanılarak taramalar gerçekleştirildi. Her dişin taraması yaklaşık 90 dakika sürdü, her kökten kalınlığı ortalama 13,6 μ m olan 1752 kesit alındı. Elde edilen görüntüler ise DataViewer (v.1.5.6.2, Bruker Corporation, Billerica, MA) yazılımında tekrar pozisyonlandırıldı. Ölçümlerin yapılabilmesi amacıyla CTAn (v.18.4.0, Bruker Corporation, Billerica, MA) yazılımına görüntüler aktarıldı. Dolgu malzemelerinin hacminin (mm³ cinsinden) hesaplanması için ilgili alanlar seçilerek hacimsel ölçüm yapıldı. Tüm veriler mm³ olarak kaydedildi (Şekil 15-16).



Şekil 15. DataViewer görüntüsü



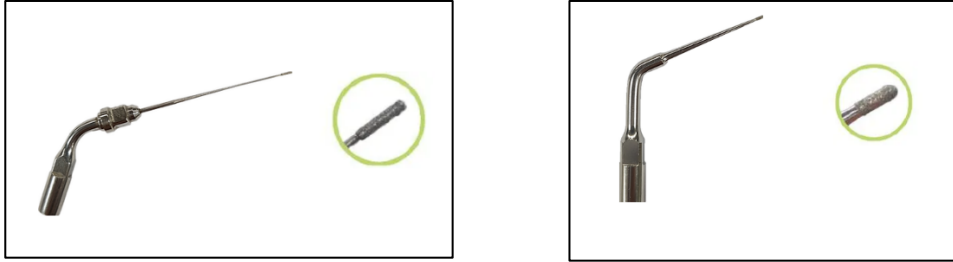
Şekil 16. CTAn yazılımı görüntüsü

3.3. Koronal bariyer materyallerinin Uzaklaştırılması

Mikro BT ile tarama sonrası örneklerdeki kompozit ve cam iyonomer siman aeratör ile uzaklaştırıldı. Koronal bariyer materyallerinin uzaklaştırılması amacıyla dental operasyon mikroskobu (Carl Zeiss, Suzhou, China) altında %1.5'lik NaOCl ile devamlı irrigasyon uygulanarak ultrasonik uçlarla enstrümantasyon yapıldı (Şekil 17). Materyallerin uzaklaştırılması sırasında Bust-05 ve Bust-03 uçları (mod:E, güç ayarı: 10) Woodpecker DTE S6 ultrasonik cihazında(DTE, Guilin Woodpecker Co., Guilin, Guangxi, Çin) ileri geri hareketle kullanıldı (Şekil 18) .



Şekil 17. Çalışmada kullanılan ultrasonik cihaz



Şekil 18. Bust 03 ve 05 uçlar

3.4. Koronal Bariyer Materyallerinin Uzaklaştırma Sürelerinin Belirlenmesi

Materyallerin uzaklaştırılma süresi çalışma esnasında dijital kronometre ile kaydedildi. Dental operasyon mikroskobu altında materyalin tamamen uzaklaştırıldığına inspeksiyon ile karar verildiğinde kronometre durdurulup kaydedildi. Kontrol için periapikal radyograf ile kontrol edildi.

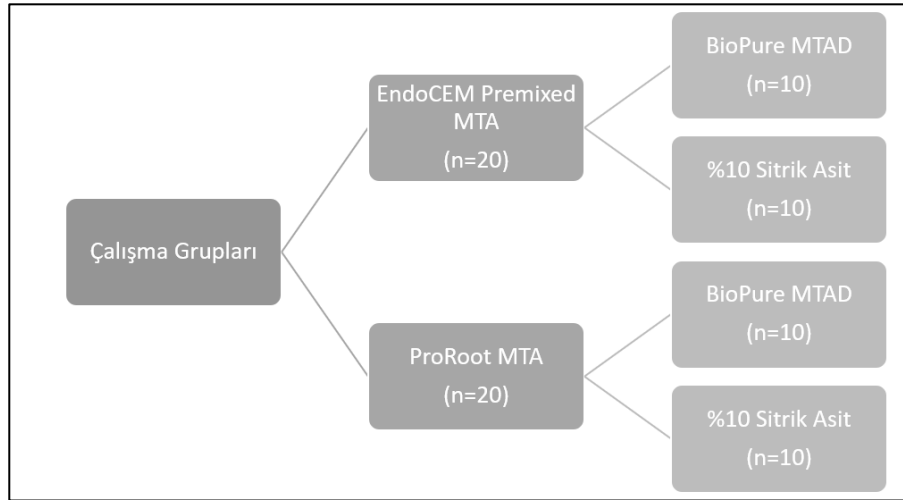
3.5. Koronal Bariyer Materyalleri Uzaklaştırıldıktan Sonra Örneklerin Mikro BT ile Değerlendirilmesi

Koronal bariyer materyalleri uzaklaştırıldıktan sonra örnekler üç boyutlu görüntülerinin elde edilmesi amacıyla İBTAM'da mikro BT cihazıyla ilk taramadaki standartlara uygun olarak tarandı. Elde edilen görüntüler ise DataViewer (v.1.5.6.2, Bruker Corporation, Billerica, MA) yazılımında tekrar pozisyonlandırılıp CTAn yazılımı ile incelendi. Koronal bölgede kalan materyal hacmi (mm³) ölçüldü. Kalan madde miktarı yüzdesi aşağıdaki formüle göre hesaplandı. Kalan madde miktarı(%)=Kalan hacim * 100/ ilk hacim formülü kullanılarak ilk materyal hacminin yüzdesi olarak ifade edildi.

$$\text{Kalan materyal yüzdesi} = \frac{\text{Kalan hacim(mm}^3\text{)} \times 100}{\text{İlk hacim(mm}^3\text{)}}$$

3.6. BioPure MTAD ve Sitrik asit Uygulanması

Çalışmada kullanılan her bir materyal grubu irrigasyon solüsyonuna göre Biopure MTAD ve %10 sitrik asit (RTEÜ fen edebiyat fakültesi kimya bölümünde hazırlandı) olmak üzere 2 alt gruba ayrıldı. (Şekil 19)



Şekil 19. Çalışma grupları

Her bir grupta dişler 5 ml solüsyon ile 5 dk irrigasyon yapıldı ve ardından 5 mL serum fizyolojik ile durulandı (Şekil 20).



Şekil 20. BioPure MTAD

3.7. İrrigasyon Sonrası Örneklerin Mikro BT ile Değerlendirilmesi

İrrigasyon sonrası örnekler üç boyutlu görüntülerinin elde edilmesi amacıyla İBTAM'da ilk iki tarama ile aynı standartlarla tarandı. Kök kanallarından uzaklaştırılan materyal hacimleri CTAn yazılımı ile ölçülerek yüzde oranları hesaplandı.

3.8. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler IBM SPSS 25 programında gerçekleştirildi. Koronal bariyer materyallerinin normallik varsayımı Shapiro Wilk testi ile belirlendi. Başlangıç hacim değerleri incelenirken normal dağılıma sahip olduğu için Bağımsız Örneklem T testi uygulandı. Materyallerin uzaklaştırılma süreleri ve ultrasonik enstrümantasyon sonrası kalan madde miktarı incelenirken veriler normal dağılıma uymadığı için Mann Whitney U testi uygulandı. İlave irrigasyon sonrası kalan madde miktarı incelenirken normal dağılıma uymayan üçten fazla bağımsız grup olması nedeniyle Kruskal Wallis testi uygulandı. Kruskal Wallis testinde tespit edilen anlamlı farkı yaratan grup ya da grupların belirlenmesi için Post Hoc Düzeltilmiş Bonferroni analizi uygulandı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlendi.

4.BULGULAR

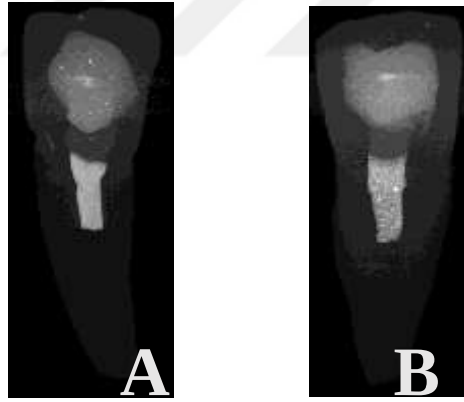
4.1. Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Başlangıç Hacim Bulguları

Kalsiyum silikat esaslı simanlar örneklere yerleştirildikten sonra mikro BT taraması ile elde edilen başlangıç hacim değerleri Bağımsız Örneklem T testi kullanılarak karşılaştırıldı. Koronal üçlüye yerleştirilen kalsiyum silikat esaslı simanların mikro BT görüntüleri Şekil 21’de gösterilmiştir.

Sonuçta EM Premixed’in ortalama hacmi 5.984 mm³, PR MTA’nın ortalama hacmi 6.595 mm³ olarak ölçüldü ve iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmedi(p>0,05). (Tablo 4.1)

Tablo 1. Başlangıç Hacimlerinin Karşılaştırılması (mm³)

	Materyal	Ortalama	Standart Sapma	Test İstatistiği	p
Yerleştirilen	EM Premixed	5.984	2.2888	-.867	.39 2
Toplam MTA	PR MTA	6.595	2.1634		



Şekil 21. A. EM Premixed, B.PR MTA mikro BT görüntüsü

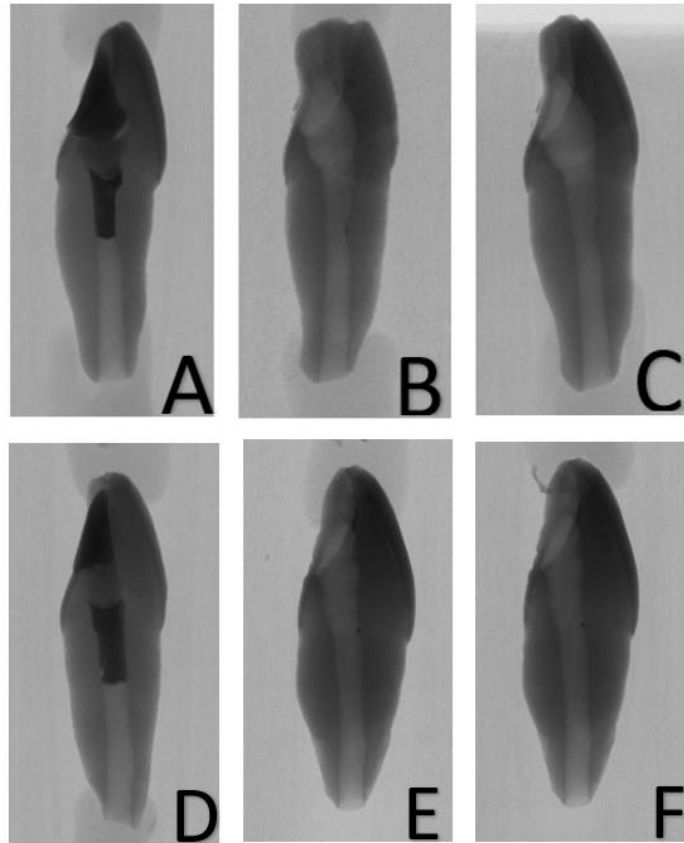
4.2. Ultrasonik Enstrümantasyon Sonrası Kalan Madde Miktarı

Ultrasonik enstrümantasyon sonrası yapılan mikro BT taramasına göre kalan madde miktarı PR MTA grubunda %0.747, EM Premixed grubunda %0.009 olarak belirlendi. Sonuçta EM PREMİXED’in PR MTA’ya kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla uzaklaştırıldığı tespit edildi. (p<0,05). (Tablo 4.2- Şekil 22)

Tablo 2. Ultrasonik Enstrümantasyon Sonrası Kalan Madde Miktarlarının Karşılaştırılması (%)

	Materyal	Ortalama	Standart Sapma	Sıra Ortalaması	Test İstatistiği	p
Ultrasonik Enstrümantasyon Sonrası Kalan Madde Miktarı	EM	0.0093	0.01562	13.85	67.00**	.000*
	Premixed					
	PR MTA	0.7471	1.55110	27.15		

*p<0,05 ve **Mann Whitney U testi



Şekil 22. EM premixed işlem öncesi (A), ultrasonik enstrümantasyon sonrası (B), irrigasyon sonrası (C); PR MTA işlem öncesi (D), ultrasonik enstrümantasyon sonrası (E), irrigasyon sonrası (F) mikro BT görüntüleri

4.3. Asidik Solüsyonlarla İlave İrrigasyon Sonrası Kalan Madde Miktarı

İlave irrigasyonun materyal uzaklaştırılma üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde her bir materyal için MTAD ve SA grupları arasında anlamlı bir fark görülmedi($p>0,05$). Ancak materyal-solüsyon ikili grupları arasında yapılan karşılaştırmada Bonferroni testine göre EM Premixed – MTAD grubunun PR MTA - MTAD ve PR MTA - SA gruplarından anlamlı derecede daha fazla uzaklaştırıldığı görüldü($p=,027$ ve $p=,019$). Diğer ikili gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmedi. (Tablo 4.3)

Tablo 3. İlave İrrigasyon Sonrası Kalan Madde Miktarlarının Karşılaştırılması (%)

Materyal ve Solüsyon	Ortalama	Standart Sapma	Sıra Ortalaması	Test İstatistiği	p
EM Premixed-MTAD ^{a,c}	8.0770	25.5416	12.95		
EM Premixed – SA ^{c,d}	11.4523	25.3430	14.80	14.839***	.002*
PR MTA-MTAD ^{b,d}	44.4239	42.3656	27.40		
PR MTA - SA ^{b,d}	32.6838	35.9916	26.85		

Farklı harflerle gösterilen üst karakterler, gruplar arasında anlamlı farklılık olduğunu belirtir(* $p<0,05$)

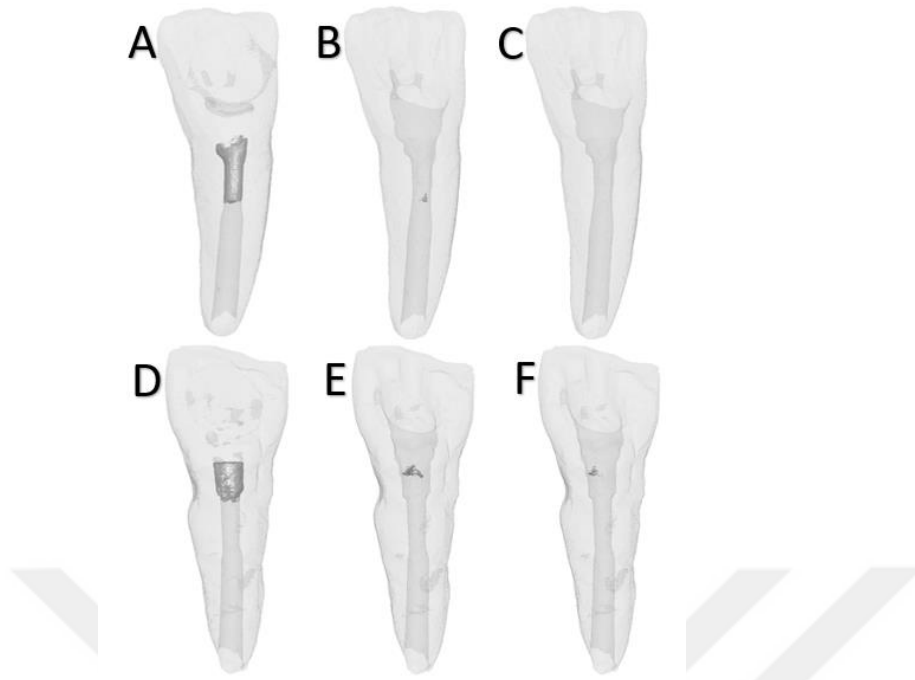
***Kruskal Wallis testi

Ayrıca ultrasonik enstrümantasyon sonrası kalan hacim değerleri ile ilave irrigasyon sonrası kalan hacim değerleri karşılaştırıldığında asidik solüsyon ile irrigasyon yapılmasının materyal uzaklaştırılmasına anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edildi ($p>0,05$). (Tablo 4.4) Materyallerin uzaklaştırma öncesi ve sonrası 3 boyutlu görüntüleri Şekil 23'teki gibidir.

Tablo 4. İrrigasyon Öncesi ve Sonrası Hacim Ölçümlerinin Karşılaştırılması (%)

Materyal		Ortalama	Standar	Sıra	Test	p
		t Sapma		Ortalaması	İstatistiği	
EM Premixed	İrrigasyon	0.0093	0.0156	22.58	158.5**	0.265
	Öncesi					
	Madde					
	Miktarı					
	İrrigasyon	0.0036	0.0102	18.43		
	Sonrası					
	Madde					
	Miktarı					
PR MTA	İrrigasyon	0.7471	1.5511	23.00	150.0**	0.183
	Öncesi					
	Madde					
	Miktarı					
	İrrigasyon	0.1009	0.1499	18.00		
	Sonrası					
	Madde					
	Miktarı					

**Mann Whitney U testi.



Şekil 23. EM premixed işlem öncesi (A), ultrasonik enstrümantasyon sonrası (B), irrigasyon sonrası (C); PR MTA işlem öncesi (D), ultrasonik enstrümantasyon sonrası (E), irrigasyon sonrası (F) 3 boyutlu görüntüleri

4.4. Kalsiyum Silikat Esaslı Simanların Uzaklaştırılma Süreleri

Materyaller, 10 K eğe ile apikal patensi sağlanması ve tamamen uzaklaştırması için geçen süre açısından karşılaştırıldığında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmedi ($p>0,05$) (Tablo 4.5).

Tablo 5. Materyallere Göre Materyal Delinmesi ve Tamamen Uzaklaştırma Süre Ortalamalarının Karşılaştırılması (dk)

	Materyal	Ortalama	Standart Sapma	Sıra Ortalaması	Test İstatistiği	p
Apikal Patensi Sağlanması	EM	1.35	0.70	21.03	189.50**	.779
	Premixed					
	PR MTA	1.48	1.06	19.98		
Tamamen Uzaklaştırma	EM	4.14	1.89	21.93	171.50**	.445
	Premixed					
	PR MTA	3.82	1.53	19.08		

**Mann Whitney U testi

5. TARTIŞMA

İmmatür dişlerde meydana gelen travma, çürük ve dental anomaliler pulpa nekrozuna sebep olabilir ve bu durum dişin kök gelişiminin durması ile sonuçlanabilir⁶⁴. İnce dentin duvarları, geniş ve açık apeksi nedeniyle immatür dişlerin endodontik tedavileri zor olmaktadır¹⁸⁴.

RET, devital immatür daimi dişler için kök gelişiminin devamını amaçlayan etkili bir tedavi prosedürüdür¹. Yapılan çalışma ve vaka raporlarında RET ile kök uzunluğunun ve duvar kalınlığının arttığı ve değişen derecelerde apikal kapanma meydana geldiği gösterilmiştir^{20,185-187}. AAE, devital immatür daimi dişler için rejenerasyonun ilk tedavi seçeneği olarak düşünülmesi gerektiğini belirtmiştir²⁴¹.

RET tanımlandıktan sonra immatür nekrotik dişlerdeki uygulamalarının, vaka raporları ve çalışmalardaki başarılı sonuçlarının daha fazla olduğu görülmektedir¹⁸⁸. Ancak literatürde RET'in başarısız sonuçlarının daha az bildirildiği, bildirilen çoğu başarılı vakanın klinik sonuç gösterdiği ve birincil hedef dikkate alındığı için başarı kriterlerinin doğru değerlendirilmediği belirtilmiştir. Yapılan retrospektif çalışmalar ile başarısız olan tedavilerin tespiti kolaylaşmaktadır^{189,190}.

Devital ve açık apeksli dişlerin yapıları gereği normal bir kanal tedavisi ile tam bir tıkama sağlanamayacağı için bu dişlere yapılan tedavinin prognozu düşüktür. Yapılan çalışmalarda başarısız RET sonrası klinik semptomların iyileşmemesi, kanal içi obliterasyon, kalsifikasyon, apikal periodontitis, kök kırığı, eksternal rezorpsiyon görülebilmektedir.^{16,61,188,189,191}

Literatürde görülen başarısız RET sonuçları gün geçtikçe artmasına rağmen bu durumda yapılması gerekenler ile ilgili olarak görüş birliği sağlanamamıştır¹⁸⁸. Koronal üçlüde bulunan kalsiyum silikat esaslı simanların uzaklaştırılması karşılaşılan en önemli sorunlardandır. Ancak tedavi başarısız olduğunda uygulanan retreatment tedavisinin başarılı olmasında kök kanal dolgu malzemelerinin tamamen çıkarılması önemli bir adımdır^{97,192}. Kök kanal dolgu malzemelerinin tamamen çıkarılması ile daha fazla temizlik ve şekillendirme yapılarak uygun dezenfeksiyonun sağlanması ve kök kanalının hermetik olarak tekrar doldurulması sonucu bakteri eliminasyonunun sağlanması amaçlanmaktadır¹⁹³. Yetersiz hazırlanmış ve doldurulmuş kök kanalından mümkün olduğunca fazla dolgu maddesinin çıkarılması, periapikal enflamasyondan

ve tedavi sonrası hastalıktan sorumlu olabilecek nekrotik dokuları veya bakterileri uzaklaştırmak için gereklidir^{194,195}.

RET başarısız olduğunda restorasyon ve koronalde tıkama amaçlı kullanılan kalsiyum silikat esaslı simanların tamamen uzaklaştırılması ve yeni tedavinin uygulanması sırasında bir takım zorluklar meydana gelebilmektedir¹⁹⁶. Dentin ve RET’de kullanılan kalsiyum silikat esaslı simanlar arasında kimyasal bir bağ oluşmakta ve bu etkileşim retreatment esnasında simanların uzaklaştırılabilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu durum göz önüne alınarak yapılan çalışmada başarısız RET simüle edilen dişlerde kalsiyum silikat esaslı simanların kanaldan uzaklaştırılabilme etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Diş hekimliğinde in vitro çalışmalar, klinik uygulamalara ışık tutması ve eğitimin gelişmesi amacıyla önemli bir yer tutmaktadır. Endodonti alanında kullanılan materyallerin sahip olduğu tüm özelliklerin araştırılması, in vitro koşullarda klinik ortam taklit edilerek gerçekleştirilebilmektedir¹⁹⁷.

İn vivo koşullarda yapılan çalışmalarda hastaların klinik takibi zordur ve daha fazla süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanında oral kavitede meydana gelen sıcaklık değişimleri ve diş yapısı; materyaller arasında bağlanma, genleşme ve büzülme stresinde farklılıklar yaratabilmektedir. Bu nedenle standardizasyon sağlanması güçleşmektedir¹⁹⁸. İn vivo koşullarda çok daha gerçek sonuçlar elde edilebilmesine rağmen hem standardizasyonu sağlamak hem de in vivo koşullara benzer sonuçlar elde edebilmek amacıyla bu çalışmada çekilmiş insan dişleri kullanılmıştır.

Maksiller santral dişlerin kök kanal morfolojileri Vertucci sınıflamasına göre tip 1 kök kanal konfigürasyonu gösterdiği için¹⁹⁹ dişlerden kaynaklanabilecek morfolojik farklılık elimine edebilmek amacıyla yapılan çalışmada maksiller santral dişler kullanılmıştır. Dental travma kaynaklı erken dönem vitalite kaybının en çok maksiller anterior bölgede görülmesi maksiller santral diş tercih edilmesinin bir diğer nedenidir²⁰⁰. Standardizasyonu sağlamak için bu çalışmada; kök gelişimi tamamlanmış, çürük, kırık, çatlak ve rezorpsiyonu olmayan, ortodontik veya periodontal nedenlerle çekilmiş ve restoratif işlem görmemiş dişler kullanılmıştır.

İn vitro çalışmalarda kullanılacak dişlerin saklama koşulları konusunda literatür değişkenlik göstermektedir. Yapılan bir derlemede, çalışmada kullanılacak dişlerin %1 timol, distile su, serum fizyolojik, formalin ve %5 kloramin T solüsyonlarında saklandığı rapor edilmiştir²⁰¹. Bu çalışmada, Almaz ve ark. ile benzer şekilde, dişler deney yapılana kadar %1 timol solüsyonunda bekletilmiştir¹⁸¹.

Açık apeksli dişler; apeks açıklığı, kök uzunluğu, duvar kalınlığı gibi özellikler açısından matür dişlerden farklılık göstermekte ve bu dişler arasında standardizasyon bulunmamaktadır²⁰². Matür dişlerde açık apeks simülasyonu elde edebilmek amacıyla literatürde çeşitli yöntemler uygulanmıştır. K tipi eğeler ve döner ege sistemleri²⁰³, Gates Glidden frezler²⁰⁴, Peeso Reamer frezler²⁰⁵ bu amaçla kullanılmıştır. Bu çalışmada Zhabuawala ve ark. ile Jamshidi ve ark. kullandığı açık apeks simülasyonu örnek alınarak giriş kavitesinin açılmasının ardından 1-6 numaralı Peeso Reamer frezler sıra ile uygulanmıştır^{45,182,206}.

RET’de kök kanal dezenfeksiyonunun sağlanması önemli bir aşamadır. Genç bireylerin dişlerindeki bakteriler yaşlı bireylerin dişlerine göre dentinde daha derine penetre olmaktadır. Bu nedenle immatür daimi dişlerin tam dezenfeksiyonu RET prognozu açısından büyük önem arz eder. Ancak, açık apeks yapısının kompleks olması ve kanal dentin duvarlarının ince olması nedeniyle geleneksel endodontide kullanılan kemomekanik preparasyon teknikleri bu dişlerde uygulanamamaktadır²⁰⁷. Ayrıca, RET protokolünde apikal papillada bulunan kök hücreler, nekroz veya enfeksiyon durumunda canlı kalabildikleri için mekanik preparasyonla uzaklaştırılmamaları önerilmektedir^{63,208}. Bu nedenle, RET’de kök kanalının dezenfeksiyonu kanal irrigasyonu ve kanal içi medikament uygulanması ile sağlanabilmektedir²⁰⁹.

RET’de kanal içi medikament olarak ikili ve üçlü antibiyotik patı ve Ca(OH)_2 ’in başarılı olarak kullanıldığına dair literatürde çok sayıda çalışma ve vaka raporu mevcuttur^{67,89,209-211}. Nagaş ve ark. farklı medikamentlerin PR MTA ve Biodentine’in push out bağlanma direncine etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda RET’de kullanılan medikamentlerin irrigasyon yapılarak tamamen uzaklaştırılamadığı ve dentin duvarlarında kalarak kalsiyum silikat esaslı simanların bağlanma dayanımını etkileyebileceği gösterilmiştir. Ca(OH)_2 ’in TAP’a göre her iki materyal için daha yüksek bağlanma dayanımına sebep olduğu ortaya konmuştur.²¹² Yakın zamanda

yapılan bir in vitro çalışmada kök hücrelerin kök dentinine bağlanmasının, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tedavi edildiğinde TAP'dan daha yüksek olduğu gösterilmiştir⁸¹. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin konsantrasyonunun artması ile fibronektin sentezinin arttığı ve bu nedenle kök hücrelerin dentin duvarına daha iyi adezyon sağladığı gösterilmiştir²¹³. Kök hücrelerin dentine adezyonunu artırdığı ve materyalin bağlanma dayanımını etkilediği için bu çalışmada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kanal içi medikament olarak kullanılmıştır.

RET prosedürlerinde koronal bölgede sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kalsiyum silikat esaslı simanlar kullanılmaktadır²¹⁴. Bu materyaller dış kuvvetlere karşı dentine yüksek bir bağlanma dayanımı göstermelidir²¹⁵. MTA; sızdırmazlığı, biyouyumluluğu, marjinal adaptasyonu sebebiyle RET'de koronal bariyer olarak en çok tercih edilen materyal olmuştur⁶⁹. PR MTA, endodontide sıklıkla tercih edilen sızdırmazlık özelliği iyi, biyouyumlu, antibakteriyel bir materyaldir. Günümüzde diğer yeni geliştirilen kalsiyum silikat esaslı materyallerin karşılaştırıldığı çalışmalarda PR MTA altın standart olarak kullanılmaktadır. PR MTA'nın uzun sertleşme süresi, dişte renk değişikliğine sebep olması ve manipülasyonun zor olması gibi dezavantajları bulunmaktadır²¹⁶. Bu nedenlerle endodontide yeni materyal arayışı devam etmektedir. EM Premixed, son zamanlarda geliştirilen yeni nesil biyoseramik esaslı tamir materyalleri arasında bulunmaktadır. EM Premixed; hızlı sertleşme süresine sahip, renklenme potansiyeli PR MTA'dan daha az olan ve benzer biyolojik aktivite gösteren macun tipli kullanıma hazır bir materyaldir²¹⁷. EM Premixed ve altın standart olan PR MTA bu çalışmada karşılaştırılmıştır. Bu iki materyalin kök kanalından uzaklaştırılma etkinliğini karşılaştıran bir çalışma bulunmamaktadır.

Literatürde kalsiyum silikat esaslı siman örnekleri distile su veya PBS içerisinde bekletilmiştir^{181,218,219}. PBS maruziyetinin kalsiyum silikat esaslı simanın biyomineralizasyon sürecini etkilediği ve bağlanma dayanımını artırdığı gösterilmiştir²²⁰. Materyalin bağlanma dayanımını artırdığı ve tükürük benzeri içeriğinden dolayı yapılan çalışmada örnekler 14 gün PBS içerisinde bekletilmiştir.

Kök kanalına uygulanan MTA'nın uzaklaştırılması amacıyla çeşitli yöntemler denenmiştir. Rekab ve ark.'nın yaptıkları çalışmada Peeso reamer, kökün koronal ve orta üçlüsündeki kalsiyum silikat esaslı simanın uzaklaştırılması amacı ile kullanılmıştır. Aynı çalışmada #15-20 numaralı K file el eğeleri hafif apikal basınç ve çeyrek dönüşler ile çalışma uzunluğuna erişmek amacıyla, #25-30-35 numaralı eğeler

de örnek içerisindeki MTA'nın tamamen uzaklaştırılması amacıyla kullanılmıştır²⁴. Retreatment tedavisinde kullanılan çeşitli döner eğeler kalsiyum silikat esaslı simanların uzaklaştırılması amacıyla kullanılmıştır. El eğeleri ve döner eğelerin kalsiyum silikat esaslı simanları uzaklaştırma etkinliği bulunmamaktadır²⁵. MTA ile kanal dolumu yapılan durumlarda MTA'nın rotary sistemlerle tamamen uzaklaştırılmasının mümkün olmadığı, uzaklaştırılmasında ultrasonik aletlerin kullanımının daha etkili olduğu gösterilmiştir²⁵. RET'in başarısız olduğu bir vaka raporunda koronal üçlüde bulunan MTA bol irrigasyon altında Cavitron ile uzaklaştırmıştır²⁶. Almaz ve ark. yaptıkları çalışmada kalsiyum silikat esaslı simanları uzaklaştırmak amacıyla ultrasonik uçları kullanmış ve bu simanların kök kanalından etkili bir şekilde uzaklaştığını bildirmiştir¹⁸¹.

Kök kanalında kalan materyallerin değerlendirilmesi, örneklerin kesitlere ayrılması ve radyografik görüntülerin analizi ile yapılabilmektedir²²¹⁻²²³. Kesit alma yönteminde örneklerin zarar görmesi, radyografik olarak 2 boyutlu inceleme yapılabilmesi ve bu yöntemlerin kişiler arasında farklılıklara neden olması kullanımını azaltmıştır¹⁹³. SEM analizleri ile de kök kanalından uzaklaştırılan materyal miktarı değerlendirilebilmektedir. Ancak SEM analizlerinden sonra yapılan skorlama subjektif bir yöntemdir²²⁴. Bu yöntemler uzun yıllardır başarıyla kullanılmakta ancak dolgu malzemelerinin hacminin kesin olarak ölçülmesine izin vermemektedir²²⁵. Mikro BT, üç boyutlu bir görüntüleme ile daha hassas ölçümler yapılabilen, değerlendirilen kişiler arasında farklılık olmamasına olanak sağlayan noninvaziv bir görüntüleme yöntemidir²²⁴. Yapılan tez çalışmasında bu avantajlarından dolayı kalsiyum silikat esaslı simanların uzaklaştırılma etkinliğini değerlendirmek amacıyla mikro BT kullanılmıştır.

Literatür incelemesi yapıldığında EM Premixed ve PR MTA'nın farklı asidik solüsyonlar ile irrigasyonu sonucundaki uzaklaştırılma etkinliğini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışmada; BioPure MTAD ve %10'luk sitrik asidin, PR MTA ve EM Premixed'in kök kanalından uzaklaştırılmasına etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre grupların toplam dolum hacimleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. EM Premixed için ortalama 5,984 mm³, PR MTA için ortalama 6,595 mm³ dolum hacmi bulunmaktadır. Koronal üçlüye yerleştirilecek

kalsiyum silikat esaslı materyallerde hacim standardizasyonu sağlamak amacıyla literatürde örneklere retrograd olarak teflon bant veya paper point yerleştirilmiştir^{181,226}. Kök kanalına yerleştirilen materyal hacimleri arasında anlamlı fark bulunmadığı için sonuç üzerinde etkisinin olmayacağı düşünülmüştür. Yapılan tez çalışmasında dolum hacminden kaynaklanabilecek farklılıkları minimize etmek amacıyla uzaklaştırılan materyal miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılan kalsiyum silikat esaslı simanların uzaklaştırılma yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın verileri dahilinde her iki materyalin uzaklaştırılma süreleri arasında anlamlı bir fark bulunmamakla birlikte ultrasonik enstrümantasyon sonrası EM Premixed'in %0.009 oranında, PR MTA'nın ise %0.747 oranında kök kanallarında kaldığı tespit edilmiştir. EM Premixed, PR MTA'dan anlamlı olarak daha fazla uzaklaştırılmıştır. Bu sonuç ile yapılan tez çalışmasının birinci sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Literatür taramasında PR MTA ve EM Premixed'in kanaldan uzaklaştırılma etkinliğini karşılaştıran bir çalışma bulunmamaktadır. O yüzden herhangi bir karşılaştırma yapılamamaktadır.

Che ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada PR MTA, Endocem MTA, Retro MTA ve Ortho MTA'nın çözünürlük ve basınç dayanımı karşılaştırılmıştır. Retro MTA (61.10 MPa) ve PR MTA'nın (61.98MPa) basınç dayanımının diğer iki materyalden anlamlı derecede fazla olduğunu ve Endocem MTA'nın (16.25MPa) en düşük basınç dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir. Aralarında anlamlı fark bulunmamakla birlikte Endocem MTA(%1.56), PR MTA(%1.73)'dan daha az çözünürlük göstermiştir²²⁷. PR MTA'nın Endocem MTA'dan yüksek basınç dayanımı gösterdiği Kang ve ark. tarafından da gösterilmiştir²²⁸. Endocem MTA'nın basınç dayanımının daha düşük olması kök kanalından uzaklaştırılma etkinliğini etkileyen faktörlerden biri olarak kabul edilebilir.

Kim ve ark. PR MTA, Endocem MTA, MTA Angelus ve Retro MTA'nın retrograd dolgu materyali olarak kullanıldıklarında oluşan boşluk hacmini mikro BT ile incelemiştir²²⁹. PR MTA grubu, materyal içinde neredeyse hiç gözenek olmadan en yoğun retrograd dolgu alanını göstermiştir. Aksine, Endocem MTA ve Retro MTA grubunun kesit görüntülerinde dolguların yoğunluğunun daha az olduğu ve porozitelerin daha fazla olduğu gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Endocem

MTA ve Retro MTA partiküllerinin PR MTA'dan daha az homojen olabileceği öne sürülmüştür²²⁹. Bu çalışmadan yola çıkılarak EM Premixed'in uzaklaştırılma etkinliğinin daha fazla olması; düşük homojenite, düşük yoğunluk ve yüksek porozite sergilemesiyle ilişkili olabilir.

EM Premixed'in kök kanalından uzaklaştırılabilirliğinin PR MTA'dan daha fazla olması, ideal bir tıkama materyalinden beklenen yüksek bağlanma dayanımı ve wash out direnci açısından şüphe oluşturabilir. Ancak yapılan çalışmalarda PR MTA ve Endocem MTA'nın benzer bağlanma dayanımı sergilediği gösterilmiştir²³⁰⁻²³². Başka bir çalışma Endocem MTA'nın PR MTA ile karşılaştırıldığında wash out direncini araştırmıştır. Endocem MTA'nın wash out direnci Proroot MTA'dan anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur¹¹⁵.

Yapılan literatür çalışmaları baz alındığında bu tez çalışmasında tespit edilen yüksek uzaklaştırılabilirlik etkinliği EM Premixed'in dentin bağlantısının ve wash out direncinin düşük olduğu şeklinde yorumlanamaz.

Kalsiyum silikat içerikli simanlara uygulanan farklı çözücü solüsyonların mikrosertlik üzerindeki etkisi birçok çalışmada incelenmiştir^{27,31,33,34,233-236}. MTA Angelus ve PR MTA'ya 20 dakika süre ile uygulanan %20 tartarik asit, %2 karbonik asit, %10 sitrik asit, %2 CHX, %5.25 NaOCl ve salinin 1. ve 21. günde yüzey mikrosertliğine etkisi araştırılmıştır. %2 karbonik asit, %10 sitrik asit ve %20 tartarik asitin 1. ve 21. günde anlamlı derecede MTA mikrosertliğinde azalmaya neden olduğu, NaOCl ve CHX'in sadece 1. günde MTA mikrosertliğinde azalmaya neden olduğu gösterilmiştir²⁷. Saghiri'nin yaptığı HCl ve %5.25 NaOCl'nin MTA mikrosertliği ve push out bağlanma dayanımına etkisinin değerlendirildiği çalışmada; HCl'nin, MTA'nın bağlanma dayanımı ve mikrosertliğini azaltmada etkili olduğu bildirilmiştir³³. CHX, %17 EDTA, karbonik asit ve salinin MTA çözünürlüğüne etkisinin incelendiği bir çalışmada; EDTA'nın etkisinin olmadığı, klorheksidinin sadece 1. günde yüzeyde çözünme meydana getirebildiği, karbonik asitin ise 21 gün sonra da yüzey çözünmesi meydana getirebildiği ortaya konmuştur³⁴. Başka bir çalışmada şelatör ajan olan EDTA ve Biopure MTAD'nin, MTA'nın yüzey özellikleri ve çözünürlüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Biopure MTAD'nin daha fazla madde uzaklaştırdığı, yüzey pürüzlülüğünü daha fazla artırdığı ve daha fazla kalsiyum ekstrakte edilmesini sağladığı gözlemlenmiştir³¹. Bu tez çalışmasında ilave çözücü

solüsyonların materyal uzaklaştırılmasına etkisini gözlemleyebilmek için çalışmanın ikinci aşamasında Biopure MTAD ve %10 sitrik asit kullanımı tercih edilmiştir.

Literatürde asidik solüsyonların kalsiyum silikat simanlar üzerindeki etkisinin test edildiği çalışmalarda, solüsyonlara maruziyet süresi farklılık göstermektedir. Butt ve ark. materyallere %10 sitrik asidi 10 ve 20 dakika süre ile uygulamış ve 20 dakikalık bir kullanımda dentin mikrosertliğinin önemli ölçüde azaldığını gözlemledikleri için maksimum 10 dk kullanılmasını önermiştir²⁷. Yapılan başka bir çalışmada %17 EDTA, %15 sitrik asit, %5 fosforik asit ve %2.5 NaOCl'nin kök kanal dentini üzerindeki etkisi değerlendirilmiş ve bu şelasyon ajanlarının dekalsifiye edici etkisini sınırlamak için bu şelasyon ajanlarının 5 dk süre ile kullanımı tavsiye edilmiştir²³⁷. BioPure MTAD ile MTA yüzeyine 1,3 ve 5 dk süre ile uygulama yapılan bir çalışmada MTA uzaklaştırılmasında BioPure MTAD'nin 5 dk uygulanması önerilmiştir. ³¹. Yapılan tez çalışmasında kullanılan solüsyonlar dentin mikrosertliğini korumak ve asidik içerikli solüsyonların kalsiyum silikat esaslı simanlar üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek amacıyla 5 dk irrigasyon amacıyla uygulanmıştır.

Asidik bir solüsyon ile ilave irrigasyonun materyal uzaklaştırılmasına etkisinin olup olmadığı incelenirken ultrasonik enstrümantasyon sonrası elde edilen mikro BT taramalarındaki hacim ölçümleri ile ilave irrigasyon sonrası mikro BT taramalarındaki hacim ölçümleri karşılaştırılmıştır.

Almaz ve ark. PR MTA, Retro MTA ve Biodentin üzerinde yaptıkları çalışmada MTA uzaklaştırma kiti ultrasonik uçları ve Bioretrievability (BioMTA, Seoul, Kore) isimli glikolik asit içerikli ürünü kullanarak materyallerin uzaklaştırılma etkinliğini değerlendirmiştir¹⁸¹. PR MTA'nın %99.95 ile diğer materyallere göre daha fazla uzaklaştırıldığı gösterilmiştir. Yapılan tez çalışmasında ortak olarak kullanılan PR MTA, NaOCl irrigasyonu altında ultrasonik enstrümantasyon ile uzaklaştırıldıktan sonra kalan materyal hacmi %0.747 (uzaklaştırılan miktar %99.253) olarak bulunmuştur. Yapılan tez çalışmasında ultrasonik enstrümantasyon sırasında NaOCl kullanılması, Yıldız ve ark. glikolik asit kullanması asit içerikli solüsyonların materyal uzaklaştırılabilirliğini artırdığı düşüncesini destekleyerek daha az materyal uzaklaştırılmasını açıklayabilir. Bu tez çalışmasının ikinci aşamasında Biopure MTAD ve %10 sitrik asit ile gerçekleştirilen ilave irrigasyon sonrasında uzaklaştırılan

materyal miktarı (PR MTA-MTAD:%99.896; PR MTA-SA:%99.904) Yıldız ve ark.nın çalışmasına benzer oranlara ulaşmıştır.

Ancak bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda materyalin uzaklaştırılma miktarı açısından asidik solüsyonların her bir materyal üzerindeki etkisine bakıldığında, uzaklaştırılan madde miktarı biraz daha artmasına rağmen anlamlı bir etki tespit edilmemiştir. Dolayısıyla yapılan çalışmanın ikinci sıfır hipotezi kabul edilmiştir.

Bu çalışma ile benzer şekilde Aksel ve ark. da yaptıkları çalışmada, asidik ortamda bekletmenin PR MTA ve Biodentine'in yüzey seviyesini ve poroziteyi etkilemediğini bildirmişlerdir ²³³. Ancak; Ashofteh ve ark.nın PR MTA'nın yüzey mikrosertliğinin incelendiği çalışmada, mikrosertliğin bütirik aside maruziyet sonrası PBS'ye kıyasla anlamlı derecede azaldığı bildirilmiştir. ²³⁵. Çalışmalar arasındaki bu farklı sonuçlar asidik solüsyonların hangi aşamada uygulandığı, uygulama süresi gibi metodolojik farklılıklardan kaynaklanabilir. Ayrıca yapılan tez çalışmasında solüsyon kalsiyum silikat esaslı materyalin büyük bir çoğunluğu uzaklaştırıldıktan test edildiği için asidin etki edeceği materyal yüzey alanının düşük olması sonuç üzerinde anlamlı bir etki oluşturmamasını açıklayabilir.

Vücut sıcaklığı, ortam pH'ı, tübüler dentin sıvısı gibi faktörler kalsiyum silikat esaslı materyallerin bağlanmasını ve sertleşmesini etkileyebilmektedir^{238,239}. Dolayısıyla materyallerin uzaklaştırılmasını da etkileyebileceği düşünülebilir. Bu nedenle çalışmada bu şartların tam olarak taklit edilememesi bu çalışmanın bir limitasyonudur.

Bu çalışmanın sonuçları klinik koşullarla birebir ilişkilendirilememesine rağmen standart koşullar altında materyallerin uzaklaştırma etkinliğinin karşılaştırılmasına olanak sağlar ve klinik yaklaşımlara ışık tutabilir. RET'de kullanılan kalsiyum silikat esaslı materyallerin uzaklaştırılma etkinliğinin tam olarak değerlendirilmesi için ek in vivo çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada RET uygulanmış immatür dişlerde tedavinin başarısız olduğu durumlarda koronal üçlüye uygulanan PR MTA ve EM Premixed'in farklı solüsyonlar altında ultrasonik uçlar ile uzaklaştırılma etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmanın sınırları dahilinde elde edilen verilere göre şu sonuçlara varılmıştır:

1. Ultrasonik enstrümantasyon, materyalin kök kanallarından etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağladı.
2. EM Premixed grubunda PR MTA'ya göre anlamlı derecede daha az materyal kaldığı gözlemlendi.
3. Asidik solüsyon ile ilave irrigasyon, uzaklaştırılan madde miktarına ek bir katkı sağlamadı.

Materyallerin tamamına yakınının uzaklaştırılabilmesi dental operasyon mikroskobu altında ultrasonik enstrümantasyonun etkili bir uzaklaştırma yöntemi olduğunu düşündürmektedir.

Literatürde dentin bağlantısı, wash out direnci ve sızdırmazlık açısından PR MTA ile benzer olduğu gösterilen EM Premixed'in bu çalışma bulgularına göre retreatment gerektiğinde PR MTA'dan daha kolay uzaklaştırıldığını tespit edildi. Dolayısıyla tıkama materyalleri olarak benzer özellikler sergilemelerine rağmen yeniden tedavi gerektiğinde EM Premixed'in kolay uzaklaştırılabilmesi PR MTA'ya kıyasla avantaj sağlayabilir.

7. KAYNAKÇA

1. Diogenes A, Ruparel NB. Regenerative endodontic procedures: clinical outcomes. *Dental Clinics*. 2017;61(1):111-125.
2. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt Jr EE. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *Journal of dental research*. 1963;42(6):1490-1502.
3. Cortes M, Marcenes W, Sheiham A. Prevalence and correlates of traumatic injuries to the permanent teeth of school-children aged 9–14 years in Belo Horizonte, Brazil. *Dental traumatology*. 2001;17(1):22-26.
4. Levitan ME, Himel VT. Dens evaginatus: literature review, pathophysiology, and comprehensive treatment regimen. *Journal of Endodontics*. 2006;32(1):1-9.
5. Al Ansary MA, Day PF, Duggal MS, Brunton PA. Interventions for treating traumatized necrotic immature permanent anterior teeth: inducing a calcific barrier & root strengthening. *Dental Traumatology*. 2009;25(4):367-379.
6. Fuks AB. Pulp therapy for the primary and young permanent dentitions. *Dental clinics of north america*. 2000;44(3):571-596.
7. Bender I, Seltzer S, Soltanoff W. Endodontic success—A reappraisal of criteria: Part I. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1966;22(6):780-789.
8. Strindberg LZ. The dependence of the results of pulp therapy on certain factors-an analytical study based on radiographic and clinical follow-up examination. *Acta Odontol Scand*. 1956;14:1-175.
9. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dental Traumatology*. 2002;18(3):134-137.
10. Hargreaves KM, Giesler T, Henry M, Wang Y. Regeneration potential of the young permanent tooth: what does the future hold? *Pediatric dentistry*. 2008;30(3):253-260.
11. Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P. The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *International endodontic journal*. 2007;40(3):186-197.
12. Bose R, Nummikoski P, Hargreaves K. A retrospective evaluation of radiographic outcomes in immature teeth with necrotic root canal systems treated with regenerative endodontic procedures. *Journal of endodontics*. 2009;35(10):1343-1349.
13. Jeeruphan T, Jantararat J, Yanpiset K, Suwannapan L, Khewsawai P, Hargreaves KM. Mahidol study 1: comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods: a retrospective study. *Journal of endodontics*. 2012;38(10):1330-1336.
14. Banchs F, Trope M. Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *Journal of endodontics*. 2004;30(4):196-200.
15. Murray PE, Garcia-Godoy F, Hargreaves KM. Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *Journal of endodontics*. 2007;33(4):377-390.
16. Kim S, Malek M, Sigurdsson A, Lin L, Kahler B. Regenerative endodontics: a comprehensive review. *International endodontic journal*. 2018;51(12):1367-1388.
17. Wigler R, Kaufman AY, Lin S, Steinbock N, Hazan-Molina H, Torneck CD. Revascularization: a treatment for permanent teeth with necrotic pulp and incomplete root development. *Journal of endodontics*. 2013;39(3):319-326.
18. Chandra S. *Grossman's endodontic practice*: Wolters Kluwer India Pvt Ltd; 2014.
19. Antunes LS, Salles AG, Gomes CC, Andrade TB, Delmindo MP, Antunes LA. The effectiveness of pulp revascularization in root formation of necrotic immature

- permanent teeth: A systematic review. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2016;74(3):161-169.
20. Chueh L-H, Huang GT-J. Immature teeth with periradicular periodontitis or abscess undergoing apexogenesis: a paradigm shift. *Journal of endodontics*. 2006;32(12):1205-1213.
 21. Geisler TM. Clinical considerations for regenerative endodontic procedures. *Dental Clinics*. 2012;56(3):603-626.
 22. Meschi N, Castro AB, Vandamme K, Quirynen M, Lambrechts P. The impact of autologous platelet concentrates on endodontic healing: a systematic review. *Platelets*. 2016;27(7):613-633.
 23. Torabinejad M, Nosrat A, Verma P, Udochukwu O. Regenerative endodontic treatment or mineral trioxide aggregate apical plug in teeth with necrotic pulps and open apices: a systematic review and meta-analysis. *Journal of endodontics*. 2017;43(11):1806-1820.
 24. Rekab MS, Ayoubi HR. Removing (MTA) and (PC) From the Straight Root Canals Using Three Different Techniques (in Vitro Study)2010.
 25. Boutsoukis C, Noula G, Lambrianidis T. Ex vivo study of the efficiency of two techniques for the removal of mineral trioxide aggregate used as a root canal filling material. *Journal of endodontics*. 2008;34(10):1239-1242.
 26. Nosrat A, Homayounfar N, Oloomi K. Drawbacks and unfavorable outcomes of regenerative endodontic treatments of necrotic immature teeth: a literature review and report of a case. *Journal of endodontics*. 2012;38(10):1428-1434.
 27. Butt N, Talwar S. In-vitro evaluation of various solvents for retrieval of mineral trioxide aggregate and their effect on microhardness of dentin. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*. 2013;16(3):199.
 28. Lee Y-L, Lee B-S, Lin F-H, Lin AY, Lan W-H, Lin C-P. Effects of physiological environments on the hydration behavior of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials*. 2004;25(5):787-793.
 29. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 1999;25(3):197-205.
 30. Namazikhah M, Nekoofar MH, Sheykhrezae M, et al. The effect of pH on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*. 2008;41(2):108-116.
 31. 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.
 32. D'Arcangelo C, D'Amario M. Use of MTA for orthograde obturation of nonvital teeth with open apices: report of two cases. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2007;104(4):e98-e101.
 33. Saghiri MA, Garcia-Godoy F, Gutmann JL, et al. Removal of white mineral trioxide aggregate cement: a promising approach. *BioMed Research International*. 2013;2013.
 34. Nandini S, Natanasabapathy V, Shivanna S. Effect of various chemicals as solvents on the dissolution of set white mineral trioxide aggregate: an in vitro study. *Journal of Endodontics*. 2010;36(1):135-138.
 35. Cameron AC, Widmer RP. *Handbook of pediatric dentistry*: Elsevier Health Sciences; 2013.
 36. Chala S, Abouqal R, Rida S. Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: systematic review and meta-analysis. *Oral Surgery*,

- Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2011;112(4):e36-e42.
37. Shabahang S. Treatment options: apexogenesis and apexification. *Pediatric dentistry*. 2013;35(2):125-128.
 38. Torabinejad M. *Mineral trioxide aggregate: properties and clinical applications*: John Wiley & Sons; 2014.
 39. Foreman P, Barnes I. A review of calcium hydroxide. *International endodontic journal*. 1990;23(6):283-297.
 40. Frank AL. Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *The Journal of the American Dental Association*. 1966;72(1):87-93.
 41. Thibodeau B, Trope M. Pulp revascularization of a necrotic infected immature permanent tooth: case report and review of the literature. *Pediatric dentistry*. 2007;29(1):47-50.
 42. Aggarwal V, Miglani S, Singla M. Conventional apexification and revascularization induced maturogenesis of two non-vital, immature teeth in same patient: 24 months follow up of a case. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2012;15(1):68.
 43. Dominguez Reyes A, Munoz Munoz L, Aznar Martin T. Study of calcium hydroxide apexification in 26 young permanent incisors. *Dental Traumatology*. 2005;21(3):141-145.
 44. Lopes HP, Siqueira Junior JF. Endodontia: biologia e técnica. *Endodontia: biologia e técnica* 1999:650-650.
 45. Abbott PV. Apexification with calcium hydroxide-when should the dressing be changed? The case for regular dressing changes. *Australian Endodontic Journal*. 1998;24(1):27-32.
 46. Huang GT. Apexification: the beginning of its end. *Int Endod J*. Oct 2009;42(10):855-866.
 47. Shin S, Albert J, Mortman R. One step pulp revascularization treatment of an immature permanent tooth with chronic apical abscess: a case report. *International endodontic journal*. 2009;42(12):1118-1126.
 48. Rosenberg B, Murray PE, Namerow K. The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dental Traumatology*. 2007;23(1):26-29.
 49. Bakland LK, Andreasen JO. Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dental traumatology*. 2012;28(1):25-32.
 50. Torabinejad M. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *The Alpha Omegan*. 2004;97(4):23-31.
 51. Nowak A, Christensen JR, Mabry TR, Townsend JA, Wells MH. *Pediatric Dentistry-E-Book: infancy through adolescence*: Elsevier Health Sciences; 2018.
 52. Thakur S, Thakur S, Parthi A, Bakshi S, Kridutt V. Management of an open apex with mineral trioxide aggregate apexification: A case report. *International Journal of Preventive and Clinical Dental Research*. 2020;7(2):36.
 53. Araújo RA, Silveira CF, Cunha RS, De Martin AS, Fontana CE, Bueno CE. Single-session use of mineral trioxide aggregate as an apical barrier in a case of external root resorption. *Journal of Oral Science*. 2010;52(2):325-328.
 54. Witherspoon DE, Ham K. One-visit apexification: technique for inducing root-end barrier formation in apical closures. *Practical Procedures and Aesthetic Dentistry*. 2001;13(6):455-466.
 55. Shabahang S, Torabinejad M, Boyne PP, Abedi H, McMillan P. A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. *Journal of endodontics*. 1999;25(1):1-5.

56. Nasseh HN, El Noueiri B, Pilipili C, Ayoub F. Evaluation of Biodentine pulpotomies in deciduous molars with physiological root resorption (stage 3). *International journal of clinical pediatric dentistry*. 2018;11(5):393.
57. Patel MH, Yagnik KN, Patel NK, Bhavsar BA. Obturating the pink tooth: An in vitro comparative evaluation of different materials. *Endodontology*. 2018;30(2):119.
58. Purra AR, Ahangar FA, Chadgal S, Farooq R. Mineral trioxide aggregate apexification: A novel approach. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*. 2016;19(4):377.
59. Torabinejad M, Ford TRP, McKendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *Journal of Endodontics*. 1997;23(4):225-228.
60. Bücher K, Meier F, Diegritz C, Kaaden C, Hickel R, Kühnisch J. Long-term outcome of MTA apexification in teeth with open apices. *Quintessence Int*. 2016;47(6):473-482.
61. Shah N, Logani A, Bhaskar U, Aggarwal V. Efficacy of revascularization to induce apexification/apexogenesis in infected, nonvital, immature teeth: a pilot clinical study. *Journal of endodontics*. 2008;34(8):919-925.
62. Hargreaves KM, Diogenes A, Teixeira FB. Treatment options: biological basis of regenerative endodontic procedures. *Pediatric dentistry*. 2013;35(2):129-140.
63. Diogenes A, Henry MA, Teixeira FB, Hargreaves KM. An update on clinical regenerative endodontics. *Endodontic topics*. 2013;28(1):2-23.
64. Cvek M. Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Dental Traumatology*. 1992;8(2):45-55.
65. Diogenes AR, Ruparel NB. Irrigation in Regenerative Endodontic Procedures. *Endodontic Irrigation: Springer*; 2015:301-312.
66. Feigin K, Shope B. Regenerative endodontics. *Journal of Veterinary Dentistry*. 2017;34(3):161-178.
67. Iwaya Si, Ikawa M, Kubota M. Revascularization of an immature permanent tooth with periradicular abscess after luxation. *Dental Traumatology*. 2011;27(1):55-58.
68. Shokouhinejad N, Khoshkhounejad M, Alikhasi M, Bagheri P, Camilleri J. Prevention of coronal discoloration induced by regenerative endodontic treatment in an ex vivo model. *Clinical oral investigations*. 2018;22(4):1725-1731.
69. Kontakiotis EG, Filippatos CG, Tzanetakis GN, Agrafioti A. Regenerative endodontic therapy: a data analysis of clinical protocols. *Journal of endodontics*. 2015;41(2):146-154.
70. Glynis A, Foschi F, Kefalou I, Koletsi D, Tzanetakis GN. Regenerative endodontic procedures for the treatment of necrotic mature teeth with apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Endodontics*. 2021;47(6):873-882.
71. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *European journal of dentistry*. 2013;7(S 01):S135-S142.
72. Martin DE, De Almeida JFA, Henry MA, et al. Concentration-dependent effect of sodium hypochlorite on stem cells of apical papilla survival and differentiation. *Journal of endodontics*. 2014;40(1):51-55.
73. Taweewattanapaisan P, Jantarat J, Ounjai P, Janebodin K. The effects of EDTA on blood clot in regenerative endodontic procedures. *Journal of endodontics*. 2019;45(3):281-286.
74. Galler K, Krastl G, Simon S, et al. European Society of Endodontology position statement: revitalization procedures. *International endodontic journal*. 2016;49(8):717-723.

75. Gowda L, Mohan Das U. Effect of various concentrations of sodium hypochlorite on primary dentin: an in vitro scanning electron microscopic study. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2012;37(1):37-43.
76. Vishwanat L, Duong R, Takimoto K, et al. Effect of bacterial biofilm on the osteogenic differentiation of stem cells of apical papilla. *Journal of endodontics*. 2017;43(6):916-922.
77. Carrotte P. Endodontics: Part 9 Calcium hydroxide, root resorption, endo-perio lesions. *British dental journal*. 2004;197(12):735-743.
78. Mohammadi Z, Dummer PMH. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *International endodontic journal*. 2011;44(8):697-730.
79. Althumairy RI, Teixeira FB, Diogenes A. Effect of dentin conditioning with intracanal medicaments on survival of stem cells of apical papilla. *Journal of endodontics*. 2014;40(4):521-525.
80. Chen L, Zheng L, Jiang J, et al. Calcium Hydroxide–induced Proliferation, Migration, Osteogenic Differentiation, and Mineralization via the Mitogen-activated Protein Kinase Pathway in Human Dental Pulp Stem Cells. *Journal of endodontics*. 2016;42(9):1355-1361.
81. Kitikuson P, Srisuwan T. Attachment ability of human apical papilla cells to root dentin surfaces treated with either 3Mix or calcium hydroxide. *Journal of endodontics*. 2016;42(1):89-94.
82. Hoshino E, Kurihara-Ando N, Sato I, et al. In-vitro antibacterial susceptibility of bacteria taken from infected root dentine to a mixture of ciprofloxacin, metronidazole and minocycline. *International endodontic journal*. 1996;29(2):125-130.
83. Conde M, Chisini L, Sarkis-Onofre R, Schuch H, Nör J, Demarco F. A scoping review of root canal revascularization: relevant aspects for clinical success and tissue formation. *International endodontic journal*. 2017;50(9):860-874.
84. Turk T, Ozisik B, Aydin B. Time-dependent effectiveness of the intracanal medicaments used for pulp revascularization on the dislocation resistance of MTA. *BMC Oral Health*. 2015;15(1):1-6.
85. Chuensombat S, Khemaleelakul S, Chattipakorn S, Srisuwan T. Cytotoxic effects and antibacterial efficacy of a 3-antibiotic combination: an in vitro study. *Journal of endodontics*. 2013;39(6):813-819.
86. Reyhani MF, Rahimi S, Fathi Z, et al. Evaluation of antimicrobial effects of different concentrations of triple antibiotic paste on mature biofilm of *Enterococcus faecalis*. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects*. 2015;9(3):138.
87. Pankajakshan D, Albuquerque MT, Evans JD, Kamocka MM, Gregory RL, Bottino MC. Triple antibiotic polymer nanofibers for intracanal drug delivery: effects on dual species biofilm and cell function. *Journal of endodontics*. 2016;42(10):1490-1495.
88. Reynolds K, Johnson J, Cohenca N. Pulp revascularization of necrotic bilateral bicuspid using a modified novel technique to eliminate potential coronal discolouration: a case report. *International endodontic journal*. 2009;42(1):84-92.
89. Montero-Mirallès P, Martín-González J, Alonso-Ezpeleta O, Jiménez-Sánchez M, Velasco-Ortega E, Segura-Egea J. Effectiveness and clinical implications of the use of topical antibiotics in regenerative endodontic procedures: a review. *International endodontic journal*. 2018;51(9):981-988.
90. Wongwatanasanti N, Jantararat J, Sritanaudomchai H, Hargreaves KM. Effect of bioceramic materials on proliferation and odontoblast differentiation of human stem cells from the apical papilla. *Journal of endodontics*. 2018;44(8):1270-1275.

91. Wang X, Thibodeau B, Trope M, Lin LM, Huang GT-J. Histologic characterization of regenerated tissues in canal space after the revitalization/revascularization procedure of immature dog teeth with apical periodontitis. *Journal of endodontics*. 2010;36(1):56-63.
92. Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2008;11(4):141.
93. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Ford TRP. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *Journal of endodontics*. 1995;21(6):295-299.
94. Camilleri J. Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. *Dental materials*. 2011;27(8):836-844.
95. Chacko DV, Kurikose DS. Human pulpal response to mineral trioxide aggregate (MTA): a histologic study. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2006;30(3):203-209.
96. Camilleri J. *Mineral trioxide aggregate in dentistry: from preparation to application*: Springer; 2014.
97. 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.
98. 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.
99. Faraco Jr IM, Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dental traumatology*. 2001;17(4):163-166.
100. Kirzioglu Z, ALTUN A. Genç daimi dişlerde kök ucu oluşumunun devamını sağlayan tedavi yöntemi: apeksifikasyon. *Cumhuriyet Dental Journal*. 2011;12(2):168-178.
101. 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.
102. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The use of bioceramics in endodontics-literature review. *Clujul medical*. 2016;89(4):470.
103. Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*. 2020;70(3):497.
104. Koch K, Brave D, Nasseh AA. A review of bioceramic technology in endodontics. *CE article*. 2012;4:6-12.
105. Neeraj Malhotra M, Antara Agarwal M, Kundabala Mala M. Mineral Trioxide Aggregate: A Review of Physical Properties. *Compendium*. 2013;34(2).
106. 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.
107. Kratchman SI. Perforation repair and one-step apexification procedures. *Dental Clinics*. 2004;48(1):291-307.
108. 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.
109. 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.
110. Bozeman TB, Lemon RR, Eleazer PD. Elemental analysis of crystal precipitate from gray and white MTA. *Journal of endodontics*. 2006;32(5):425-428.

111. 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.
112. 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.
113. 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.
114. Gandolfi MG, Iacono F, Agee K, et al. 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.
115. 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.
116. 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.
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. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental materials*. 2013;29(5):580-593.
120. Aldakak MMN, Capar ID, Rekab MS, Abboud S. Single-visit pulp revascularization of a nonvital immature permanent tooth using Biodentine. *Iranian endodontic journal*. 2016;11(3):246.
121. Rathinam E, Rajasekharan S, Chitturi RT, Martens L, De Coster P. Gene Expression Profiling and Molecular Signaling of Dental Pulp Cells in Response to Tricalcium Silicate Cements: A Systematic Review. *J Endod*. Nov 2015;41(11):1805-1817.
122. Alanezi AZ, Jiang J, Safavi KE, Spangberg LS, Zhu Q. Cytotoxicity evaluation of endosequence root repair material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. Mar 2010;109(3):e122-125.
123. Silva Almeida LH, Moraes RR, Morgental RD, Pappen FG. Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *J Endod*. Apr 2017;43(4):527-535.
124. Lin LM, Kim SG, Martin G, Kahler B. Continued root maturation despite persistent apical periodontitis of immature permanent teeth after failed regenerative endodontic therapy. *Australian Endodontic Journal*. 2018;44(3):292-299.
125. Žižka R, Buchta T, Voborná I, Harvan L, Šedý J. Root maturation in teeth treated by unsuccessful revitalization: 2 case reports. *Journal of endodontics*. 2016;42(5):724-729.
126. Linsuwanont P, Sinpitaksakul P, Lertsakchai T. Evaluation of root maturation after revitalization in immature permanent teeth with nonvital pulps by cone beam computed tomography and conventional radiographs. *International Endodontic Journal*. 2017;50(9):836-846.
127. Shimizu E, Ricucci D, Albert J, et al. Clinical, radiographic, and histological observation of a human immature permanent tooth with chronic apical abscess after revitalization treatment. *Journal of endodontics*. 2013;39(8):1078-1083.

128. Saoud TMA, Mistry S, Kahler B, Sigurdsson A, Lin LM. Regenerative endodontic procedures for traumatized teeth after horizontal root fracture, avulsion, and perforating root resorption. *Journal of endodontics*. 2016;42(10):1476-1482.
129. Song M, Cao Y, Shin S-J, et al. Revascularization-associated intracanal calcification: assessment of prevalence and contributing factors. *Journal of endodontics*. 2017;43(12):2025-2033.
130. 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.
131. 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.
132. Gandolfi MG, Taddei P, Modena E, Siboni F, Prati C. Biointeractivity-related versus chemi/physorption-related apatite precursor-forming ability of current root end filling materials. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. Oct 2013;101(7):1107-1123.
133. Atmeh A, Chong E, Richard G, Festy F, Watson T. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *Journal of dental research*. 2012;91(5):454-459.
134. Pirani C, Iacono F, Chersoni S, et al. The effect of ultrasonic removal of various root-end filling materials. *Int Endod J*. Nov 2009;42(11):1015-1025.
135. Sweatman TL, Baumgartner JC, Sakaguchi RL. Radicular temperatures associated with thermoplasticized gutta-percha. *J Endod*. Aug 2001;27(8):512-515.
136. Marsicovetere ES, Clement DJ, del Rio CE. Morphometric video analysis of the engine-driven nickel-titanium Lightspeed instrument system. *J Endod*. May 1996;22(5):231-235.
137. Watts JD, Holt DM, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*. 2007;33(8):970-973.
138. 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.
139. Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of endodontics*. 1987;13(4):147-157.
140. Torabinejad M, Cho Y, Khademi AA, Bakland LK, Shabahang S. The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer. *Journal of endodontics*. 2003;29(4):233-239.
141. Tay FR, Pashley DH, Loushine RJ, et al. Ultrastructure of smear layer-covered intraradicular dentin after irrigation with BioPure MTAD. *Journal of endodontics*. 2006;32(3):218-221.
142. Machnick TK, Torabinejad M, Munoz CA, Shabahang S. Effect of MTAD on the bond strength to enamel and dentin. *Journal of Endodontics*. 2003;29(12):818-821.
143. DIN E. 206–1: Concrete—Part 1: Specification, performance, production and conformity; English version of DIN EN 206–1 (Foreign Standard). *Deutsches Institut für Normung*. 2001.
144. Durack C, Patel S. Cone beam computed tomography in endodontics. *Brazilian dental journal*. 2012;23:179-191.
145. Unal GC, Kaya BU, Taç AG, Keçeci AD. A comparison of the efficacy of conventional and new retreatment instruments to remove gutta-percha in curved root canals: an ex vivo study. *Int Endod J*. Apr 2009;42(4):344-350.

146. Gergi R, Sabbagh C. Effectiveness of two nickel-titanium rotary instruments and a hand file for removing gutta-percha in severely curved root canals during retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J*. Jul 2007;40(7):532-537.
147. Hassanloo A, Watson P, Finer Y, Friedman S. Retreatment efficacy of the Epiphany soft resin obturation system. *International Endodontic Journal*. 2007;40(8):633-643.
148. Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J. endod*. 1987:243-245.
149. Fenoul G, Meless G, Perez F. The efficacy of R-Endo® rotary NiTi and stainless-steel hand instruments to remove gutta-percha and Resilon. *International endodontic journal*. 2010;43(2):135-141.
150. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod*. Jul 1975;1(7):238-242.
151. Cireli E. [Electron microscopic analysis of the pre- and postnatal differentiation of the epithelium of the upper respiratory tract of the rat]. *Z Mikrosk Anat Forsch*. 1966;74(2):132-178.
152. Ozawa T, Taha N, Messer HH. A comparison of techniques for obturating oval-shaped root canals. *Dental materials journal*. 2009;28(3):290-294.
153. Robinson S, Czerny C, Gahleitner A, Bernhart T, Kainberger F. Dental CT evaluation of mandibular first premolar root configurations and canal variations. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2002;93(3):328-332.
154. Güven Y. AO. Dentomaksillofasiyal bölge görüntülemesinde kullanılan üç boyutlu bilgisayarlı tomografi sistemleri. *Türk Dişhekimleri Dergisi*. 2008;15:159-164.
155. Kamburoğlu K, Kursun S. A comparison of the diagnostic accuracy of CBCT images of different voxel resolutions used to detect simulated small internal resorption cavities. *Int Endod J*. Sep 2010;43(9):798-807.
156. Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod*. Feb 2009;35(2):233-235.
157. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Comparison of five cone beam computed tomography systems for the detection of vertical root fractures. *J Endod*. Jan 2010;36(1):126-129.
158. Wenzel A, Haiter-Neto F, Frydenberg M, Kirkevang LL. Variable-resolution cone-beam computerized tomography with enhancement filtration compared with intraoral photostimulable phosphor radiography in detection of transverse root fractures in an in vitro model. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. Dec 2009;108(6):939-945.
159. Durack C, Patel S. Cone beam computed tomography in endodontics. *Braz Dent J*. 2012;23(3):179-191.
160. Madani ZS, Simdar N, Moudi E, Bijani A. CBCT Evaluation of the Root Canal Filling Removal Using D-RaCe, ProTaper Retreatment Kit and Hand Files in curved canals. *Iran Endod J*. Winter 2015;10(1):69-74.
161. Tachibana H, Matsumoto K. Applicability of X-ray computerized tomography in endodontics. *Endod Dent Traumatol*. Feb 1990;6(1):16-20.
162. Feldkamp LA, Goldstein SA, Parfitt AM, Jesion G, Kleerekoper M. The direct examination of three-dimensional bone architecture in vitro by computed tomography. *J Bone Miner Res*. Feb 1989;4(1):3-11.
163. Kuhn JL, Goldstein SA, Feldkamp LA, Goulet RW, Jesion G. Evaluation of a microcomputed tomography system to study trabecular bone structure. *J Orthop Res*. Nov 1990;8(6):833-842.

164. Sasov A, Van Dyck D. Desktop X-ray microscopy and microtomography. *J Microsc.* Aug 1998;191(2):151-158.
165. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J.* May 1999;32(3):165-170.
166. Elliott JC, Dover S. X-ray microtomography. *Journal of microscopy.* 1982;126(2):211-213.
167. Mayo CV, Montgomery S, del Rio C. A computerized method for evaluating root canal morphology. *Journal of Endodontics.* 1986/01/01/ 1986;12(1):2-7.
168. Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *Journal of endodontics.* 1995;21(11):561-568.
169. Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *International Endodontic Journal.* 1999;32(1):3-9.
170. Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res.* Jun 2000;79(6):1405-1409.
171. Peters OA, Morgental RD, Schulze K, Paqué F, Kopper PMP, Vier-Pelisser FV. Determining cutting efficiency of nickel-titanium coronal flaring instruments used in lateral action. *International endodontic journal.* 2014;47(6):505-513.
172. Swain MV, Xue J. State of the art of micro-CT applications in dental research. *International journal of oral science.* 2009;1(4):177-188.
173. Torres FFE, Bosso-Martelo R, Espir CG, Cirelli JA, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Evaluation of physicochemical properties of root-end filling materials using conventional and Micro-CT tests. *Journal of Applied Oral Science.* 2017;25:374-380.
174. Moore J, Fitz-Walter P, Parashos P. A micro-computed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques. *Int Endod J.* Dec 2009;42(12):1057-1064.
175. Celikten B, Uzuntas CF, Orhan AI, et al. Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques. *Journal of oral science.* 2015;57(4):361-366.
176. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol.* Dec 1973;46(552):1016-1022.
177. Plotino G, Grande NM, Pecci R, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. *J Am Dent Assoc.* Nov 2006;137(11):1555-1561.
178. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci.* Dec 2009;1(4):177-188.
179. Orhan K. *Micro-computed Tomography (micro-CT) in Medicine and Engineering* 2020.
180. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J.* Sep 2005;38(9):617-626.
181. Almaz M. *Rejenerasyon Tedavisinde Kullanılan Farklı Trikalsiyum Silikat Simanların Kanaldan Uzaklaştırılma Etkinliğinin Mikro Bilgisayarlı Tomografi ile Değerlendirilmesi.* Kırıkkale: Pedodonti Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi; 2021.
182. Jamshidi D, Homayouni H, Majd NM, Shahabi S, Arvin A, Omid BR. Impact and fracture strength of simulated immature teeth treated with mineral trioxide aggregate apical plug and fiber post versus revascularization. *Journal of endodontics.* 2018;44(12):1878-1882.
183. Gandolfi MG, Taddei P, Siboni F, Modena E, Ciapetti G, Prati C. Development of the foremost light-curable calcium-silicate MTA cement as root-end in oral surgery.

- Chemical–physical properties, bioactivity and biological behavior. *Dental Materials*. 2011;27(7):e134-e157.
184. Bayram E, Bayram HM. Fracture resistance of immature teeth filled with mineral trioxide aggregate, bioaggregate, and biodentine. *European journal of dentistry*. 2016;10(02):220-224.
 185. Chueh L-H, Ho Y-C, Kuo T-C, Lai W-H, Chen Y-HM, Chiang C-P. Regenerative endodontic treatment for necrotic immature permanent teeth. *Journal of endodontics*. 2009;35(2):160-164.
 186. Kvinnsland S, Bårdsen A, Fristad I. Apexogenesis after initial root canal treatment of an immature maxillary incisor—a case report. *International Endodontic Journal*. 2010;43(1):76-83.
 187. Nagata J, Rocha-Lima T, Gomes B, et al. Pulp revascularization for immature replanted teeth: a case report. *Australian dental journal*. 2015;60(3):416-420.
 188. Almutairi W, Yassen GH, Aminoshariae A, Williams KA, Mickel A. Regenerative endodontics: a systematic analysis of the failed cases. *Journal of endodontics*. 2019;45(5):567-577.
 189. Lin J, Zeng Q, Wei X, et al. Regenerative endodontics versus apexification in immature permanent teeth with apical periodontitis: a prospective randomized controlled study. *Journal of endodontics*. 2017;43(11):1821-1827.
 190. Botero TM, Tang X, Gardner R, Hu JC, Boynton JR, Holland GR. Clinical evidence for regenerative endodontic procedures: immediate versus delayed induction? *Journal of endodontics*. 2017;43(9):S75-S81.
 191. Alobaid AS, Cortes LM, Lo J, et al. Radiographic and clinical outcomes of the treatment of immature permanent teeth by revascularization or apexification: a pilot retrospective cohort study. *Journal of endodontics*. 2014;40(8):1063-1070.
 192. Kratchman SI. Obturation of the root canal system. *Dental Clinics*. 2004;48(1):203-215.
 193. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Three-dimensional Evaluation of Effectiveness of Hand and Rotary Instrumentation for Retreatment of Canals Filled with Different Materials. *Journal of Endodontics*. 2008/11/01/ 2008;34(11):1370-1373.
 194. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of Nonsurgical Retreatment and Endodontic Surgery: A Systematic Review. *Journal of Endodontics*. 2009/07/01/ 2009;35(7):930-937.
 195. Rechenberg DK, Paqué F. Impact of cross-sectional root canal shape on filled canal volume and remaining root filling material after retreatment. *Int Endod J*. Jun 2013;46(6):547-555.
 196. Chaniotis A. Treatment options for failing regenerative endodontic procedures: report of 3 cases. *Journal of endodontics*. 2017;43(9):1472-1478.
 197. Özgür U. Deneysel endodontide üç boyutlu rekonstrüksiyon çalışmaları. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 24(3):181-186.
 198. 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.
 199. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*. 1984;58(5):589-599.
 200. Jones LC. Dental Trauma. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. Nov 2020;32(4):631-638.
 201. 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.
202. Lin L, Ricucci D, Huang GJ. Regeneration of the dentine–pulp complex with revitalization/revascularization therapy: challenges and hopes. *International endodontic journal*. 2014;47(8):713-724.
 203. Aksel H, Arslan E, Puralı N, Uyanık Ö, Nagaş E. Effect of ultrasonic activation on dentinal tubule penetration of calcium silicate-based cements. *Microscopy research and technique*. 2019;82(5):624-629.
 204. Ürkmez EŞ, Pinar Erdem A. Bioactivity evaluation of calcium silicate-based endodontic materials used for apexification. *Australian Endodontic Journal*. 2020;46(1):60-67.
 205. Ayatollahi F, Tabrizzadeh M, Bidoki FZ, Ayatollahi R, Abad MHB. Comparison of marginal adaptation of mta and cem cement apical plugs in three different media. *Iranian endodontic journal*. 2016;11(4):332.
 206. Zhabuawala MS, Nadig RR, Pai VS, Gowda Y, Aswathanarayana RM. Reinforcing Effects of Calcium Silicate-based Cement and Dual Cure Composite Resin in Simulated Immature Teeth with an Open Apex: An in vitro Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2017;10(4):351.
 207. Friedlander L, Cullinan M, Love R. Dental stem cells and their potential role in apexogenesis and apexification. *International Endodontic Journal*. 2009;42(11):955-962.
 208. Elnaggar SE, El Backly RM, Zaazou AM, Morsy Elshabrawy S, Abdallah AA. Effect of different irrigation protocols for applications in regenerative endodontics on mechanical properties of root dentin. *Australian Endodontic Journal*. 2021;47(2):228-235.
 209. Bezgin T, Yilmaz AD, Celik BN, Kolsuz ME, Sonmez H. Efficacy of platelet-rich plasma as a scaffold in regenerative endodontic treatment. *Journal of endodontics*. 2015;41(1):36-44.
 210. Becerra P, Ricucci D, Loghin S, Gibbs JL, Lin LM. Histologic study of a human immature permanent premolar with chronic apical abscess after revascularization/revitalization. *Journal of endodontics*. 2014;40(1):133-139.
 211. Zancan RF, Cavenago BC, Oda DF, Bramante CM, Andrade FB, Duarte MAH. Antimicrobial Activity and Physicochemical Properties of Antibiotic Pastes Used In Regenerative Endodontics. *Braz Dent J*. Nov-Dec 2019;30(6):536-541.
 212. Nagas E, Cehreli Z, Uyanik M, Vallittu P, Lassila L. Effect of several intracanal medicaments on the push-out bond strength of ProRoot MTA and Biodentine. *International endodontic journal*. 2016;49(2):184-188.
 213. Mizuno M, Banzai Y. Calcium ion release from calcium hydroxide stimulated fibronectin gene expression in dental pulp cells and the differentiation of dental pulp cells to mineralized tissue forming cells by fibronectin. *International Endodontic Journal*. 2008;41(11):933-938.
 214. Topçuoğlu G, Topçuoğlu HS. Regenerative endodontic therapy in a single visit using platelet-rich plasma and Biodentine in necrotic and asymptomatic immature molar teeth: a report of 3 cases. *Journal of Endodontics*. 2016;42(9):1344-1346.
 215. Berkhoff JA, Chen PB, Teixeira FB, Diogenes A. Evaluation of triple antibiotic paste removal by different irrigation procedures. *Journal of endodontics*. 2014;40(8):1172-1177.
 216. 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.

217. Primus C, Gutmann JL, Tay FR, Fuks AB. Calcium silicate and calcium aluminate cements for dentistry reviewed. *Journal of the American Ceramic Society*. 2022;105(3):1841-1863.
218. Y. G. *Rejeneratif endodontik tedavi protokolüne göre pulpa boşluğu bariyeri olarak biodentin ve MTA kullanımının yapay olarak taklit edilmiş olgunlaşmamış köke sahip dişlerin kırılma dirençlerine etkisi* Erzurum: Endodonti Anabilim Dalı, Atatürk Üniversitesi; 2017.
219. Ateş M. *Rejeneratif endodontik tedaviye bağlı koronal renk değişikliğinin önlenmesinde farklı tedavi yaklaşımlarının etkinliğinin değerlendirilmesi*. Bolu: Endodonti Anabilim Dalı, Abant İzzet Baysal Üniversitesi; 2021.
220. 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.
221. Simsek N, Keles A, Ahmetoglu F, Ocak MS, Yologlu S. Comparison of different retreatment techniques and root canal sealers: a scanning electron microscopic study. *Brazilian oral research*. 2014;28:1-7.
222. Abramovitz I, Relles-Bonar S, Baransi B, Kfir A. The effectiveness of a self-adjusting file to remove residual gutta-percha after retreatment with rotary files. *International endodontic journal*. 2012;45(4):386-392.
223. Çelik Ünal G, Üreyen Kaya B, Taç A, Keçeci A. A comparison of the efficacy of conventional and new retreatment instruments to remove gutta-percha in curved root canals: an ex vivo study. *International Endodontic Journal*. 2009;42(4):344-350.
224. Yalniz H, Koohnavard M, Oncu A, Celikten B, Orhan AI, Orhan K. Comparative evaluation of dentin volume removal and centralization of the root canal after shaping with the ProTaper Universal, ProTaper Gold, and One-Curve instruments using micro-CT. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2021;15(1):47.
225. Solomonov M, Paqué F, Kaya S, Adigüzel Ö, Kfir A, Yiğit-Özer S. Self-adjusting files in retreatment: a high-resolution micro-computed tomography study. *Journal of endodontics*. 2012;38(9):1283-1287.
226. Bayraktar F. *Rejeneratif endodontik tedavide kullanılan farklı medikaman ajanların ve koronal bariyer materyallerinin yapay immatür dişlerin kırılma direnci üzerine etkisinin değerlendirilmesi*. Trabzon: Endodonti Anabilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2022.
227. 차경령, 김재환, 김선미, et al. Comparison of setting time, compressive strength, solubility, and pH of four kinds of MTA. *Korean Journal of Dental Materials-Vol*. 2016;43(1):61-72.
228. Kang T-Y, Choi J-W, Seo K-J, Kim K-M, Kwon J-S. Physical, chemical, mechanical, and biological properties of four different commercial root-end filling materials: A comparative study. *Materials*. 2021;14(7):1693.
229. Kim SY, Kim H-C, Shin S-J, Kim E. Comparison of gap volume after retrofilling using 4 different filling materials: evaluation by micro-computed tomography. *Journal of endodontics*. 2018;44(4):635-638.
230. 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.
231. Silva EJNL, Carvalho NK, Guberman MRdCL, et al. 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.

232. Uzun N. *Farklı irrigasyon solüsyonlarının yeni nesil perforasyon tamir materyallerinin PUSH-OUT bağlanma dayanımına etkisinin incelenmesi* [Uzmanlık Tezi]. Rize: Endodonti Anabilim Dalı, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi; 2022.
233. Aksel H, Küçükkaya Eren S, Askerbeyli Örs S, Karaismailoğlu E. Surface and vertical dimensional changes of mineral trioxide aggregate and biodentine in different environmental conditions. *Journal of Applied Oral Science*. 2018;27.
234. Arıker İ. Farklı Gütaperka Çözücülerin Trikalsiyum Silikat İçerikli Simanların Kök Kanalına Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkisi. 2016.
235. Ashofteh Yazdi K, Ghabraei S, Bolhari B, et al. Microstructure and chemical analysis of four calcium silicate-based cements in different environmental conditions. *Clinical oral investigations*. 2019;23(1):43-52.
236. Tian J, Zhang Y, Lai Z, et al. Ion release, microstructural, and biological properties of iRoot BP Plus and ProRoot MTA exposed to an acidic environment. *Journal of endodontics*. 2017;43(1):163-168.
237. Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP, Martín-Peinado FJ, González-López S. Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite on root canal dentine. *Int Endod J*. May 2008;41(5):418-423.
238. Saghiri MA, Orangi J, Asatourian A, et al. Calcium silicate-based cements and functional impacts of various constituents. *Dental materials journal*. 2017;36(1):8-18.
239. 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.

EKLER

EK-1 Etik Kurul Kararı



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



Sayı : E-40465587-050.01.04-473
Konu : Etik Kurul

20.09.2022

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahter ŞANAL ÇIKMAN

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz “Rejenerasyon Tedavisinde Kullanılan ProRoot MTA ve EndoCEM Premixed MTA’nın , Farklı Çözücü Solüsyonlar Altında Kanaldan Uzaklaştırılma Etkinliğinin Mikro BT ile Değerlendirilmesi” isimli başvurunuz etik kurulumuz yönergesine göre 15.09.2022 tarihinde yapmış olduğu toplantıda incelenmiş olup, 2022/151 karar numarası ile bilimsel ve etik yönden uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini saygılarımla rica ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin Gökhan TELATAR
Başkan

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : bf01c16f0cb

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

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

Bilgi için : BURAK HANKAYA
Bilgisayar İşletmeni

