



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**



**PARSİYEL AMPUTASYON TEDAVİSİNDE FARKLI
KALSİYUM SİLİKAT İÇERİKLİ AJANLARIN
MİKROSIZINTISININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Utku Yasemin YILMAZ

**ÇOCUK DİŞ HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

DANIŞMAN

Prof. Dr. Tuğba BEZGİN

ANKARA

2023

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**PARSİYEL AMPUTASYON TEDAVİSİNDE FARKLI
KALSİYUM SİLİKAT İÇERİKLİ AJANLARIN
MİKROSİZİNTİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Utku Yasemin YILMAZ

**ÇOCUK DİŞ HEKİMLİĞİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

DANIŞMAN

Prof. Dr. Tuğba BEZGİN

**Bu araştırma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinatörlüğü'nün TDH-2023-2785 proje numarası ile desteklenmiştir**

ANKARA

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi Dekanlığı'na,

Uzmanlık tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Parsiyel Amputasyon Tedavisinde Farklı Kalsiyum Silikat İçerikli Ajanların Mikrosızıntısının Değerlendirilmesi” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Uzmanlık Öğrencisinin Adı Soyadı: Utku Yasemin YILMAZ

Tarih:

İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalında Utku Yasemin YILMAZ tarafından hazırlanan “Parsiyel Amputasyon Tedavisinde Farklı Kalsiyum Silikat İçerikli Ajanların Mikrosızıntısının Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından UZMANLIK TEZİ olarak OY BİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 09.11.2023

Prof. Dr. Şaziye SARI
Ankara Üniversitesi
Çocuk Diş Hekimliği A. D.
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Ayşe Işıl ORHAN
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Çocuk Diş Hekimliği A.D
Üye

Prof. Dr. Tuğba BEZGİN
Ankara Üniversitesi
Çocuk Diş Hekimliği A.D
Tez Danışmanı

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
KABUL VE ONAY	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÖNSÖZ	v
SİMGELER VE KISALTMALARI	vii
ŞEKİLLER	x
ÇİZELGELER	xii

1. GİRİŞ	1
1.1. Genç Sürekli Dişlerde Endodontik Tedaviler	1
1.2. Genç Sürekli Dişlerde Klinik ve Radyografik Muayene	3
1.2.1. Klinik Değerlendirme	3
1.2.1.1. Pulpa Hassasiyet Testleri	6
1.2.1.1.1. Termal Testler	6
1.2.1.1.2. Elektrik Pulpa Testi (EPT)	9
1.2.1.2. Pulpa Canlılık Testleri	10
i. Lazer Doppler Flowmetre (LDF)	10
ii. Pulse Oksimetre (PO)	10
1.2.2. Radyografik Muayene	11
1.2.3. Ağrı Hikayesi	13
1.3. Pulpa Patolojisinin Saptanması	14
1.4. Dentin Çürüğünün Yapısı	21
1.5. Genç Sürekli Dişlerde Vital Endodontik Tedaviler	23
1.5.1. İndirekt Pulpa Kapaklaması (Kuafajı)	24
1.5.2. Direkt Pulpa Kapaklaması (Kuafajı)	29
1.5.3. Parsiyel (Cvek) Amputasyon/Pulpotomi	32
1.5.4. Total (Koronal) Amputasyon	39
1.6. Vital Pulpa Tedavilerinde Kullanılan Kaide Materyalleri	43
1.6.1. Kalsiyum Hidroksit (Ca(OH) ₂ /KH)	45

1.6.2. Kalsiyum Silikat Simanlar (KSS)	47
1.6.2.1. Mineral Trioksit Agregat (MTA)	49
1.6.2.2. TheraCal	53
1.7. Mikrosızıntı	58
1.7.1. Boya Penetrasyon Yöntemi	61
1.7.1.1. Gümüş Nitrat Kullanımı	63
1.7.2. Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT) Yöntemi	63
1.8. Amaç	66
2. GEREÇ VE YÖNTEM	68
2.1. Etik Kurul Onayı	68
2. 2. Proje Desteği	68
2. 3. Örneklerin Toplanması ve Saklanması	68
2.4. Çalışma Gruplarının Belirlenmesi	69
2.5. Örneklerin Hazırlanması	71
2.6. Mikrosızıntının Değerlendirilmesi	78
2.7. Verilerin Değerlendirilmesi ve İstatistiksel Analiz	81
3. BULGULAR	83
3.1. Grupların Mikrosızıntı Değerlerinin Kendi İçinde Karşılaştırması	83
3.2. Grupların Mikrosızıntı Değerlerinin Birbirleri Arasında Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi	85
4. TARTIŞMA	88
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	103
ÖZET	105
SUMMARY	106
KAYNAKLAR	107
EKLER	130
Ek-1 Etik Kurul Kararı	130
Ek-2 Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu	131
ÖZGEÇMİŞ	132

ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimimin ilk gününden itibaren her zaman akademik ve klinik deneyimlerini bana büyük bir özveri ve istekle aktaran; her daim güler yüzü, neşesi, sabrı, sevgisi, ilgisi, anlayışı ve desteğiyle yanımda olan; tez çalışmam boyunca her türlü yardımı esirgemeyip yanımda olan; öğrencisi olmaktan hep gurur ve mutluluk duyduğum, hayatım boyunca örnek alacağım çok sevdiğim değerli hocam Prof. Dr. Tuğba BEZGİN'e;

Uzmanlık eğitimim boyunca bilimsel ve mesleki deneyimlerini, bütün bilgi ve birikimlerini aktarmaktan hiç çekinmeyen, çok değerli Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri Sevgili Prof. Dr. Firdevs TULGA ÖZ, Prof. Dr. Levent ÖZER, Prof. Dr. Nurhan ÖZALP, Prof. Dr. Şaziye SARI, Prof. Dr. Zeynep ÖKTE'ye;

Klinik ve akademik tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, ne zaman kapılarımı çalsam sabırla, güler yüzleriyle karşılık veren; çok değerli Doç. Dr. Burcu Nihan YÜKSEL ve Doç. Dr. Akif DEMİREL'e;

Tez çalışmamı yapmamı sağlayan ve bana destek olan Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'ne, Mehmet AVCI ve Ergin GÖKÇE'ye;

Tez çalışmamı yaparken her daim sabırla yardımcı olan Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Sorumlusu Mustafa YEŞİL'e;

Tez çalışmamın örneklerinin mikro-BT ile taranması ve incelenmesi aşamasındaki yardım ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Kaan Orhan'a ve Dr. Öğr. Üyesi Arda Büyüksungur'a;

Yepyeni bir şehre ve hayata sayelerinde alıştığım, zorlu uzmanlık eğitimim boyunca her zaman benim yanımda olan, birlikte güldüğüm, ağladığım, keşfettiğim, zorluklara birlikte çözüm bulduğum canımdan çok sevdiğim kız kardeşlerim, cankıdemlerim, Ankara'daki ailem; Dt. Çiçek KORMAZ TORUN, Uzm. Dt. Özlem Beren SATILMIŞ, Dt. İrem BOLAT ÖZ, Dt. Semanur YILMAZ'a;

Uzmanlık eğitimim süresince birlikte çok güzel zamanlar geçirdiğim, her zaman bilgi ve yardım alışverişi içinde olduğum canım asistan arkadaşlarıma;

Uzmanlık eğitimim süresince her zaman birlikte çalışmaktan keyif aldığım ve yardımlarını hiçbir zaman benden esirgemeyen Çocuk Diş Hekimliği Bölümü personeline;

Birlikte büyüdüğüm, hayatı tecrübe ettiğim, keşfettiğim, hayatımın her iyi, kötü aşamasında yanımda olan, sayısız anılar biriktirdiğim ve biriktirmeye devam edeceğim, yanımda olmalarından mutlu olduğum, desteklerini hep hissettiğim canımdan çok sevdiğim seçilmiş kız kardeşlerim Melike Özge BİRCAN, Hilal ARGUN, Helin ALTAY, Neslihan YİĞİT ve Gülce YILMAZ'a;

İlk nefes alışımından itibaren her zaman benim yanımda olan, beni canından çok seven, eğitim hayatım boyunca aldığım her kararda beni destekleyen, ilerlememi sağlayan, başarılı bir akademik ve bilimsel hayat geçirmemi sağlayan, çok sevdiğim ve ömür boyu desteğini her zaman arkamda hissedeceğim canım annem Işık YILMAZ, babam Necdet YILMAZ, ablam Meltem YİĞİT, kardeşim Rıfat Kutluhan YILMAZ ve diğer tüm Yılmaz ailesi üyelerine;

Sevgi, saygı ve tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER VE KISALTMALARI

%	Derece
<	Küçüktür
>	Büyüktür
±	Artı- Eksi
°C	Santigrat Derece
2CaO·SiO ₂	Dikalsiyum Silikat
3CaO·Al ₂ O ₃	Trikalsiyum Alüminat
3CaO·SiO ₂	Trikalsiyum Silikat
AAE	Amerikan Endodontistler Birliği
AAPD	Amerikan Çocuk Diş Hekimliği Akademisi
AgNO ₃	Gümüş Nitrat
Al	Alüminyum
BaSO ₄	Baryum Sülfat
BaZrO ₃	Baryum Zirkonat
Bi ₂ O ₃	Bizmut Oksit
Bis-GMA	Bisfenol A-Glisidil Metakrilat
BMP-2	Kemik Morfojenik Protein-2
BT	Bilgisayarlı Tomografi
Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
Ca ⁺²	Kalsiyum
CaSO ₄ ·4H ₂ O	Kalsiyum Sülfat Dihidrat
CİS	Cam İyonomer Siman
cm ²	Santimetre kare
CO ₂	Karbondioksit
DDM	Diklorodiflorometan
EPT	Elektrik Pulpa Testi
Gpower	Güç Analizi
HA	Hidroksiapatit

hDPSCs	Dental Pulpa Kök Hücreleri
HEMA	Hidroksietil Metakrilat
HKSS	Hibrit Kalsiyum Silikat Siman
KSS	Kalsiyum Silikat Simanlar
kVp	Kilovoltaj Pik
LDF	Lazer Doppler Flowmetre
LED	Light Emitting Diode
mA	Miliamper
Mm	Milimetre
mm ³	Milimetre Küp
MPa	Megapaskal
MTA	Mineral Trioksit Agregat
MTT	Metiltiazol-difeniltetrazolyum
mW	Mikrowatt
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
Nm	Nanometre
OH ⁻	Hidroksil
Ort.	Ortalama
Ör	Örnek
PEGDMA	Polietilen Glikol Dimetakrilat
PO	Pulse Oksimetre
Ppm	Parts Per Million
PRF	Plateletten Zengin Fibrin
PT	Pulpotomi
RMCİS	Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SiO ₂	Silikat Oksit
TEGDMA	Trietilen Glikol Dimetakrilat
TGF- β1	Transforming Growth Faktör-Beta Bir
TIMP-2	Metaloproteinaz Doku İnhibitörü 2
UDMA	Üretan Dimetakrilat

ZOE	Çinko Oksit Öjenol
α	Alfa
β	Beta
μm	Mikrometre



ŞEKİLLER

- Şekil 1.1.** Cvek'in kök gelişim aşamalarının şeması. (A) $< 1/2$ kök uzunluğu; (B) $1/2$ kök uzunluğu; (C) $2/3$ kök uzunluğu; (D) Geniş, açık apikal foramen ve neredeyse tamamlanan kök uzunluğu; (E) Kapalı apikal foramen ve tamamlanmış kök gelişimi (Plascencia ve ark., 2017). 1
- Şekil 1.2.** Açık apeksli dişte görülen derin dentin çürüğünün radyografik görünümü (Dt. Utku Yasemin Yılmaz). 12
- Şekil 1.3.** Pulpa anatomisi 15
- Şekil 1.4.** Dentin tübülleri içindeki sıvı hareketi 19
- Şekil 1.5.** Dentindeki çürük lezyonunun enine kesiti ve histolojik/klinik belirtileri. Dentinin en yüzeyel dış tabakası, geri dönüşü olmayan demineralizasyon ve denatüre kollajen lifleri ile yoğun şekilde kontamine ve nekrotiktir. Klinik olarak yumuşak, ıslak dentin bu bölgedir. Dentin pulpaya yaklaştıkça bu yumuşak, kontamine tabaka giderek sertleşmektedir (Ogawa ve ark. (1983)'dan modifiye edilmiştir) (Zandoná ve ark., 2019). 22
- Şekil 1.6.** Pulpa tedavileri için karar verirken kullanılabilecek akış şeması (Yong ve ark., 2021). 23
- Şekil 1.7.** Çürüklü perforasyon gelişen dişlerde pulpa dokusunun histolojisi (a) çürüğe komşu pulpa dokusunun yapısı, (b) Parsiyel amputasyon ile inflamatuvar dokuların uzaklaştırılması, (c) Sağlıklı pulpa dokusu korunarak yapılan restorasyon (Bezgin ve ark., 2023). 42
- Şekil 2.1.** Çalışmamızda kullanılan üçüncü büyük azı dişlerine ait örnekler. 69
- Şekil 2.2.** Perforasyon genişliği 2 mm olan diş örneğinin ışık mikroskopu altında alınan görüntüsü. 70
- Şekil 2.3.** Perforasyon genişliği 4 mm olan diş örneğinin ışık mikroskopu altında alınan görüntüsü. 70
- Şekil 2.4.** ProRoot MTA (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, ABD). 71
- Şekil 2.5.** TheraCal PT (Bisco, Schamburg, IL, ABD). 71
- Şekil 2.6.** Üretici firmanın önerilerine göre $1/3$ oranında hazırlanan ProRoot MTA'nın toz ve likiti. 72

Şekil 2.7. (a) 2 mm (b) 4 mm perforasyon alanıyla çevre 1 mm dentini tamamen örtecek şekilde el aleti ile kaviteye yerleştirilen ProRoot MTA.	73
Şekil 2.8. (a) 2 mm ve (b) 4 mm ProRoot MTA gruplarından alınan radyograf örnekleri	73
Şekil 2.9. (a) Perforasyon alanına TheraCal PT'nin yerleştirilmesi (b) 2 mm (c) 4 mm perforasyon alanıyla çevre 1 mm dentini tamamen örtecek şekilde yerleştirilen Theracal PT.	74
Şekil 2.10. (a) 2 mm ve (b) 4 mm TheraCal Pt gruplarından alınan radyograf örnekleri	74
Şekil 2.11. Perforasyon alanına spongostan yerleştirilmesi	75
Şekil 2.12. Rezin modifiye cam iyonomer simanın yerleştirilmesi	76
Şekil 2.13. Örneklerin kompozit rezin ile daimi restorasyonu	76
Şekil 2.14. Etüv cihazı	77
Şekil 2.15. Termal siklus cihazı	77
Şekil 2.16. İki tabaka tırnak cilasının restorasyon kenarlarına 1 mm yaklaşacak şekilde tüm diş yüzeylerine uygulanması.	78
Şekil 2.17. Örneklerin %50'lik gümüş nitrat solüsyonuna yerleştirilmesi	79
Şekil 2.18. Akan su altında diş fırçası yardımıyla, örneklerin yüzeylerindeki gümüş nitratin uzaklaştırılması.	79
Şekil 2.19. Mikro-BT cihazı	80
Şekil 2.20. Mikro-BT ile pulpa odasında radyoopak olarak görüntülenen gümüş nitrat penetrasyonu	81
Şekil 2.21. Aynı dişe ait Mikro-BT ile pulpa odasında renklendirilmiş olarak görüntülenen gümüş nitrat penetrasyonu	81
Şekil 3.1. 2 mm perforasyon gerçekleştirilen çalışma ve kontrol gruplarına ait minimum, maksimum ve ortalama mikrosızıntı değerlerini gösteren grafik.	86
Şekil 3.2. 4 mm perforasyon gerçekleştirilen çalışma ve kontrol gruplarına ait minimum, maksimum ve ortalama mikrosızıntı değerlerini gösteren grafik.	87

ÇİZELGELER

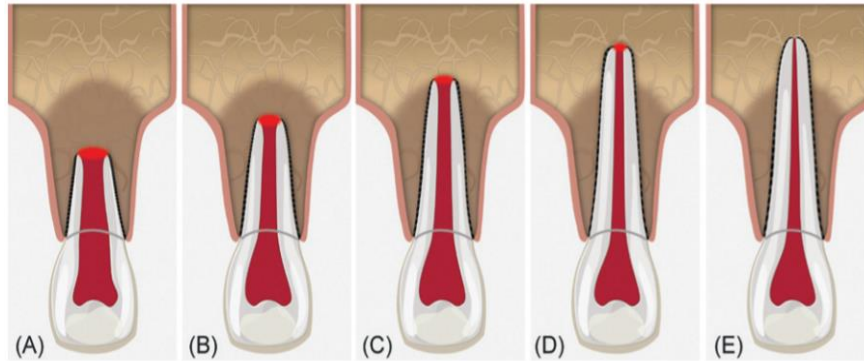
Çizelge 3.1. ProRoot MTA gruplarının mikrosızıntı açısından birbirleri ile karşılaştırılması	83
Çizelge 3.2. TheraCal PT gruplarının mikrosızıntı açısından birbirleri ile karşılaştırılması	84
Çizelge 3.3. Kontrol gruplarının mikrosızıntı açısından birbirleri ile karşılaştırılması	84
Çizelge 3.4. 2 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan çalışma ve kontrol gruplarındaki dişlere ait mikrosızıntı değerlerinin karşılaştırılması	85
Çizelge 3.5. 4 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan çalışma ve kontrol gruplarındaki dişlere ait mikrosızıntı değerlerinin karşılaştırılması	87

1. GİRİŞ

1.1. Genç Sürekli Dişlerde Endodontik Tedaviler

Kök gelişimi henüz tamamlanmamış sürekli dişler, ‘genç sürekli diş’ veya ‘immatür sürekli diş’ olarak adlandırılır. Olgunlaşmamış daimi dişlerin kökleri ince duvarlı, apeksleri geniş ve kök uzunlukları kısadır (Şekil 1.1). Sürmelerinin ardından tam olarak gelişmeleri için 1 ila 3 yıl gerekmektedir. Ek olarak, bu dişlerdeki dentin tübülleri olgun dişlere göre daha geniştir. Bu durum da geçirgenliği artırarak mikrobiyal invazyonun daha fazla olmasına ve endodontik tedavi gereksiniminin artmasına neden olmaktadır (Camp, 2008; Winters ve ark., 2008).

Endodontik tedavi gereksinimi olan genç daimi dişlerin köklerinin kırılganlığı ve tedavilerinin zorluğu, hekimleri bu dişleri tedavi etmekten alıkoymaktadır. Ancak, erken tanı ile pulpa dokusunu korumaya yönelik tedaviler sayesinde bu dişlerde dentin apozisyonunun ve apeksogenezezin devam etmesinin sağlanabilmesi mümkündür (Winters ve ark., 2008). Bu tedaviler sayesinde kök yapısının güçlenmesi sağlanır ve prognoz iyileşir (Witherspoon ve ark., 2008).



Şekil 1.1. Cvek'in kök gelişim aşamalarının şeması. (A) <1/2 kök uzunluğu; (B) 1/2 kök uzunluğu; (C) 2/3 kök uzunluğu; (D) Geniş, açık apikal foramen ve neredeyse tamamlanan kök uzunluğu; (E) Kapalı apikal foramen ve tamamlanmış kök gelişimi (Plascencia ve ark., 2017).

Endodontik tedavilerin temel amacı, dişlerin ve destek dokularının bütünlüğünü ve sağlığını korumaktır. Bu amaçla; çürük, travmatik yaralanma veya konjenital anomaliler gibi sebeplerden etkilenmiş olan genç sürekli bir dişte öncelikle pulpanın canlılığını devam ettirmek hedeflenmelidir. Özellikle olgunlaşmamış genç daimi dişlerde apeksogenezisin devam etmesi için pulpa gereklidir. Amerikan Çocuk Diş Hekimliği Akademisi (AAPD)'ne göre daimi bir dişin uzun süre fonksiyon görebilmesi için; uygun bir kuron/kök oranına ve yeterli kalınlıkta dentin duvarlarına sahip olması gerekmektedir (AAPD, 2021).

Genç daimi dişlere uygulanan vital endodontik tedaviler apeksogenezisi devam ettirmeyi amaçlayan tedavilerdir. Bu tedavi yöntemleri, sadece açığa çıkan pulpayı tedavi etmek değil, kök pulpasının canlılığını devam ettirerek kökün kendi gelişimini tamamlaması için uygun bir ortam sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sayede pulpanın canlılığı devam ettiği için odontoblastlar kök boyunca dentin yapımını sürdürürler ve köklerde dentin kalınlığı artar. Hertwig epitel kök kını fonksiyona devam ettiği için kök uzunluğu artar ve ideal kuron/kök oranına ulaşılır. Kök ucunun fizyolojik olarak kapanması sağlanarak ileride olası kanal tedavileri için uygun ortam hazırlanmış olur (AAPD, 2021).

Hastanın yaşı vital pulpa tedavisinde önemlidir. Geriatrik hastaların dişlerinin pulpasının daha lifli ve daha az direnç gösteren karakterinin pulpanın iyileşme kapasitesini azaltabileceği öne sürülmektedir. Hücre fonksiyonunu, çoğalmayı, farklılaşmayı ve gelişmeyi yansıtan gen ekspresyon seviyeleri genç pulpa dokusunda belirgin olarak daha yüksek bulunmuştur. Genç diş pulpalarında, apoptoza daha sık maruz kalan yaşlı pulpalara kıyasla daha fazla hücre ve doku farklılaşması, proliferasyonu ve lenfatik/hematolojik gelişim görülmektedir (Tranasi ve ark., 2009). Genç ve olgunlaşmamış daimi dişlerde pulpanın kanlanması fazla olması ve savunma mekanizmasının güçlü olması, bakteriyel enfeksiyona karşı savunmada daha dirençli olmasını ve tedavinin başarı oranının artmasını sağlamaktadır (Taha ve ark., 2018a; Takahashi, 1990).

Vital pulpa tedavilerinin başarısını etkileyen bir diğer faktör ise, işlem öncesi pulpa durumunun doğru tespit edilebilmesidir. Pulpa canlılığının korunması ancak tedavi sırasında ve sonrasında bakteriyel enfeksiyon ortadan kaldırılırsa başarılı olabilir. Vital pulpa tedavileri öncesinde pulpanın patolojik durumu doğru tespit edilmelidir. Tüm vital pulpa tedavi prosedürlerinde; dişler rubber dam ile uygun şekilde izole edilmeli, çürük dokusu steril aletler kullanılarak etkin şekilde temizlenmeli ve bakteri sızıntısını önlemek için iyi bir koronal restorasyon yapılmalıdır. Eğer bu şartlar sağlanamıyor ise kök kanal tedavisi tercih edilmeli ya da restore edilemeyecek düzeyde madde kaybı olan dişler için çekim endikasyonu düşünülmelidir (Bogen ve ark., 2021).

1.2. Genç Sürekli Dişlerde Klinik ve Radyografik Muayene

Her türlü dental tedavi öncesinde doğru bir teşhis ve tedavi planı yapılmalıdır. Teşhis konulurken; hastanın geçmiş medikal ve dental tedavi öyküsü, klinik muayene, radyografiler ve özel testler kullanılarak belirli bir yol izlenmelidir (Waterhouse ve ark., 2011).

Pulpa iltihabının derecesini belirlemeye yönelik kullanılan testler çoğu zaman küçük yaştaki ve endişeli çocuklar için korkutucu gelmektedir ve bu testlerin süt veya olgunlaşmamış kalıcı dişlerde çok az veya hiç değeri olmayabilir (Waterhouse ve ark., 2011). Genç hastada klinik ve radyografik değerlendirmede, yetişkin hastadan farklı olarak dikkat edilecek birçok faktör vardır:

1.2.1. Klinik Değerlendirme

İntraoral muayenede; ağız içi yumuşak ve sert dokular incelenmeli, klinik testler, periodontal testler ve pulpa hassasiyet/canlılık testleri uygulanmalıdır. Ağız içi yumuşak dokuların muayenesi; dudakların, ağız mukozasının, yanakların, dilin,

damağın, kasların ve periodonsiyumun kapsamlı olarak görsel ve sond ile muayenesini içermektedir. Şüpheli bir dişin komşuluğundaki alveolar mukoza ve yapışık diş etlerine renk değişikliği, iltihaplanma, ülserasyon ve sinüs yolu oluşumu için özellikle dikkat edilmelidir (Blicher ve ark., 2021). Sonrasında dişler; çürük lezyonları, önceki restorasyonlar, kırık varlığı, renkleşmeler ve kalıtsal veya edinilmiş anomaliler açısından dikkatle incelenmelidir. Çürük lezyonlarının klinik muayenesi yapılırken her diş ayrı ayrı kurutulmalı ve iyi bir ışık altında incelenmelidir (Dean, 2016).

Pulpa tanı testleri, pulpanın nörofizyolojik durumunu ve kan akışını değerlendirir. Bu tanı testleri, hassasiyet testleri ve canlılık testleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Pulpa hassasiyet testleri; termal testler, elektrikli pulpa testi ve kavite testidir. Bu testler ile pulpanın nörofizyolojik durumu değerlendirilir. Ancak, pulpanın sağlık durumunu göstermezler ve bazı durumlarda yanıtlar güvenilir değildir. Özellikle; travma görmüş olgunlaşmamış dişlerden alınan cevaplar güvenilir değildir (Kara Tuncer ve ark., 2014).

Pulpa canlılık testleri ise; Lazer Doppler Flowmetre, Pulse Oksimetre ve diş yüzey sıcaklığını ölçen testlerdir. Bu testler ile pulpanın kan akımı değerlendirilir.

Pulpa hassasiyet ve canlılık testleri; periodontal sondlama, perküsyon, palpasyon, mobilite ve anestezi gibi diğer klinik testlerle birlikte değerlendirilmelidir (Abd-Elmeguid ve ark., 2009; Jafarzadeh ve ark., 2010).

Perküsyon: Perküsyon testi, dişlerin insizal ya da oklüzal yüzeylerine parmakla/künt bir aletle vurularak yapılmaktadır. Başlangıçta, eldivenli parmakla hafifçe vurularak ve hafif basınç uygulanarak nazikçe yapılmalıdır. Hasta herhangi bir farklılık tespit edemezse, ayna sapının arka ucu gibi bir aletin kör ucu kullanılarak test tekrarlanmalıdır (Srivastava, 2011). Dişin öncelikle oklüzeline perküsyon yapılmalı ve hasta bir fark hissedemiyorsa dişlerin bukkal ve lingual yönlerine vurarak test

tekrarlanmalıdır. Alınan herhangi bir ağırlı yanıt durumunda, doğru ve tekrarlanabilir olduğunu belirlemek için test gerektiği kadar tekrarlanmalıdır. Perküsyon testi, pulpanın durumunu açıklamasa da periradiküler bir inflamasyonun varlığını göstermektedir. Bu test özellikle çok hassas dişlerde nazıkçe yapılmalı, birkaç kez tekrarlanmalı ve simetrik sağlam dişler ile karşılaştırılmalıdır. Perküsyon testini uygulamadan önce klinisyen, hastayı bu testin nasıl uygulandığı ve neler beklenmesi gerektiği konusunda bilgilendirmelidir. Akut semptomların varlığı endişe yaratabileceğinden ve muhtemelen hastanın yanıtını değiştirebileceğinden, hastayı uygun şekilde hazırlamak daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar. İlk olarak kontrol amaçlı, normal yanıt vereceği kesin olan birkaç komşu diştten başlanılmalıdır. Klinisyen, hastaya bu diştten gelen hissin normal olduğunu belirttikten sonra şüphelenilen dişler değerlendirilmelidir. Hasta çiğneme sırasında akut hassasiyet veya ağrı yaşıyorsa, bu tepki dişlere yapılan perküsyon testinde de alınır ve bu da hastanın semptomlarının belirli bir dişe yönelmesine yardımcı olur. Perküsyona alınan ağırlı yanıt dişin vital veya devital olduğunu göstermez. Bu durum daha çok periodontal dokulardaki iltihaplanmanın bir göstergesi olmaktadır (Ör/ semptomatik apikal periodontitis). Bu inflamasyon; fiziksel travmaya, oklüzal prematür kontaklara, periodontal hastalığa veya pulpa hastalığının periodontal ligament boşluğuna yayılması nedeniyle olabilir (Berman ve ark., 2021).

Palpasyon: Yumuşak doku muayenesi sırasında hem yumuşak dokular hem de alveolar sert dokular palpe edilmelidir. Herhangi bir yumuşak doku şişmesi veya kemik genişlemesi saptanırsa, özellikle komşu ve kontralateral dokular ile karşılaştırılmasının yapılmasına dikkat edilmelidir. Test, kökleri ve apeksleri kaplayan mukozaya sıkı bir parmak basıncı uygulanarak yapılır. Ancak bu basınç hastayı rahatsız edecek seviyede olmamalıdır. Parmak basıncına verilen ağırlı tepkiler ile periradiküler anormallikler tespit edilir. Kök üzerindeki mukozada oluşan duyarlılık genellikle periodontal ligamentten başlayan ve kemiğe doğru yayılan iltihabın bir belirtisi olmaktadır (Srivastava, 2011). Ancak bu test, inflamatuvar sürecin endodontik mi yoksa periodontal kaynaklı mı olduğunu göstermek için yetersiz kalmaktadır (Berman ve ark., 2021).

Mobilite: Dişin mobilitesindeki artış, pulpa canlılığının bir göstergesi değildir. Bu durum, periodontal ataçmanlarda meydana gelen bir bozulmanın göstergesidir. Dişte meydana gelen mobilite; akut veya kronik fiziksel travma, oklüzal travma, parafonksiyonel alışkanlıklar, periodontal hastalık, kök kırıkları, hızlı ortodontik hareket veya pulpa hastalığının, özellikle şiddetli bir enfeksiyonun periodontal ligament boşluğuna yayılması sonucu olabilmektedir. Mobilite, neden olan faktörler iyileştirildikten sonra genellikle normale dönmektedir. Testi uygularken, basit parmak basıncı ile hareketliliğin belirlenmesi görsel olarak subjektif olabileceğinden, biri bukkal, diğeri dişin lingual tarafında olmak üzere iki tane ayna sapının arka uçları kullanılmalıdır. Dikey yönde olduğu kadar bukkolingual yönde de basınç uygulanmalı ve diş hareketliliği gözlemlenmelidir. Aynı zamanda dişler, komşu ve karşıt dişlere göre ne kadar hareketli olduklarına göre de değerlendirilmelidir (Berman ve ark., 2021).

1.2.1.1. Pulpa Hassasiyet Testleri

1.2.1.1.1. Termal Testler

Sıcak Testi: Termal testler pulpanın termal değişikliklere hassasiyetini ölçmek amacıyla diş soğuk ve sıcak uyaranlar uygulanarak yapılmaktadır. Normal dişlerde termal testler uygulanırken etkenin ortadan kaldırılmasıyla ağrı hemen kaybolmaktadır. Soğuk ve sıcak, hipersensitif ve hiperemik pulpada geçici bir reaksiyona yol açar. Uygulama sona erince ağrı kesilir. Etken ortadan kaldırıldıktan sonra ağrının devam ettiği durumlar ise ileri pulpa iltihabını göstermektedir (Waterhouse ve ark., 2011).

Isı testinin en yardımcı olduğu zaman, bir hastanın ana şikayeti herhangi bir sıcak sıvı veya yiyeceklerle temas halinde yoğun diş ağrısı hissettiği zamandır. Bir irrigasyon şırıngası, ağrı hissine neden olacak sıcaklığa benzer derecede olan bir sıvı (en yaygın olarak sade su) ile doldurularak hastanın hangi dişinde ağrı olduğunu ayırt

edemediği bölgedeki en arka diştten başlanarak uygulanmalıdır. İlgili diş ısıya karşı anında, yoğun ağrılı bir tepki gösterecektir (Jafarzadeh ve ark., 2010).

Isı testinde, alınan yanıt gecikmeli olabilir, bu nedenle her bir ısı testi arasında 10 saniye beklemek semptomların başlaması için yeterli bir süredir. Isı testi için başka bir yöntem, diş yüzeyine ısıtılmış gütaperka uygulamasıdır. Gütaperka konlar 65°C’de yumuşar ve bu derece, belli aletlerle 200°C’ye kadar yükseltilebilmektedir. Ancak gütaperka konlar yeterli ısıtılmadığında uyarı pulpayı etkilemez ve bir cevap oluşturmaz (Kara Tuncer ve ark., 2014). Bir diğer yöntem, elektronik ısı testi cihazlarının kullanılmasıdır. Isı testi, diğer pulpa testi uygulamalarının sonuçlarını doğrularsa, dişin tedavisine acil olarak başlanılmalıdır. Genel olarak, sıcaklığa tepki veren ve daha sonra soğukla rahatlayan bir dişin kronik pulpitis ya da nekrotik olduğu sonucuna varılır (Bierma ve ark., 2012).

Sıcak testinin uzun süre uygulanması pulpada fazla ısı artışına ve pulpa hasarına yol açabilir. Isı, küçük çocuklarda tanı testi olarak güvenilir değildir (Fulling ve ark., 1976b).

Soğuk testi: En sık kullanılan pulpa hassasiyet testidir. Dişe soğuk uygulanması, dentin tübülleri içerisinde bulunan dentin sıvısının büzülmesine ve bu sıvının dentin tübüllerinin dışına doğru hareket etmesine neden olmaktadır (Brannstrom, 1986).

Soğuk testi; Tetrafloroetan (-26.2°C), buz çubukları (0° C), karbondioksit buzu (CO₂) (-78° C), etil klorit (-5° C) ve diklorodiflorometan (DDM) (-50° C) uygulanarak yapılır. Günümüzde soğuk testi olarak en fazla tetrafloroetan (-26.2°C) içeren soğutucu spreyle uygulanmaktadır. Klinik prosedürde; soğutucu spreyle bir presel yardımı ile tutulan steril pamuk tampon üzerine buzlanma oluşana kadar püskürtülür. Daha sonra pamuk tampon kurutulmuş dişin labial yüzeyinde bekletilir (Kara Tuncer ve ark., 2014).

Soğuk testi en fazla 15 saniye yapılmalıdır ve hasta tepki verdiği an son verilmelidir. Soğuğa verilen yanıt, pulpa dokusunun normal ya da etkilenmiş olmasına bakılmaksızın vital olduğu anlamına gelmektedir (Berman ve ark., 2021).

Standart elektriksel ve termal pulpa testleri süt dişlerinde ve olgunlaşmamış genç daimi dişlerde sınırlı bir değere sahiptir. Bu testler bazı vital dokuların varlığını gösterebilse de pulpa iltihabının boyutu hakkında güvenilir veriler vermezler. Tamamen sağlıklı dişlere sahip birçok çocuk, yüksek ayarlarda bile elektrikli pulpa test cihazına yanıt vermeyebilir. Travma sonrası pulpa iyileşmesi sırasında, özellikle de lüksasyon yaralanmalarından sonra geçici hassasiyet kaybı sık görülen bir bulgudur. Bu nedenle, travma hastalarında pulpa duyarlılık testlerine doğru yanıt alınamayabilir (Bastos ve ark., 2014). Ayrıca, genç hastalar, endişe, korku veya genel uyum sorunları nedeniyle bu tür testlere güvenilirmez yanıtlar verebilirler (Waterhouse ve ark., 2011).

Termal testlerin, olgunlaşmamış daimi dişlerde duyarlı vital dokunun varlığını belirlemede elektriksel yöntemlerden daha güvenilir olabileceği ve karbondioksit testinin, buz ve etil klorüre göre daha etkili olduğu gösterilmiştir (Fulling ve ark., 1976a; Fuss ve ark., 1986).

Pulpa testleri ilk olarak, hastanın ağrı duymayacağı sağlıklı dişlerde, ana şikayet alanından uzakta yapılmalıdır. Bu şekilde klinisyenin, hastada asemptomatik dişlere verdiği normal yanıtların aralığını anlamasına olanak sağlanır. Ayrıca hastanın testten ne beklemesi gerektiğini de öğrenmesi sağlanmış olur. Normal, sağlıklı dişlerde uyaran ortadan kaldırıldığında ağrı hemen kaybolmaktadır (Berman ve ark., 2021). Ağrının devam ettiği durumlarda ileri pulpa iltihabı düşünülmelidir. Uyarana karşı hiç cevap alınamaması durumunda, pulpa dokusu canlılığını kaybetmiştir veya canlı olduğu halde aşırı kalsifikasyon, olgunlaşmamış apeks, yakın zamanda oluşan bir travma nedeni ile hatalı yanıt vermektedir (Jafarzadeh ve ark., 2010).

1.2.1.1.2. Elektrik Pulpa Testi (EPT)

Elektrikli pulpa test cihazı, nöral iletimi ve vital sinir liflerinin varlığını gösterir, ancak pulpanın sağlığını veya bütünlüğünü ölçmez (Abd-Elmeguid ve ark., 2009). Bu cihazlar oldukça hassas aletlerdir. Test yapılırken ilgili diş izole edilmelidir. Bu amaçla yapılan mineyi kurutma, interproksimal bölgelere plastik bir bant yerleştirme ve rubber dam kullanma işlemleri elektrik akımının komşu dişlere ve dişeti dokusuna ulaşmasını engellemektedir (Gopikrishna ve ark., 2009).

EPT'nin çalışma prensibi diş yüzeyine elektrik akımı uygulayarak pulpa dentin kompleksi içerisindeki miyelinli A delta liflerini uyarmaktır. Dentin kanalcıklarının içerisindeki dentin sıvısının iyonik akımı sonucunda A delta liflerinden aksiyon potansiyeli oluşur ve pozitif sonuç elde edilir (Närhi ve ark., 1979). Elektrik pulpa testi sonuçları temelde hep veya hiç kuralına göredir. Tepki alınmışsa dişin vital, tepki alınmamışsa devital olduğu anlaşılır.

Yakın zamanda travma geçirmiş dişler, duyuşal fonksiyonlarını geçici olarak kaybettikleri için yanlış-negatif yanıt verebilirler (Bhaskar ve ark., 1973). Aynı zamanda kök kanallarında meydana gelen kalsifik obliterasyonlar, olgunlaşmamış apekse sahip dişler, hastanın ağrı eşiğini artıran ilaçlar, pulpa test cihazının dişle zayıf teması da yanlış-negatif yanıt alınmasına neden olabilir (Berman ve ark., 2021).

Parsiyel nekroz olan dişler kanlanma olmamasına rağmen yanlış-pozitif yanıt verebilirler (Petersson ve ark., 1999). Hastanın kaygısı, yetersiz diş izolasyonu ve metal restorasyonlarla temas da yanlış-pozitif yanıt alınmasına neden olabilir (Berman ve ark., 2021).

İmmatür sürekli dişlerde elektriksel pulpa testinin güvenilir olmadığı birçok çalışmada rapor edilmiştir (Fulling ve ark., 1976a; Fuss ve ark., 1986). Yapılan bir

çalışmada, apeksleri tamamen açık olan 6-11 yaşındaki çocuklarda %11'e; kök oluşumu tamamlanmış daha büyük çocuklarda %79'a kadar değişen oranlarda doğru yanıtlar elde edildiği belirtilmiştir (Fuss ve ark., 1986). Olgunlaşmamış kök apeksine sahip genç hastalarda soğuk testlerin elektrikli pulpa testlerinden daha güvenilir olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle, bir test yöntemiyle elde edilen sonuçları doğrulamak için diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılmalıdır (Alomari ve ark., 2011).

1.2.1.2. Pulpa Canlılık Testleri

i. Lazer Doppler Flowmetre (LDF)

Lazer Doppler Flowmetre, kron ve pulpa odası boyunca kızılötesi ışık demeti yansıtan bir diyot ile mikro-vasküler sistemlerin ince kan damarlarında doğrudan kan akımı ölçümü yapabilen non-invaziv, tekrarlanabilir ve güvenilir bir yöntemdir. Diş hekimliğinde LDF, travmaya uğramış dişlerin canlılık kontrolünde pulpadaki kan akımının ölçülmesinde kullanılmaktadır (Jafarzadeh, 2009). İlk kez Gazelius ve ark. (1986) tarafından kullanılmıştır

LDF'nin, olgunlaşmamış daimi dişlerde pulpa canlılığını teşhis etmede güvenilir olduğu bildirilmiştir; ancak cihaz klinik kullanım için kolay değildir ve maliyeti yüksektir (Evans ve ark., 1999).

ii. Pulse Oksimetre (PO)

Pulse oksimetre, dişin kronunun orta üçte birine yerleştirilen bir prob ile dolaşımdaki arteriyel kanın oksijen saturasyon yüzdesini belirleyen noninvaziv bir yöntemdir (Shindova ve ark., 2022). Süt dişleri ve olgunlaşmamış daimi dişlerde pulpa canlılığını test etmek için pulse oksimetrenin etkinliği değerlendirilmiş; elektriksel ve termal yöntemlere göre daha objektif ve atravmatik bir yöntem olduğu sonucuna

varılmıştır (Gopakumar ve ark., 2011). Ancak bu konuda etkinliğini ölçecek yeterli klinik çalışma bulunmamaktadır.

1.2.2. Radyografik Muayene

Klinik muayene, uygun şartlar altında yüksek kalitede radyografiler ile desteklenmelidir. Süt ve genç daimi dişlerde; çürük, önceki endodontik tedaviler ve restorasyonlar, periapikal dokularda meydana gelmiş olan değişikliklerin incelenmesinde güncel radyografiler gereklidir. Çocuklarda radyografilerin yorumlanması, süt dişlerinin fizyolojik kök rezorbsiyonları ve genç daimi dişlerin olgunlaşmasını tamamlamamış olan kökleri nedeniyle karmaşık ve zordur. Çoğu kökün meziodistal genişliği bukkolingual boyutundan daha az olduğundan, olgunlaşmamış bir dişin apikal kapanmasını radyografik olarak belirlemek zor olabilir (Camp, 2008). Klinisyen, çocuklardan alınan radyografileri yorumlamaya aşina değilse ve radyografiler iyi kalitede değilse, yanlış bir şekilde yorumlanabilir. Olgunlaşmamış genç daimi dişlerde kök oluşumunun her zaman simetrik diş ile karşılaştırılması gerekmektedir (Waterhouse ve ark., 2011).

Radyografik incelemede; intraradiküler değerlendirmede çürüğün pulpaya yakınlığı, internal rezorbsiyon ve pulpadaki kalsifik dejenerasyonlar değerlendirilmelidir. Periradiküler olarak da normal periodontal membran aralığı, normal lamina dura ve eksternal rezorbsiyon varlığı değerlendirilmelidir (Berman ve ark., 2021) (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Açık apeksli dişte görülen derin dentin çürüğünün radyografik görünümü (Dt. Utku Yasemin Yılmaz).

Radyografiler ile her zaman periapikal patoloji ve çürüklerin pulpaya olan mesafesi doğru olarak belirlenemez. Ancak genel olarak, endodontik patolojiler radyografik olarak değerlendirildiğinde, periapiks alanında bir radyolüsensi olarak görülürler. Patoloji, diş devital olduğunda radyografik bulgu olarak lamina durada genişleme şeklinde ortaya çıkabilir veya kök ucunda, lateral/furkasyondaki aksesuar kanalların bitiminde ya da bitişik alveolar kemikte radyolüsent bir alan olarak ortaya çıkabilir (Berman ve ark., 2021).

Dijital radyografiler 1980'lerin sonlarından beri kullanılmaktadırlar. Son zamanlarda daha iyi donanım ve daha kullanıcı dostu bir yöntem olarak popüler hale gelmişlerdir. Zaman içinde bozulmayan, kolayca yeniden görüntülenebilir bir formatta saklanabilen, büyütme ve geliştirme özelliklerine sahiptirler. Dijital radyografların geleneksel radyograflara göre önemli avantajları arasında daha düşük radyasyon dozları, anında görüntüleme, görüntünün internet üzerinden paylaşılabilmesi, çoğaltma ve kolay arşivleme sayılabilir (Real ve ark., 2011).

1.2.3. Ağrı Hikayesi

Ağrı algısı, iki ana duyuşal sinir lifi tarafından merkezi sinir sistemine ileilmektedir. Bu sinir lifleri; A-delta lifleri ve C lifleridir. Çürük, travma, mekanik veya kimyasal yaralanma, bu sinir uçlarının uyarılması için gereken eşiğı düşüren inflamatuvar süreçleri başlatarak pulpa ağrısına neden olurlar. Doku hasarının neden olduğı hücreşel hasar, mast hücre degranülasyonu, vasküler staz ve sinir uyarımı; histamin, nörokininler, bradikininler, prostaglandinler ve diğler inflamatuvar mediatörlerin salımını tetikleyerek ağrıya ve intrapulpal basıncın yükselmesine neden olur (Kim, 1990).

Doku basıncında ve pulpa mikrosirkülasyonunda meydana gelen lokalize değışiklikler, A-delta ve C-liflerinin işlevini farklı şekilde etkilemektedir. A lifi ağrısı iyi lokalize edilir ve keskindir; C lifi ağrısı ise donuktur, lokalize etmek zordur ve sıklıkla yansıyan ağrı şeklindedir (Yong ve ark., 2021).

Hastanın ağrı hikayesi sorgulanırken; ağrının lokalizasyonu, ne zaman başladığı, yoğunluğu, provoke eden ya da azaltan durumlar ve süresiyle ilgili sorular sorulmalıdır. Genellikle hastalar rahatsız eden diğı işaret edip yerini gösterebilirler. Bu sayede klinisyen bu diğte herhangi bir özel patolojiye neden olabilecek olaylara yönelerek bu diğte daha fazla odaklanır. Semptomlar iyi lokalize edilmediğı zaman diğte tanı koymak zorlaşmaktadır (Berman ve ark., 2021).

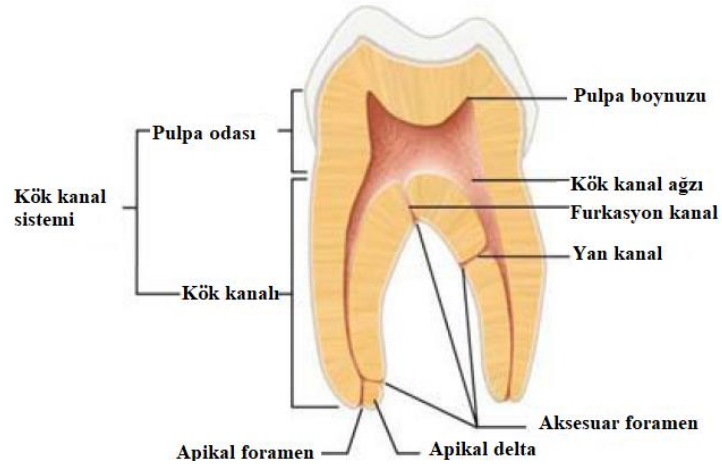
Hastalar semptomların ilk ne zaman ortaya çıktığını hatta hangi olaydan sonra başladığını genellikle hatırlamaktadırlar. Ağrı spontan bir şekilde, daha önce yapılan diğ tedavisinden sonra, diğ travma gördükten sonra, sert bir nesneyi ısırıldıktan sonra başlamış olabilir veya sinüzit, baş ağrısı, göğüş ağrısı gibi durumlara eşzamanlı olarak ortaya çıkmış olabilir. Ağrının yoğunluğu sorgulanırken hastaya, "1'den 10'a kadar, en şiddetli 10 olmak üzere, belirtilerinizi nasıl değıerlendirirsiniz?" diye sorulabilir. "Soğuşa karşı rahatsız edici bir hassasiyet" veya "çiğneme sırasında rahatsız edici bir

ağrı" sadece 2 veya 3 olarak değerlendirebilir. Ağrıyı provoke eden ya da azaltan durumlarda; çigneme ve lokal olarak uygulanan sıcaklık değişiklikleri, diş ağrısına neden olan tetikleyici faktörlerin çoğunu oluşturmaktadır. Ağrının süresinin de kısa sürmesi ya da provoke edici bir faktörden sonra uzun sürmesi planlanan tedaviye karar verirken önemlidir (Berman ve ark., 2021).

Amerikan Endodontistler Birliği (AAE)'ne göre sağlıklı bir pulpaya sahip olan dişler semptomsuzdur, pulpa testlerine normal olarak yanıt verirler ve genellikle herhangi bir spontan ağrı göstermezler (AAE, 2020). Aynı zamanda pulpa testlerinde hissedilen semptomlar hafiftir, hastada sıkıntı yaratmaz ve saniyeler içinde düzelen geçici bir hisle sonuçlanır (Berman ve ark., 2021).

1.3. Pulpa Patolojisinin Saptanması

Dental pulpa; mine, dentin ve sement gibi mineralize dokularla çevrili, oldukça özelleşmiş bir gevşek bağ dokusudur. Apikal foramen ve lateral kanallar yoluyla; sement, periodontal ligament ve alveolar kemikten oluşan periodonsiyum ile iletişim kurar (Şekil 1.3.). Pulpa ve periodonsiyum ağız florasından mine, dentin ve dişeti ataçmanı ile fiziksel olarak ayrılmaktadır. Dental pulpa ve periradiküler dokuların mikroorganizmalara maruz kalması pulpal ve periradiküler patolojilerin gelişmesine neden olmaktadır (Torabinejad ve ark., 1999).



Şekil 1.3. Pulpa anatomisi

Dental pulpa mineralize bir yapıyla korunmasına rağmen irritasyonlara karşı dayanıklı değildir. Diş çürükleri, travma, anatomik kusurlar ve iatrojenik durumlar, iltihaplanmaya ve muhtemelen nekroza yol açabilir (Diogenes ve ark., 2021). Pulpa dokusunun doğal iyileşme potansiyeli iyi bilinmektedir. Diğer tüm bağ dokularında olduğu gibi, doku hasarının onarımı makrofajların debridmanı ile başlar, ardından fibroblastların proliferasyonu ve kollajen oluşumu gelir. Lokal dolaşım, yara iyileşmesi ve onarımında kritik bir öneme sahiptir. Bağışıklık hücrelerini pulpa hasarı meydana gelen alana taşımak ve bölgedeki zararlı ajanları seyreltip uzaklaştırmak için yeterli kan dolaşımı gerekmektedir. Çoğu dokudan farklı olarak, pulpanın esasen kollateral dolaşımı yoktur ve bu durum pulpa dokusunu diğer dokulardan daha savunmasız hale getirmektedir. Geniş, açık apikal foramenlere, zengin damarlanmaya ve çok sayıda hücreye sahip genç bir dişin pulpası; dar foramenli ve kısıtlı damarlanması olan yaşlı bir dişe göre daha iyi bir iyileşme potansiyeline sahiptir (Fristad ve ark., 2021).

Dentindeki mineralizasyon süreci, prenatal dönemde başlar ve pulpa canlı olduğu sürece dişin ömrü boyunca devam eder. Dentin oluşum zamanına göre primer, sekonder ve tersiyer dentin olarak sınıflandırılmaktadır (Fristad ve ark., 2021).

Primer dentin, diş sürmeden önce oluşan düzenli tübüler dentindir. Sekonder dentin, diş olgunlaşmasından sonra oluşan, tübülleri primer dentin ile devamlılık gösteren düzenli, çevresel dentindir (Fristad ve ark., 2021). Daha yavaş bir şekilde birikerek dentinin pulpa kanalı boşluklarının ve pulpa odasının tamamı boyunca kademeli olarak birikmesini sağlar (Hammarström, 1997). Tersiyer dentin, aşırı diş aşınması, kavite hazırlığı, restoratif materyaller ve çürük gibi anormal uyaranlara yanıt olarak oluşan düzensiz dentindir (Cox ve ark., 2002; Fristad ve ark., 2021). Pulpa ile temas halinde olan en yüzeyel dentin tabakası; odontoblastlar tarafından salgılanan mineralize olmamış matriks tarafından oluşturulan pre dentindir. Pre dentin; %70 hidroksiapatit kristalleri, %20 organik matriks ve %10 sudan oluşmaktadır. Olgun primer ve sekonder dentini oluşturan, pre dentinin mineralizasyonudur (Bergenholtz ve ark., 2013; Diogenes ve ark., 2021).

Pulpa dokusunda meydana gelen hafif bir hasar; odontoblastlarda inflamatuvar stimülasyonu başlatır, tersiyer dentin salgısının artmasını sağlar ve “reaksiyonel” dentinogenezin başlamasına neden olur. Odontoblastların bu reaksiyonu, dentin odontoblast arayüzünün genel yapısını koruduğu için dentin kalınlığının lokalize olarak artması ile sonuçlanır (Diogenes ve ark., 2021). Daha yoğun hasar varlığında odontoblastlar canlılığını kaybedebilir. Hasar bölgesini çevreleyen pulpa dokusu canlı kalırsa ve inflamasyon ile onarım arasında uygun bir denge varsa, progenitor hücreler, demineralize dentin matriksinden ve komşu hücrelerden salınan kemotaktik faktörler tarafından yaralanma bölgesine toplanır (Heys ve ark., 1990). Bu progenitor hücreler, genellikle "odontoblast benzeri hücreler" olarak adlandırılan mineralize edici hücrelere farklılaşır. Bu hücreler morfolojik olarak doğal odontoblastlardan farklı olsalar da hasar bölgesinde reperatif dentin adı verilen “mineralize bir köprü” oluşturan matriksi salgırlar. Reperatif dentin tipik olarak atübülerdir (Diogenes ve ark., 2021). Bu atübüler dentin köprüsü, defektsiz düzgün bir şekilde oluşturulursa, pulpayı koruyan biyolojik bir bariyer görevi görebilir (Nair ve ark., 2008). Dental pulpanın bu doğal onarıcı ve rejeneratif kapasitesi, çağdaş vital pulpa tedavilerinin temelini oluşturur.

Hem bakteriyel yan ürünler hem de dentinin organik ve inorganik bileşenlerinin çözünmesinden kaynaklanan irritanlar diş çürüğünün pulpa üzerindeki etkilerinin başlıca sebepleridir. Üç temel reaksiyon, pulpayı çürüğe karşı korumaktadır; (1) dentin sklerozuna bağlı olarak dentin geçirgenliğinde meydana gelen azalma, (2) tersiyer dentin oluşumu ve (3) pulpa dokusunda meydana gelen inflamatuvar ve immün reaksiyonlar (Kim ve ark., 2002). Aynı zamanda pulpa dentin kompleksinin ayrıntılı bir savunma mekanizması vardır. Dentine ulaşan istilacı mikroorganizmalar, dentin sıvısının dışa doğru akışıyla karşılaşılır. Pulpa tarafından devam ettirilen bu pozitif basınç, mikroorganizmaların girişini engeller. Dentin sıvısı; sitokinler, immünoglobulinler ve kompleman proteinleri gibi bağışıklık sisteminin önemli moleküllerini taşımaktadır. Bu moleküller, organizmalar pulpa hücrelerine ulaşmadan önce pulpa savunmasını başlatabilirler (Hahn ve ark., 2007a).

Pulpadaki odontoblastların kaybı, gelişmekte olan dişlerde diş gelişiminin durması ile sonuçlanır. Ağız boşluğuna süren daimi bir dişin kök gelişimi 2 ila 3 yıl sürmektedir (Moorrees ve ark., 1969). Kök oluşumu ve olgunlaşma süreci, Hertwig epitelyal kök kını ve apikal papillada bulunan mezenşimal hücrelerin karmaşık etkileşimini gerektirir (Xu ve ark., 2009). Pulpa nekrozu ve/veya travma bu etkileşimi bozabilir ve apikal periodontitisin gelişmesiyle beraber, apeksogenezis sürecinin kesintiye uğramasına neden olabilir. Bu nedenle genç sürekli dişlerin pulpa dentin kompleksinin hasar gördüğü durumlarda, vital pulpa tedavileri ile pulpa nekrozunun önlenmesi için çaba gösterilmelidir (Diogenes ve ark., 2021).

Pozitif duyarlılık testi (soğuk), verilen yanıtın şiddetine ve süresine bağlı olarak klinisyenleri farklı tanımlara yönlendirebilir. Duyarlılık testleri, pulpanın durumunu tam olarak yansıtmaz ve elde edilen sonuçların %10 ila %16'sı yanlıştır (Arun ve ark., 2015). Bu nedenle, hastanın ağrı öyküsü ve duyarlılık testi bulgularından ziyade, pulpa ekspozite olduktan sonraki kanama durumunu değerlendirmek daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlar (Matsuo ve ark., 1996). Mekanik olarak ekspozite olan pulpa dokusunda yüzeysel inflamasyon meydana gelirken; bakteriyel kontaminasyon ile

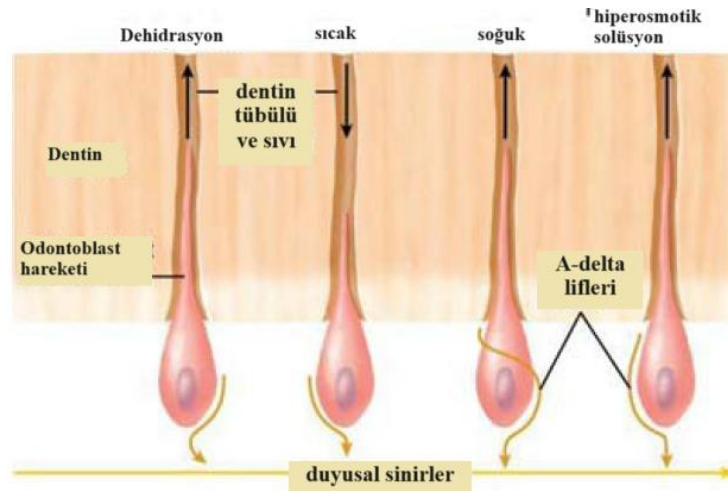
çürük varlığında, inflamasyon pulpa dokusunun daha derinlerine uzanır (Langeland, 1981). Kanama süresi uzun ve miktarı fazla olan pulpa dokusu; orta dereceli ya da kısa süreli kanaması olan pulpa dokusuna göre önemli ölçüde daha kötü bir prognoza sahiptir (Matsuo ve ark., 1996). Klinik olarak, kanama 5 ila 10 dakika içinde kontrol altına alınmış olmalıdır (Kang ve ark., 2017).

Biyolojik olarak aktif endodontik materyallerin kullanımı ile görülen pulpa dokusundaki iyileşme ve rejenerasyona dair mevcut kanıtlar, vital pulpa tedavisinde minimal invaziv endodontik teknikler yoluyla pulpa canlılığını korumaya yönelik yaklaşımlara yönlendirmiştir (Schmalz ve ark., 2014; Taha ve ark., 2018a; Wolters ve ark., 2017). Birçok klinik çalışmada, özellikle genç ve olgunlaşmamış dişler olmak üzere çürük görülen semptomatik daimi dişlerde vital pulpa tedavisinin orta ila uzun vadeli başarısı bildirilmiştir ve bu tedavi yöntemleri kök kanal tedavisinin alternatifi olarak önerilmektedir (Aguilar ve ark., 2011; Alqaderi ve ark., 2014; Asgary ve ark., 2015; Eggmann ve ark., 2022; Taha ve ark., 2018a; Uyar ve ark., 2021).

Pulpitis terimi klinik olarak reversible (geri dönüşümlü) veya irreversible (geri dönüşümsüz); histolojik olarak akut, kronik veya hiperplastik olarak tanımlanan dental pulpa iltihabını belirten bir terimdir (AAE, 2020). Pulpa iltihabının ve nekrozun başlıca nedeni; çürük lezyonlarındaki mikrobiyal artıştır. Asidojenik gram pozitif bakteriler, oral streptokoklar ve laktobasiller; mine ve dentini demineralize eden laktik asit üretirler (Farges ve ark., 2015; Hahn ve ark., 2007b). Mikroorganizmaların ve metabolik ürünlerinin dentin yoluyla penetrasyonu, pulpada iltihaplanmaya yol açar. Odontoblastlar, dendritik hücreler ve pulpa fibroblastları üzerindeki hücre reseptörleri aracılığıyla bir bağışıklık yanıtı başlatılır. Bu yanıt “hiperemi” ye yol açar. Klinik olarak bu süreç, “reversible (geri dönüşümlü) pulpitis” olarak kabul edilir. Uyarı devam ederse, pulpa odasındaki bakteri kolonizasyonu artar, mikro apseler ve polimorfonükleer nötrofilik granüositlerle kaplı doku nekrozu oluşur ve periferde inflamatuvar infiltrasyon başlar (Ricucci ve ark., 2014b). Bu klinik durum ise “irreversible (geri dönüşümsüz) pulpitis” olarak kabul edilir.

i. Reversible (geri dönüşümlü) pulpitis: Pulpa dokusunda meydana gelen bir irritasyon durumunda, uyarı ile ağrıyan ancak uyarı ortadan kaldırıldıktan sonra kesilen ağrı durumu “geri dönüşümlü pulpitis” olarak tanımlanmaktadır. Pulpanın normale dönebileceğini gösteren subjektif ve objektif bulgulara dayanan klinik bir tanıdır (AAE, 2020). Etken faktörler arasında çürük, açığa çıkmış dentin, yakın zamanda yapılmış olan diş tedavisi ve hatalı restorasyonlar bulunmaktadır. Bu faktörler doğru bir şekilde elimine edildiği zaman semptomlar geçmektedir (Sedgley ve ark., 2021).

Dentin tübülleri içindeki sıvı hareketi (Şekil 1.4.), odontoblastları ve buna bağlı olarak pulpadaki hızlı iletimi sağlayan A delta sinir liflerini uyarır ve bu da keskin, hızlı bir şekilde geri dönen diş ağrısına neden olur. Bu tübüller ne kadar açık olursa (örneğin; yeni yapılmış bir preparasyon, dentin dekalsifikasyonu, periodontal tedaviler, diş beyazlatma materyalleri veya koronal diş kırıklarından kaynaklı), tübül sıvısı o kadar fazla hareket eder ve dişte hassasiyet oluşur (Berman ve ark., 2021).



Şekil 1.4. Dentin tübülleri içindeki sıvı hareketi

Bir diş tanı koyarken dentin hassasiyeti hissini; çürük, travma veya yeni/kusurlu restorasyonlardan ötürü meydana gelen sekonder hassasiyet ile reversible pulpitisten kaynaklı olan hassasiyetten ayırt etmek önemlidir. Hastadan en son yapılan

diş tedavileri hakkında ayrıntılı bilgi alınmalı ve kapsamlı bir klinik/radyografik muayene yapılmalıdır (Sedgley ve ark., 2021).

ii. İrreversible (geri dönüşümsüz) pulpitis: Pulpadaki patolojik durum ilerledikçe, pulpanın iltihabi durumu irreversible pulpitis'e doğru ilerleyebilir. Hasta muhtemelen problemlili dişi lokalize edememektedir. İrreversible pulpitis; histolojik olarak, pulpada, genellikle çürük bölgesinin yakınında, şiddetli inflamasyon ve kısmi nekroz alanlarının varlığı ile karakterizedir. Pulpanın bir bölümünde mikrobiyal enfeksiyonu engellemeye çalışan yoğun inflamatuvar yanıtla birlikte mikrobiyal invazyon vardır. Geri kalan pulpa dokusunda hafif enflamasyon var ya da yoktur, bu nedenle diş canlılık testine yanıt verir. İrreversible pulpitisli dişlerde pulpa içi basınç artmıştır (Sedgley ve ark., 2021).

İrreversible pulpitis, semptomatik ve asemptomatik olarak alt kategorilerine ayrılmaktadır:

Semptomatik irreversible (geri dönüşümsüz) pulpitis: Vital ancak iltihaplı pulpa dokusunun iyileşme yeteneğine sahip olmadığını gösteren subjektif ve objektif bulgulara dayanan klinik bir tanıdır (AAE, 2020). Semptomatik geri dönüşü olmayan pulpitis olarak sınıflandırılan dişlerde aralıklı veya spontan ağrı görülmektedir. Sıcaklık değişikliklerine (özellikle soğuk uyaranlara) maruz kalındığı zaman meydana gelen ağrı, termal uyaran kaldırıldıktan sonra bile yüksek ve uzun süreli ataklar halinde devam etmektedir. Bu dişlerde ağrı; keskin veya donuk, lokalize, yaygın veya yansıyan olabilir (Berman ve ark., 2021). Tipik olarak periradiküler dokuların radyografik görünümünde minimum değişiklikler vardır veya hiç değişiklik görülmemektedir. Ancak uzun süredir mevcut olan ilerlemiş vakalarda, radyografide periodontal ligamentin kalınlaşması görülebilir. Aynı zamanda geniş pulpa odası veya kök kanal boşluğu kalsifikasyonu nedeniyle pulpa irritasyonuna dair bazı belirtiler olabilir. Derin restorasyonlar, çürükler, pulpa perforasyonu veya pulpa dokusundaki herhangi bir hasar radyografik ve klinik olarak değerlendirilmelidir. Eğer diş semptomatik

irreversible pulpitis aşamasında tedavi edilmez ise pulpa dokusu nekrotik hale gelecektir (Von Böhl ve ark., 2012).

Aseptomatik irreversible pulpitis: Bu dişlerde hasta herhangi bir semptomdan şikayet etmemektedir. Derin çürükler, klinik veya radyografik olarak pulpaya kadar ulaşsa bile herhangi bir semptom görülmemektedir. Tedavi edilmediği zaman diş semptomatik hale gelebilir veya pulpa nekrozu gelişebilir. Bu vakalarda, semptomatik geri dönüşü olmayan pulpitis veya nekrozun gelişmemesi ve hastada şiddetli ağrı olmaması için mümkün olan en kısa sürede endodontik tedavi yapılmalıdır (Berman ve ark., 2021).

1.4. Dentin Çürüğünün Yapısı

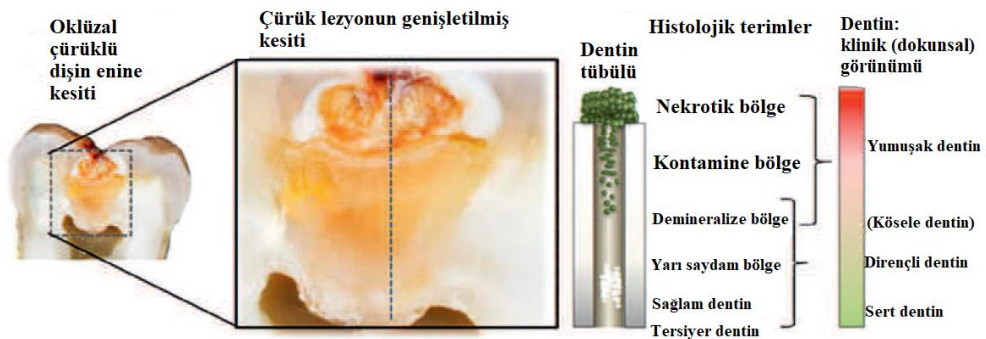
Dentin dokusunun yapısının ve histolojisinin anlaşılması, dentin çürüğü lezyonlarının histopatolojisinin anlaşılmasına yardımcı olur. Mine dokusunda artan demineralizasyon, mine yüzeyinin zayıflamasına ve ardından yıkımına neden olur. Sonucunda ortaya çıkan kavite, karyojenik biyofilm için uygun bir yaşam alanı sağlayarak çürük lezyonunun hızlı bir şekilde ilerlemesine neden olur. Dentin dokusunun yapısal farklılıklarından dolayı diş çürüklerinin dentindeki ilerlemesi minedeki ilerlemesinden farklı olmaktadır. Dentin daha az mineral içerir ve aynı zamanda bakteri girişi ve mineral çıkışını sağlayan mikroskobik tübüllere sahiptir (Zandoná ve ark., 2019).

Pulpa-dentin kompleksi, açık tübülleri bloke ederek ve remineralizasyon sürecini başlatarak çürük aktivitesine tepki verir. Dentin, pulpa dokusu canlı kaldığı ve yeterli kan dolaşımına sahip olduğu sürece, başlangıç ve orta düzeydeki çürük lezyonunun ilerlemesine onarım mekanizması ile tepki verebilir. Pulpa canlılığının korunması, pulpal kan akımının yeterliliğine bağlıdır. Büyük pulpa odalarına ve geniş apikal foramenlere sahip yeni sürmüş genç daimi dişler matür daimi dişlere göre çok daha olumlu bir prognoza sahiptir (Zandoná ve ark., 2019).

Çürük dentin yapısı iki katmana ayrılmaktadır. Pulpadan daha uzak, koronalde olan ve içinde canlı karyojenik bakteriler bulunan tabaka, “enfekte tabaka” veya “enfekte dentin” olarak tanımlanır. Bu katman hem organik hem de inorganik bileşenlere sahip, geri dönüşü olmayan bir şekilde bozulmuş, enfekte yapıda ve remineralize edilemez olarak kabul edilen ölü bir dokudur. Bu nedenle bu tabakanın restorasyon öncesi tamamen uzaklaştırılması gerekmektedir (Wunsch, 2015b).

Pulpaya daha yakın olan ikinci tabaka ise “etkilenmiş tabaka” veya “etkilenmiş dentin” olarak adlandırılır (Wunsch, 2015b). Bu tabakanın içinde; geri dönüşümlü olarak dejenere olmuş, enfekte olmamış ve fizyolojik olarak remineralize edilebilir organik ve inorganik bileşenler bulunur. Remineralizasyona yardımcı olmak için bu tabakanın üzerine biyouyumlu bir kaide ajanı yerleştirilmelidir (Orhan ve ark., 2010).

Dentin kıvam olarak 4 şekilde bulunmaktadır; çok yumuşak kıvamda olduğu zaman sond çok kolaylıkla dentine saplanmaktadır, yumuşak kıvamda iken sond direnç olmadan dentine saplanmaktadır, orta sert kıvamda iken sondla muayenede hafif bir direnç oluşmaktadır, sert kıvamda iken etkilenmemiş dentine benzer şekilde serttir (Şekil 1.5.) (Bjørndal ve ark., 1997).



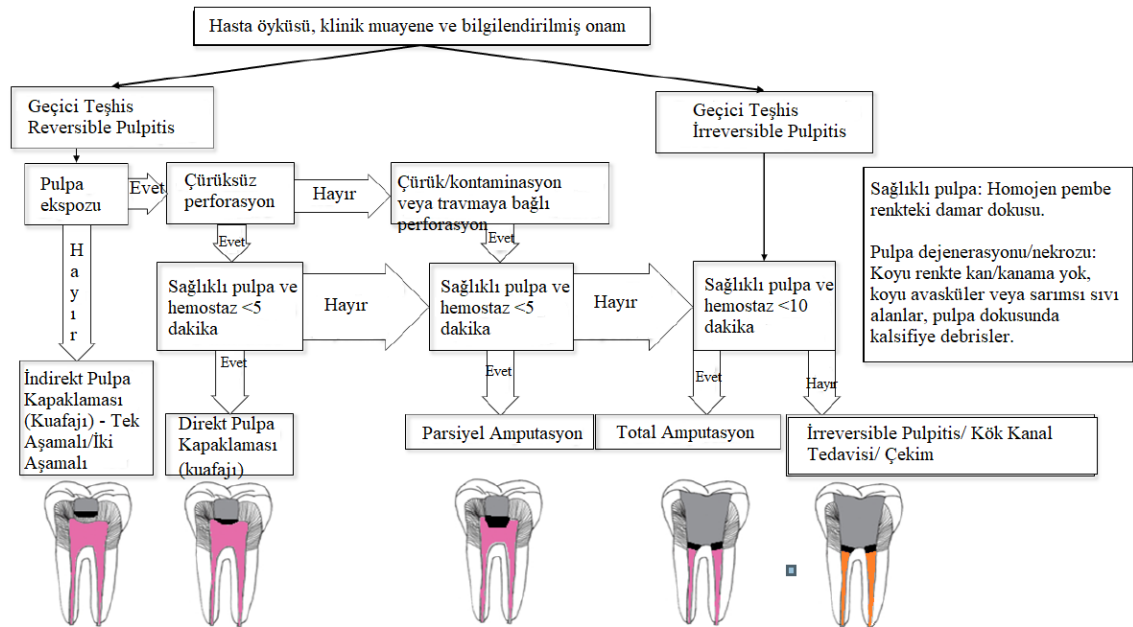
Şekil 1.5. Dentindeki çürük lezyonunun enine kesiti ve histolojik/klinik belirtileri. Dentinin en yüzeyel dış tabakası, geri dönüşü olmayan demineralizasyon ve denatüre kollajen lifleri ile yoğun şekilde kontamine ve nekrotiktir. Klinik olarak yumuşak, ıslak dentin bu bölgedir. Dentin pulpaya yaklaştıkça

bu yumuşak, kontamine tabaka giderek sertleşmektedir (Ogawa ve ark. (1983)'dan modifiye edilmiştir) (Zandoná ve ark., 2019).

Enfekte dentin, çürük doku temizlenirken hastada ağrı meydana getirmez, ancak demineralize dentin dokusu temizlenirken vital tübüler yapılar nedeniyle ağrı duyulur. Ancak tedaviye başlamadan önce dişe lokal anestezi uygulanması nedeniyle bu ayrım kaybolur (Orhan ve ark., 2010). Sonuç olarak klinisyen, uygulayacağı tedaviye; dentin dokusunun kalitesi, lezyonun derinliği ve klinik semptomların yanı sıra radyografik değerlendirmeye göre karar vermelidir (Berk ve ark., 1972).

1.5. Genç Sürekli Dişlerde Vital Endodontik Tedaviler

Vital pulpa tedavisi yöntemleri; *indirekt pulpa kapaklaması (kuafajı)*, *direkt pulpa kapaklaması (kuafajı)*, *parsiyel amputasyon (Cvek amputasyonu)* ve *total (koronal) amputasyon* olarak sıralanır. Bu tedaviler için gerekli kriterler Şekil 1.6.'da özetlenmiştir.



Şekil 1.6. Pulpa tedavileri için karar verirken kullanılabilecek akış şeması (Yong ve ark., 2021).

1.5.1. İndirekt Pulpa Kapaklaması (Kuafajı)

İndirekt pulpa kuafajı; AAPD tarafından, derin çürük lezyonu olan ve pulpaya yaklaşan ancak pulpa dejenerasyonu belirtileri ya da semptomları göstermeyen dişlerde gerçekleştirilen bir prosedür olarak tanımlanır (AAPD, 2021). İndirekt pulpa kuafajında çürük dentin dokusunun koronale yakın olan dış tabakası (enfekte dentin) kaldırılır. Böylece bakterilerin çoğu lezyondan elimine edilmiş olur. Kalan dentin dokusu biyouyumlu bir materyal ile kapatılarak, bakterilerin ağız ortamıyla olan ilişkisi ortadan kaldırılır ve asit oluşturmaları için gerekli besinlerden yoksun kalmaları sağlanarak çürüğün ilerlememesi sağlanır (Thompson ve ark., 2008). Bu sayede tersiyer dentin oluşumu ve kalan çürük dentinin remineralizasyonu sağlanarak, pulpa dokusunun canlılığının korunması ve devam ettirilmesi hedeflenir (Rodd ve ark., 2006).

İndirekt pulpa tedavisi pulpitis belirtisi ya da semptomu olmayan sağlıklı pulpa dokusuna sahip, en fazla reversible pulpitis teşhisi konan daimi dişlerde endikedir (AAPD, 2021). Bu dişler için olması gereken özellikler şöyle sıralanır (Orhan ve ark., 2010):

1. Klinik ve radyografik muayeneye göre derin dentin çürük lezyonu varlığı ve çürük dokusunun tek aşamada tamamen temizlenmesi sonucu pulpa dokusunun perfore olma riski bulunması (radyografide yapılan teşhise göre demineralize dentin, tüm dentin kalınlığının dörtte üçüne veya daha fazlasına nüfuz etmektedir) (Bjørndal ve Kidd, 2005; Bjørndal ve Thylstrup, 1998);
2. Fistül ağzı, periodontal dokularda apse ve anormal diş mobilitesinin olmaması;
3. Spontan ağrı, mevcut uyarının kaybolmasından sonra devam eden provoke ağrı veya perküsyona duyarlılık gibi irreversible pulpitisin klinik semptomlarının olmaması;
4. Radyografik olarak; interradiküler veya periapikal bölgelerde radyolüsensilerin olmaması, irreversible patolojilerin veya nekrozun belirtisi olan

periodontal ligamentte aralanmanın görülmemesi, internal/eksternal kök rezorbsiyonunun ve pulpa kalsifikasyonunun olmaması;

5. Yapılan pulpa testleri ile doğrulanan normal sınırlarda pulpa cevabının olması;

6. Dişin koronal madde kaybının restore edilebilecek düzeyde olmasıdır.

Tek aşamalı veya iki aşamalı (Stepwise Excavation) şeklinde uygulanabilen indirekt pulpa kuafajının klinik prosedüründe ilk olarak elmas frez ile su soğutmalı yüksek devirli bir alet (aerator) kullanılarak diş koronalden erişim sağlamak için tüm zayıf mine yapıları temizlenir ve kavitenin dış formu belirlenir (Orhan ve ark., 2010). Yeterli büyüklükte kavite açıldıktan sonra ilk olarak çevresel bir şekilde dişin bukkal, palatinal (lingual), mezial ve distal duvarlarında ve mine-dentin birleşiminde bulunan çürükler ekskavatörler ve/veya düşük devirde çalışan bir alete (anguldurva) takılan tungsten karbid rond frezler kullanılarak temizlenir (Orhan ve ark., 2010; Wunsch, 2015b). Ardından kavite tabanındaki en derin nekrotik, enfekte ve demineralize dentin dokusu alanına doğru dairesel hareketler ile dikkatli bir şekilde temizleme işlemine devam edilir. Kavite duvarları tamamen temizlendikten sonra ve kavite tabanındaki çürük dokusu artık sert ve kuru durumda olduğunda; klinisyen pulpa perforasyona sebep olmamak için temizlik işlemine son verir ve kavite sodyum hipoklorit (NaOCl) emdirilmiş steril bir pamuk pelet ile silinip temizlendikten sonra kalan çürük üzerine biyoyumlu bir kaide materyali yerleştirilir ve ardından dişin daimi restorasyonu yapılır (Wunsch, 2015b).

Eğer geriye kalan çürük yapısı halen yumuşak ve ıslak bir dokuda ise, klinisyen iki aşamalı çürük tedavisi (Stepwise Excavation) yöntemini uygulayabilir (Wunsch, 2015b). Ancak, bu aşamada pulpa vitalitesinden emin olmak önemlidir. Bu tekniğe göre ilk seansta kavitenin periferindeki çürük doku tamamen temizlenir; pulpa etrafındaki yumuşak, nemli, açık renkli, yüksek oranda enfekte çürük bırakılır ve hazırlık aşamasında pulpa dokusunda mikro-perforasyon gelişmiş olabileceği için kalan doku üzerine biyoyumlu bir kuafaj materyali olan kalsiyum hidroksit ya da cam iyonomer siman (kaide tipi) yerleştirilir. Daha sonra diş geçici olarak restore edilir (Hacıoğulları ve ark., 2016).

Bu yöntemle ağız ortamı ile ilişkisi kesilen mikroorganizmaların sayısı önemli ölçüde azalır (Hacıoğulları ve ark., 2016). Ortalama 3 ile 6 ay sonra hastaya tekrar randevu verilir ve diş radyografik ve klinik olarak değerlendirilir. Geçici dolgu materyali kaldırılıp kalan çürük dokusu ekskavatörler ve/veya düşük devirde çalışan anguldurva ile uzaklaştırılır. Pulpa ile olan mesafe az olduğu için temizlenen dentin yüzeyi daimi restorasyon öncesinde tekrar uygun bir kaide materyali ile örtülmelidir. Ardından, dişin daimi restorasyonu yapılarak tedavi tamamlanır (Orhan ve ark., 2010).

Tedavinin başarılı olması için dişin bakteri istilasından korunması gerekmektedir. Bunun için daimi restorasyonun, marjinal kenarlar boyunca herhangi bir mikro sızıntıya izin vermeyecek şekilde yapılması gerekmektedir. İyi bir restorasyon sayesinde, kavite altında kalan canlı bakterilerin ağız ortamı ile olan ilişkisi ortadan kaldırılarak, asit oluşturmaları için gerekli olan besinlerden yoksun kalmaları sağlanır ve bu sayede çürüğün ilerlemesi engellenir (Mertz-Fairhurst ve ark., 1998). Diğer başarı kriterleri olarak dişte spontan ağrı; perküsyon ve palpasyona duyarlılık, fistül, periodontal dokularda apse ve anormal diş mobilitesi olmamalıdır. Radyografik olarak; interradiküler veya periapikal bölgelerde radyolüsensiler; geri dönüşü olmayan patolojilerin veya nekrozun belirtisi olan lamina dura aralanması; internal/eksternal kök rezorbsiyonu ve pulpa dokusunda kalsifikasyon olmamalıdır. Pulpa dokusu ile kaide ajanı arasında dentin köprüsü oluşumu görülmeli ve olgunlaşmamış köklere sahip genç daimi dişlerde apeksogenezis devam etmelidir (Orhan ve ark., 2010).

İndirekt pulpa tedavisi ile ilgili araştırmalara artan ilgi, popülerlik kazanan minimal invaziv tedavi yaklaşımlarıyla birlikte bu tedavi yönteminin geliştiğini göstermektedir (Orhan ve ark., 2010).

Tek aşamalı indirekt pulpa tedavisini savunan klinisyenler, bu prosedürün başarısına dikkat çekerek, iki aşamalı yöntemin gerekliliğini destekleyen yeterli kanıt

olmadığını iddia etmişlerdir. Ayrıca kaviteye ikinci kez giriş yapılmasının diş ve pulpa dokusunda daha fazla hasara yol açabileceğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra, uzun süreli geçici restorasyonların sakıncalarına da dikkat çekilmiştir. Bu restorasyonlar sıklıkla ya düşerler ya da klinisyen tarafından unutulduğu için ikinci bir seans gerçekleşmez (Uribe, 2006).

Karşıt görüşteki araştırmacılar, derin çürük lezyonu bulunan dişlerde sağlam ve çürük dentini sertliklerine göre ayırt etmenin zor olduğunu ve deneyimli bir klinisyenin bile çürük dokuyu temizleme sırasında gereksiz yere büyük miktarda sağlam dentin dokusunu kaldırabileceğini belirtmiştir (Koc Vural ve ark., 2017; Menon ve ark., 2016; Willmott ve ark., 2007). Ancak enfekte dentinin bırakılabildiği iki aşamalı tedavi yönteminde yapılan çalışmalarda, ilk seanstan sonra dentin dokusundan alınan örneklerde hem Streptococcus Mutans hem de Lactobacillus sayılarında azalma olduğu bildirilmiştir (Bjørndal ve ark., 2000). Bu sayede hem dentin dokusunun korunması hem de bakteri sayısının azalması sağlanabilir.

Derin dentin çürüğü bulunan dişlere Mineral Trioksit Agregat (MTA) ya da Kalsiyum Hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kullanılarak yapılan indirekt tedavi yönteminin etkinliğinin değerlendirildiği bir çalışmada (Koc Vural ve ark., 2017); her iki pulpa kaide materyalinin de tedaviden 24 ay sonra klinik olarak kabul edilebilir olduğu ve çok benzer başarı oranları sergilediği bulunmuştur. Toplam 100 daimi molar/premolar diştten 49 tanesi $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 51 tanesi MTA ile tedavi edilmiştir. Tedavilerden 6, 12 ve 24 ay sonra yapılan kontrollerde iki pulpa kaide ajanı arasında pulpa canlılığı açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır. Başarı oranları $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile tedavi edilen dişler için %91.7; MTA ile tedavi edilen dişler için %96.01 olarak tespit edilmiştir. MTA ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin başarı oranları arasındaki bu %4.32'lik farkın klinik olarak önemi bulunmamaktadır. Ancak, yapılan çok sayıdaki histolojik çalışmada, MTA'nın hem hayvan hem de insan dişlerinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ye kıyasla daha başarılı olduğu görülmüştür. MTA kullanımından sonra 3 hafta içinde daha hızlı pulpal iyileşme, sert doku bariyeri oluşumu, daha az inflamasyon, hiperemi ve nekrozun yanı sıra daha kalın dentin

köprüleri ve daha sık odontoblastik tabaka oluşumu gerçekleştiği bildirilmiştir (Aeinehchi ve ark., 2003; Petrou ve ark., 2014; Sawicki ve ark., 2008).

Daimi ve süt dişlerinde MTA, Portland Siman ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılarak yapılan iki aşamalı indirekt pulpa tedavisi yönteminin klinik ve mikrobiyolojik sonuçlarını karşılaştıran bir çalışmada (Petrou ve ark., 2014); yaş ortalaması 17,2 olan toplam 86 hastada; 31 dişe $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 29 dişe Portland Siman, 26 dişe MTA yerleştirilip 6 ay sonra ikinci seans ile tedavi tamamlanmıştır. İlk ve ikinci seansta dişler; klinik (dentinin renk, nem ve kıvamı) ve mikrobiyolojik (Lactobacilli/Streptococcus Mutans sayısı) açısından incelenmiştir. Alınan sonuçlara göre indirekt pulpa tedavisi, kullanılan kaide materyalinden bağımsız olarak %90,3 gibi yüksek bir başarı oranı göstermiştir (MTA %94,5, Portland Siman %90,5, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ %86,9). İkinci seans dolgu kaldırıldığında kavitede kalan dentin dokusunun daha koyu renkte, kuru yapıda olduğu ve aynı zamanda bakteri sayısında azalma olduğu görülmüştür. Kullanılan kaide materyalleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bir düzeyde olmasa da, yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'e kıyasla MTA kullanılan vakalarda klinik olarak daha iyi bir performans görülmüştür (Aeinehchi ve ark., 2003; Mente ve ark., 2014; Qudeimat ve ark., 2007). MTA, zamanla rezorbe olan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in aksine bakteri penetrasyonuna karşı dirençli ve çözünmeyen biyoyoumlu bir materyaldir (Fridland ve ark., 2005; Torabinejad ve ark., 2010).

Tek aşamalı ve iki aşamalı indirekt pulpa tedavisi ve çürüğün tek seansta tamamen kaldırılması yöntemlerinin derin çürüklü süt ve genç sürekli dişlerde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini yapan bir çalışmada (Orhan, 2007); yaşları ortalama 8,7 olan toplam 123 çocuk hastanın derin dentin çürüğü teşhisi konulan, 94 alt 2. süt azı ve 60 alt sürekli 1. büyük azı dışında; deney grubu I'deki dişlerde (31 süt dişi/19 daimi dişi) tek aşamalı indirekt pulpa tedavisi, deney grubu II'deki dişlerde (32 süt dişi/17 daimi dişi) iki aşamalı indirekt pulpa tedavisi uygulanmış, kontrol grubundaki dişlerde (31 süt dişi/24 daimi dişi) ise çürük tek seansta tamamen kaldırılmıştır. 1 yıllık takip sonucunda klinik ve radyografik muayene bulgularına göre

başarı oranları deney grubu I'de %100, deney grubu II'de %97,78 ve kontrol grubunda %95,35 olarak belirlenmiştir. Genel başarı açısından gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Çalışmada tek aşamalı indirekt pulpa tedavisi ile %6, iki aşamalı indirekt pulpa tedavisi ile %8,16 ve çürüğün tek seansta tamamen temizlendiği grupta %21,82 oranında pulpa perforasyonu tespit edilmiştir. Gruplar arasında pulpa perforasyonu açısından sadece tek aşamalı indirekt pulpa tedavisi grubu ile çürüğün tek seansta tamamen temizlendiği grup arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, tedavi edilen derin çürüklü süt ve sürekli dişlerde indirekt pulpa tedavisinin hem tek aşamalı hem de iki aşamalı yaklaşımı ile sayısal olarak daha az pulpa perforasyonu meydana geldiğinin bulunması ve tedavi sonrası 1 yıllık takip süresince başarı açısından iki yöntem arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmaması nedeniyle, derin çürüklü süt ve genç sürekli dişlerin tedavilerinde tek aşamalı veya iki aşamalı indirekt pulpa tedavisi yöntemlerinin klinisyenin olguya göre kararına bağlı olarak uygulanabileceği belirtilmiştir.

Bu bilgiler ışığında; klinisyen tek ya da iki aşamalı indirekt pulpa tedavisinden hangisini seçeceğine karar verirken ilgili dişin klinik ve radyografik bulgularının değerlendirilmesinin yanı sıra kullanacağı kaide ajanının kalitesini, iki aşamalı tedavinin getirdiği artı maliyeti, hastanın ve ebeveynin tedaviye gösterdiği ilgiyi göz önünde bulundurmalıdır. Her iki tedavi yöntemi de konservatif tedavi yaklaşımı açısından önemli bir değer taşımaktadır.

1.5.2. Direkt Pulpa Kapaklaması (Kuafajı)

Direkt pulpa kuafajı; mekanik veya travmatik olarak açılmış olan vital pulpa dokusuna, doğrudan biyouyumlu bir materyal yerleştirerek reperatif dentin oluşumunu sağlamak ve dişin canlılığını devam ettirmek olarak tanımlanır (AAE, 2020). Bu tedavi prosedürü; çürük dokusunun temizlenmesi sırasında veya travma görmüş dişlerde gelişen pulpa ekspozları için endikedir. Kavite preparasyonu sırasında pulpa

dokusunda mekanik (çürüksüz) perforasyon meydana gelen dişlerde, açığa çıkan doku genellikle enfekte değildir (Bogen ve ark., 2021).

Direkt pulpa kuafajı, pulpanın iyileşmesine ve dişin canlılığının korunmasına yöneliktir. Eğer pulpa dokusu vital kalmaya devam ederse, bu klinik bir başarı olarak kabul edilebilir. Direkt pulpa kuafajı, kök kanal tedavisinden farklı olarak, genellikle kapsamlı bir restoratif tedavi gerektirmeyen, non invaziv, nispeten basit ve ucuz bir tedavi tekniğidir (Bogen ve ark., 2021).

Direkt pulpa kuafajı tedavisinin endikasyon kriterlerinde; tedavi edilecek olan dişte bulunan semptomlar reversible pulpitis belirtileri ile uyumlu olmalıdır. Açığa çıkan pulpa alanı 1 mm'den az olmalıdır ve kaide materyali yerleştirilmeden önce pulpal kanama durdurulmuş olmalıdır. Tedavinin başarısı için kanamanın durdurulmuş olması ön koşuldur (Komabayashi ve ark., 2016). Alınan radyografilerde interradiküler veya periapikal bölgelerde radyolüsensiler, periodontal ligamentte aralanma, internal/eksternal kök rezorbsiyonu ve pulpa kalsifikasyonu izlenmemelidir (Orhan ve ark., 2010).

Direkt pulpa kuafajının klinik prosedüründe; çürük doku, yüksek hızda ve su ile çalışan bir aeratör ile ve ardından düşük hızlı anguldurva ve karbid frez kullanılarak indirekt pulpa kuafajı prosedüründe olduğu gibi temizlenir. Çürüğün kaldırılması sırasında ekspoz gelişirse öncelikle ekspoze olan pulpa dokusu değerlendirilmelidir. Ekspoz alanının etrafında çürük doku kalıp kalmaması, perforasyon boyutu ve sayısına dikkat edilmelidir (Wunsch, 2015a). Meydana gelen kanama, serum fizyolojik veya NaOCl emdirilmiş pamuk peletlerle baskı uygulandığında kontrol altına alınabilmelidir. Kanama kontrol altına alındıktan sonra, açığa çıkmış olan pulpa dokusu üzerine 0.5 ila 2 mm kalınlığında biyouyumlu bir kaide ajanı yerleştirilir. Kaide materyali diş üzerine basınçsız olarak ve perforasyon alanını tamamen örtecek ve çevresindeki dentini de bir miktar kaplayacak şekilde yerleştirilir, ardından üzerine geleneksel cam iyonomer siman (CİS), rezin modifiye cam iyonomer siman (RMCİS)

ya da akıcı kompozit rezin yerleştirilir ve dişin daimi restorasyonu yapılır (Wunsch, 2015a). Daimi restorasyon aynı seansta uygulanabileceği gibi ikinci bir seansta da yapılabilir. Ancak geçici dolguların düşme, kırılma gibi risk faktörleri bulunduğu için aynı seansta yapılması daha uygun bir seçenektir. Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta; kaide materyali, kan pıhtısı oluşmadan önce yerleştirilmelidir. Kaide materyali ile pulpa dokusu arasında kalan kan pıhtısı dişin prognozunu olumsuz yönde etkileyecektir (Wunsch, 2015a).

Doğru seçilmiş vakalarda, irreversible pulpitis veya periapikal bölgede herhangi bir patolojisi olmayan ve tüm çürük dokunun kaldırılmasından sonra gelişen ekspozlarda hemostazın sağlanabildiği durumlarda, MTA gibi kalsiyum silikat içerikli simanlar ile yapılan direkt pulpa kuafajının gelişimini henüz tamamlamamış olan dişlerde önemli düzeyde başarı gösterdiğine dair kanıtlar artmaktadır (Waterhouse ve ark., 2011).

Farsi ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, 30 asemptomatik derin dentin çürüklü genç sürekli diş, MTA ile direkt pulpa kuafajı sonrasında klinik ve radyografik olarak takip edilmiş ve 24 ay sonunda dişlerin %93'ünün kök gelişiminin devam ettiği bildirilmiştir.

İmmatür daimi dişlerde beyaz ProRoot MTA ve Ca(OH)_2 ile yapılan direkt pulpa kuafajı tedavilerinin histolojik bulgularını değerlendiren bir çalışmada (Sawicki ve ark., 2008); histolojik olarak ProRoot MTA'nın pulpa kaide ajanı olarak Ca(OH)_2 'ten daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Yaşları 10 ila 18 arasında değişen toplam 23 hastada; ortodontik nedenlerle çekim endikasyonu olan 44 adet çürüksüz ve restorasyonsuz immatür premolar ve molar dişin 30 tanesinde ProRoot MTA, 14 tanesinde Ca(OH)_2 kullanılarak direkt pulpa kuafajı tedavisi yapılmıştır. MTA kullanılan dişlerin 29 tanesi pulpa canlılığını devam ettirmiş, 28 tanesinde dentin köprüsü oluşumu görülmüştür. Ca(OH)_2 kullanılan dişlerin ise 12 tanesi pulpa

canlılığını devam ettirmiş, 11 tanesinde dentin köprüsü oluşumu görülmüştür. MTA grubunda daha kalın ve daha sağlam dentin köprü yapısı gözlenmiştir. Yüzeysel ve derin inflamatuvar hücre yanıtı dışında MTA ve Ca(OH)₂ arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Pulpa canlılığı, dentin köprüsü varlığı ve bakteri varlığı gibi diğer histolojik veriler istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Bu sonuç, Iwamoto ve ark.'nın (2006) yaptıkları bir çalışmayla da uyumludur. Üçüncü büyük azı dişlerinde beyaz ProRoot MTA kullanılarak yapılan direkt pulpa kuafajı tedavilerinin klinik, radyografik ve histolojik bulguları değerlendiren çalışmada, beyaz ProRoot MTA'nın, Ca(OH)₂ kadar etkili bir pulpa kaide materyali olduğu ve her iki materyal için klinik ve histolojik bulgular arasında yalnızca minimal bir fark olduğu bildirilmiştir. Toplam 48 adet çürüksüz ya da başlangıç çürüğü bulunan üçüncü büyük azı dişinin 24 tanesinde beyaz ProRoot MTA; kontrol grubu olarak geriye kalan 24 tanesinde Dycal kullanılarak direkt pulpa tedavisi yapılmıştır. İki materyal arasında tedaviden 7 gün sonra postoperatif duyarlılıkta anlamlı bir farklılık rapor edilmemiştir. Histolojik olarak 45 diş incelenmiş ve ProRoot MTA kullanılan 22 dişten 20'sinde; Dycal kullanılan 23 dişten 18'inde dentin köprüsü geliştiği tespit edilmiştir (Iwamoto ve ark., 2006).

1.5.3. Parsiyel (Cvek) Amputasyon/Pulpotomi

Parsiyel amputasyon (Cvek amputasyonu), geriye kalan koronal ve radiküler pulpa dokularını korumak amacıyla vital koronal pulpanın küçük bir kısmının çıkarılması olarak tanımlanır (AAE, 2020). Klinik tedavi sırasında, koronal pulpadan çıkarılacak olan dokunun miktarına karar verirken; dişin süt ya da daimi diş olmasına, pulpa perforasyonunun etiyojisine (çürük ya da travma), diş gelişiminin durumuna (açık ya da kapalı apeks), travma olgularında ek olarak madde kaybının miktarına, periodonsiyum ve/veya alveolar kemikte eşlik eden bir yaralanmanın varlığına ve klinik olarak pulpanın durumunun değerlendirilmesine göre karar verilmelidir (Bimstein ve ark., 2016).

Cvek amputasyonu, hücreden zengin koronal pulpa dokusunun korunmasını sağlar. Koronal pulpa dokusunun iyileşme potansiyeli, radiküler pulpadan daha fazladır (de Blanco, 1996). Kuron pulpası, radiküler pulpaya oranla daha fazla hücreye sahiptir. Radiküler pulpa ise daha fazla lif içerir ve tek hücrelidir. Bu nedenle daha düşük iyileştirme kapasitesine sahiptir (Cvek, 1978). Klinik ve histolojik bulgular, Cvek amputasyonunun komplike kuron kırıkları olan matür ve immatür daimi dişlerde kalıcı bir tedavi yöntemi olarak kullanılabileceğini doğrulamaktadır. Komplike kuron kırığı olan daimi dişlerde Cvek amputasyonunun rapor edilen başarı oranı %87.5 ile %100 arasında değişmektedir (Andreasen ve ark., 2002; Bogen ve ark., 2021; Cvek, 1993; de Blanco, 1996; Fong ve ark., 2002; Sigurdsson ve ark., 2011).

Klinik bir çalışma, Cvek pulpotomisinin 0.5-4.0 mm boyutlarında pulpa açıklığına sahip dişlerde başarılı olabileceğini gösterse de pulpa açıklığı 4 mm'den fazla olan dişlerde Cvek amputasyonlarının sonucu henüz tam olarak bilinmemektedir (Bimstein ve ark., 2016; Cvek, 1978). Genç koronal pulpa dokusu, doğal savunma mekanizmaları ve bakteri istilasına dirençli olan zengin kan hücreleri sayesinde travma yaralanmalarından sonra genellikle nekrotik hale gelmez. Travma gören dişlerde uygulanan Cvek amputasyonu tedavisinde prognozu etkileyen faktörler; travmanın şiddeti, travmadan kaynaklı olan diğer yaralanmalar, pulpa perforasyonunun derecesi, travma ile tedavi arasındaki süre ve kök gelişim aşamasıdır. Bu faktörler travma gören dişlerin pulpal ve periodontal iyileşmesinde önemli rol oynamaktadırlar (Andreasen ve ark., 2002; Cvek, 1978).

Çürükle perfore olan daimi dişlerde yapılan parsiyel amputasyon tedavilerinin sonuçlarında da yüksek pulpa sağkalım oranları bildirilmiştir (Barthel ve ark., 2000; Chinadet ve ark., 2019; Eggmann ve ark., 2022; Mass ve ark., 2011; Qudeimat ve ark., 2007; Uyar ve ark., 2021). Barrieshi-Nusair ve Qudeimat'ın (2006), pulpa dokusunun çürükle perfore olduğu genç daimi dişlerde gri MTA kullanarak yaptıkları parsiyel amputasyon tedavilerinin sonuçlarını klinik ve radyografik olarak değerlendirdikleri bir çalışmada; dişler başarılı bir şekilde tedavi edilmiş, radyografik olarak dentin

köprüsü oluşumu ve olgunlaşmasını tamamlamamış olan dişlerde devam eden kök gelişimi görülmüştür. Endikasyon kriterleri olarak tedavi öncesi dişlerde spontan veya uzun süreli ağrı öyküsü, mobilite ya da şişlik, perküsyon veya palpasyonda hassasiyet olmamasına dikkat edilmiştir. Tüm dişler soğuk testine, elektrikli pulpa testine veya her ikisine de normal sınırlar içinde yanıt vermiştir.

Parsiyel amputasyon tedavisinin başarısını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır:

- Enfekte olan yüzeyel pulpa dokusu, sağlıklı bir pulpa yüzeyi elde edilene kadar 1-3 mm (ortalama 2 mm) derinliğinde uzaklaştırılmalıdır.
- Pulpa kaide materyali, pulpa dokusunda serum fizyolojik solüsyonu veya sodyum hipoklorit ile hemostaz sağlandıktan sonra kan pıhtısı oluşmadan doku üzerine yerleştirilmelidir.
- Kalan pulpa dokusunun bakteriyel kontaminasyonunu önleyen sızdırmaz iyi bir daimi restorasyon sağlanmalıdır (AAPD, 2021; Cvek, 1978; de Blanco, 1996; Jones ve ark., 2016).

Parsiyel amputasyon tedavisinin endikasyon kriterleri şu şekilde sıralanmaktadır;

- Diş vitalite testine pozitif yanıt vermelidir.
- Dişte spontan ağrı öyküsü olmamalıdır.
- Dişte meydana gelen ağrı analjezikler ile azalmalıdır.
- Dişte perküsyon hassasiyeti, mobilite, diş eti dokusunda ya da hastanın yüzünde şişlik olmamalıdır.
- Radyografik muayenede periodontal alanlar normal görünümde olmalıdır.
- Pulpa, çürük temizliği sırasında veya yakın zamanda meydana gelen bir travma sonucunda açığa çıkmış olmalıdır.
- Pulpada meydana gelen perforasyon alanı 4 mm'den az olmalıdır (Bimstein ve ark., 2016).

Parsiyel amputasyon tedavisinin klinik prosedüründe;

1. İlgili dişe anestezi uygulamasından sonra diş rubber dam ile izole edilir.
2. Pulpa dokusunda nekrotik veya potansiyel olarak iltihaplı ve hasarlı dokuyu temizleyip geri kalan dokunun vitalitesini devam ettirmek için koronal pulpa perforasyon bölgesinden 1-3 mm (ortalama 2 mm) derinlikte çıkartılır (Bimstein ve ark., 2016).
3. Pulpa kavitesinin derinliğine kanamanın miktarına bakılarak karar verilmelidir. İnflamasyonlu pulpa dokusunda kanama miktarı uzun sürmektedir. Bu gibi bir durumda, amputasyon derinliği sağlıklı kanama elde edilene kadar arttırılmalıdır (Sigurdsson ve ark., 2011). Kanama kontrolü, kavitede 5 ila 10 dakika %5-6 NaOCl emdirilmiş steril pamuk pelet bekletilerek sağlanır. Eğer kanama 10 dakikadan fazla bir süre devam ederse 2 mm derinliğe daha inilir. Bu sefer de kanama durmazsa koronal pulpa dokusunun tamamen çıkarılması seçeneği tercih edilmelidir (Bezgin ve ark., 2023; Kang ve ark., 2017).
4. Kanama kontrolü sağlandıktan sonra pulpa üzerine nazıkçe doku dostu bir kaide materyali kalınlığı en az 1.5 mm olarak ve perforasyon alanıyla çevre dentini tamamen örtecek şekilde yerleştirilir (Bimstein ve ark., 2016). Ardından üzerine geleneksel CİS ya da RMCİS, akıcı kompozit rezin yerleştirilir ve dişin daimi restorasyonu yapılır. Cvek amputasyonunun başarısı için dişe bakteri girişini önleyen iyi bir daimi restorasyon yapılması önemlidir (Bimstein ve ark., 2016).

Hasta parsiyel pulpotomi tedavisinden 1, 3, 6 ve 12 ay sonra kontrol randevusuna çağırılmalıdır. Pulpa canlılık ve perküsyon testi dahil olmak üzere klinik ve radyografik olarak muayeneleri yapılmalıdır. Parsiyel amputasyonun en büyük avantajı, koronal pulpanın bir kısmı korunduğu için vitalite testlerinin yapılmasına olanak sağlamasıdır (Sigurdsson ve ark., 2011).

Parsiyel pulpotomi tedavisinden sonra kalan pulpa dokusu vitalitesini devam ettirmelidir. Tedavi edilen dişte hassasiyet, ağrı veya şişlik gibi olumsuz klinik

belirtiler veya semptomlar olmamalıdır. İç veya dış kök rezorbsiyonu, anormal kanal kalsifikasyonu veya periapikal radyolüsensi gibi radyografik belirtiler olmamalıdır. Olgunlaşmamış köklere sahip olan dişlerin kök gelişimi devam etmelidir (AAPD, 2021).

Klinik ve/veya radyografik başarısızlık kriterleri; spontan ağrı ve/veya palpasyon/perküsyona duyarlılık, diş eti kızarıklığı ve şişlik görülmesi, periapikal radyolüsensi ve patolojik kök rezorbsiyonudur. Klinik ve radyografik olarak başarısız olan dişlere kanal tedavisi uygulanmalıdır (Kang ve ark., 2017).

Literatür incelendiğinde; çürük nedeniyle pulpa perforasyonu olan daimi dişlerde Ca(OH)₂ (%91) ya da MTA (%93) ile tedavi edilen dişlerin, başarı oranları arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır (Qudeimat ve ark., 2007).

Olgunlaşmasını tamamlamamış, derin dentin çürük lezyonu bulunan ve pulpitis tanısı konan sağ mandibular ikinci premolar dişe parsiyel amputasyon tedavisi uygulanan bir olguda (Villat ve ark., 2013); hemostaz sağlandıktan sonra açığa çıkan pulpa dokusu üzerine Biodentine yerleştirip diş geçici olarak cis ile restore edilmiştir. Yedi gün sonra yapılan kontrol seansında dişin asemptomatik olduğu ve hastanın aradan geçen süre boyunca hiçbir ağrı hissetmediği bildirilmiştir. Hem 3 hem de 6 aylık takiplerde, termal testlere normal yanıt veren dişin vital olduğu kaydedilmiştir. Dişin radyografik muayenesinde hem pulpal hem de dentin dokusunda hızlı gelişen bir doku yanıtı sayesinde pulpa odasında dentin köprüsü oluşumu ve kök gelişiminin devam ettiği görülmüştür. Bu olguda görüldüğü gibi semptomatik olgunlaşmamış dişlerin tedavisinde Biodentine gibi kalsiyum silikat siman kullanımı konservatif bir tedavi yöntemi olarak klinik kullanıma geçebilir.

Parsiyel pulpotomi ile tedavi edilen genç daimi azı dişlerinin pulpasının ve periapikal alanlarının radyografik olarak 10 yıllık bir süre boyunca takip edildiği bir

çalışmada (Mass ve ark., 2011); yaş ortalaması 11.4 yıl olan toplam 44 hastanın, 49 tane genç daimi azı dışında klinik ve radyografik bulgulara göre başarı oranı %93.9 olarak bulunmuştur. Çalışmada, kaide ajanı olarak Ca(OH)_2 kullanılmıştır. Ajanın üzeri güçlendirilmiş çinko oksit öjenol ya da cis ile örtüldükten sonra daimi restorasyonlar yapılmıştır. 33 dişte amalgam, 3 dişte kompozit ve 13 dişte paslanmaz çelik kuron kullanılmıştır. Tedavi edilen 49 dişten üç tanesinde hastalar spontan ağrı bildirdiği için tedaviye geleneksel kanal tedavisi ile devam edilmiştir. Kontrol seansları ilk sene 6 ayda bir daha sonra 12 ayda bir yapılmıştır. Takiplerde radyografik değerlendirmenin yanında canlılık testleri, perküsyon ve mobilité gibi klinik değerlendirmeler de yapılmıştır. Radyografik olarak incelenen 46 azı dişinden 14'ü, kontralateral dişe benzer fizyolojik değişiklikler göstermiştir. 27 dişte, parsiyel amputasyon bölgesinin altında dentin köprüsü izlenmiştir. Apeksogenez, açık apeksli olan 6 azı dişinin hepsinde tamamlanmıştır. Araştırmacılar bu bulgulara dayanarak, pulpa canlılığını koruyan parsiyel amputasyon tedavisinin, genç daimi dişlerinin tedavisinde klinik olarak tercih edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Parsiyel pulpotomi, geleneksel olarak sadece, klinik olarak pulpa dokusu normal veya reversible pulpitis tanısı ile çürük veya travmaya maruz kalmış vital bir dişte endikedir. Bir dişte irreversible pulpitis ve periapikal lezyona işaret eden belirti ve semptomlar olduğunda, geleneksel olarak kanal tedavisi önerilmektedir (AAPD, 2021). Ancak kanal tedavisi pahalı, karmaşık ve zaman alıcı bir tedavi yöntemidir. Son zamanlarda, zorlu vakalarda vital pulpa tedavisinin başarıları gösterilmiştir (Asgary ve ark., 2015; Taha ve ark., 2017; Uesrichai ve ark., 2019). Bir olgu sunumunda; dokuz yaşındaki bir çocuk hastada, irreversible pulpitis semptomları gösteren ve periapikal lezyonu olan genç daimi azı dışında Biodentin ile yapılan parsiyel pulpotomi tedavisinin beş yıllık takip sonunda başarılı olduğu bildirilmiştir. Beş yıllık takipte diş asemptomatiktir, duyarlılık testlerine pozitif yanıt vermiştir ve renk değişikliği olmamıştır. Takip radyografilerinde dentin köprüsü ve periapikal iyileşme görülmüştür (Chinadet ve ark., 2019).

İrreversible pulpitis tanısı konan 6 ila 18 yaş aralığındaki toplam 69 hastanın daimi büyük azı dişlerine ProRoot MTA (37 diş) ve Biodentine (32 diş) olmak üzere iki farklı kaide ajanı kullanılarak yapılan parsiyel pulpotomi tedavisinin sonuçlarını karşılaştıran randomize kontrollü bir çalışmada (Uesrichai ve ark., 2019); her iki grup için genel başarı oranı %90 olarak bulunmuştur. Dişlerin klinik olarak çalışmaya dahil edilme kriterleri; irreversible pulpitise işaret eden belirti ve semptomlara sahip derin çürük lezyona sahip olmaları (hastalar soğuk testine keskin, devam eden ağrı bildirmişlerdir); kompozit veya paslanmaz çelik kuronlar ile restore edilebilir olmaları; mobilite, görülen bir şişlik ve fistül olmaması; perfore olan pulpa dokusu alanlarının 1 ila 5 mm arasında olması; meydana gelen kanamanın 10 dakika içinde kontrol edilebilmesi olarak sıralanmıştır. Radyografik olarak dahil etme kriterleri ise; dentin kalınlığının en az dörtte üçünü içine alan dentin çürükleri olması; periapikal veya furkasyon bölgelerinde belirgin radyolüsent alanlar olmaması; kalsifikasyon, pulpa kanalı obliterasyonu, internal/eksternal rezorbsiyonunun olmaması olarak sıralanmıştır. Aynı zamanda genişlemiş periodontal ligament aralığı veya osteitis gibi erken periapikal değişikliklere sahip dişler de bu çalışmaya kabul edilmiştir. Operatif kontrendikasyon kriterleri ise şu şekildedir; perfore olan pulpa dokusu alanlarının 1 mm'den küçük ya da 5 mm'den büyük olması; meydana gelen kanamanın 10 dakika içinde kontrol edilememesi; pulpa dokusunun nekrotik görünmesi ve kanama olmamasıdır. Radyografik olarak kontrendikasyon kriterleri ise furkasyon veya periapikal bölgelerde belirgin radyolüsent alanlarının olması ve iç/dış kök rezorbsiyonu, kalsifikasyon veya pulpa kanalı obliterasyonu varlığıdır. 6 yıla kadar 6 ayda bir yapılan kontrol seanslarında göz önüne alınan klinik başarı kriterleri; pulpitisin belirti ve semptomlarının olmaması, mobilite/fistül olmaması ve soğuk testine pozitif yanıt alınmasıdır. Radyografik başarı kriterleri ise kök oluşumunun devam edip tamamlanması, erken periapikal değişikliklerin iyileşmesi ve belirgin periapikal lezyonun ve iç ve/veya dış kök rezorbsiyonunun olmamasıdır. Klinik başarı oranı ProRoot MTA için %92 (34/37) ve Biodentine için %87 (26/30) iken radyografik başarı oranı sırasıyla %95 (35/37) ve %97 (29/30) olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonuçlarında görüldüğü gibi irreversible pulpitis belirtileri olan daimi dişler; parsiyel pulpotomi ile başarılı bir şekilde tedavi edilmiştir.

1.5.4. Total (Koronal) Amputasyon

Amerikan Endodontistler Birliği Endodontik Terimler Sözlüğüne göre, total amputasyon; geriye kalan radiküler kısmın canlılığını korumak amacıyla vital pulpanın inflamatuvar ya da dejeneratif değışiklikler gösteren koronal kısmının kanal ağızlarına kadar uzaklaştırılması ve biyouyumlu bir kaide materyalinin pulpa odasına yerleştirilerek, dişin daimi restorasyonunun tamamlanması olarak tanımlanır (AAE, 2020).

Total amputasyonun birincil amacı, immatür sürekli dişlerde apeksogenezi tamamlamaya yardımcı olabilecek radiküler pulpa dokularını korumaktır. Amputasyon uygun maliyetlidir, kök kanal tedavisi gibi ileri teknik işlemler gerektirmez ve hem diş hekimleri hem de hastalar için daha az zaman almaktadır (Sadaf, 2020). Yeni materyallerin gelişimi ve pulpa biyolojisi ile onarım süreçlerindeki artan bilgi birikimi, amputasyon tedavilerindeki klinik başarı oranlarını arttırmaktadır (Bezgin ve ark., 2023; Simon ve ark., 2013).

Total amputasyon tedavisinin endikasyon kriterleri (Bogen ve ark., 2021); parsiyel amputasyon endikasyonlarında koronal pulpa dokusunun daha derin seviyelere kadar enfekte olduğu düşünülen dişlerde; pulpanın iki ayrı noktada ekspoz olduğu durumlarda ve 4 mm'den büyük ekspozlarda; yakın zamanda meydana gelen bir travma sonucunda açığa çıkmış, büyük boyutta ekspoz olmuş pulpa dokusu varlığında; irreversible pulpitis semptomları gösteren dişlerde kök kanal tedavisinin alternatifi olarak (Li ve ark., 2019); daimi dişlerde kök kanal tedavisi işlemi yapılan kadar acil tedavi yöntemi olarak sıralanmaktadır.

Total amputasyon tedavisinin klinik prosedüründe; yüksek hızlı bir aeratör ve angldruva ile mine ve dentin dokusundaki çürükler temizlenir. Pulpa odasının tavanı, bir fissür elmas frez yardımı ile açılıp kaldırılır (Abuelniel ve ark., 2021). Açığa çıkmış olan pulpa dokusunda, %5-6 NaOCl ile nemlendirilmiş steril bir pamuk pelet 5-10

dakika bekletilerek hemostaz sağlanır (Bogen ve ark., 2021). Bazı çalışmalar, pulpa kanamasının kontrolünün, pulpotomi tedavisinin başarısında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Eğer pıhtı oluşmasına izin verilirse, bu durum tedavinin başarısız olmasına neden olabilir. Bu nedenle steril salin veya sodyum hipoklorit ile irrigasyon yapılması ve ardından hemostaz sağlanması, tedavinin önemli bir parçasıdır (Farsi ve ark., 2006).

Kaide materyali, kanal ağızlarındaki pulpa dokusu üzerine ve kavite tabanının tamamına 1.5-3 mm kalınlığında bir el aleti ile taşınır. Hafif nemlendirilmiş pamuk pelet ile kondanse edilir. Kaide materyalinin üzerine geleneksel CİS, RMCİS ya da akıcı bir kompozit rezin yerleştirildikten sonra dişin daimi restorasyonu yapılır (Bogen ve ark., 2021). Vital pulpa tedavilerinden sonra pulpa vitalitesinin devam etmesinin anahtarı iyi yapılmış bir restorasyondur (Mertz-Fairhurst ve ark., 1998). Pulpa vitalitesinin uzun süreli korunması için daimi restorasyonun prosedürlere uygun bir şekilde, doğru bir materyal seçilerek uygulanması, pulpa tedavisinden çok daha önemlidir (Alptekin ve ark., 2010; Memarpour ve ark., 2010).

Hasta 3 ay sonra tekrar kontrole çağrılmalıdır. Total amputasyon tedavisinin önemli bir dezavantajı, koronal pulpa dokusunun kaybı nedeniyle pulpa hassasiyet testlerine doğru yanıt alınamaması riskidir. Bu nedenle apikal periodontitis belirtilerini değerlendirmek ve kök oluşumunun devamını görmek için radyografik takip son derece önemlidir (Sigurdsson ve ark., 2011).

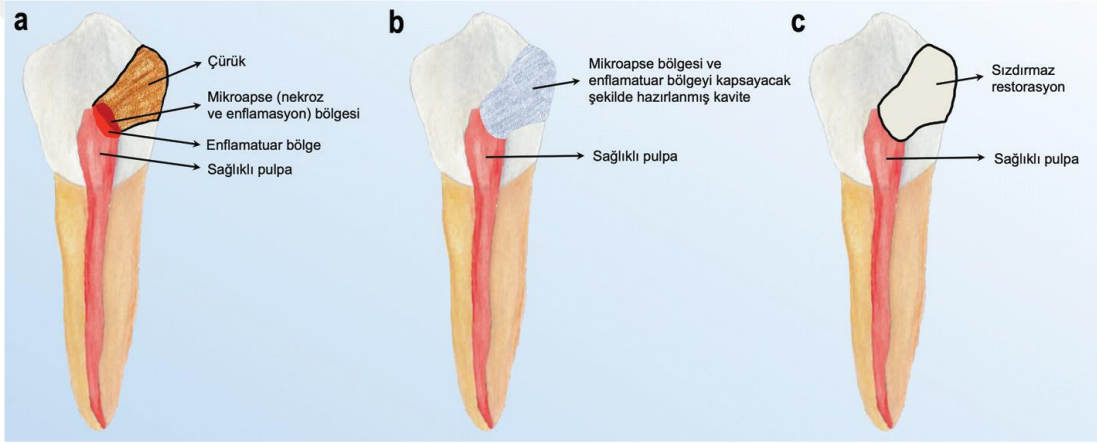
Başarı kriterleri olarak; dişin vitalitesi devam etmelidir. Dişte ağrı, hassasiyet veya şişlik olmamalıdır. İnternal/eksternal kök rezorbsiyonu ve periradiküler bölgelerde herhangi bir patolojik radyografik bulgu olmamalıdır (Wunsch, 2015a). Apeksogenezis devam etmelidir (Rafter, 2005). Hertwig epitel kök kınının canlılığı devam ederek, dişin kök uzunluğu daha iyi kuron-kök oranına sahip olacak şekilde gelişir. Pulpa canlılığını korunduğu zaman, kalan odontoblastlar sayesinde dişte daha kalın bir kök duvarı oluşur ve diş, kökte meydana gelen kırılmalara karşı daha

dayanıklı hale gelir. Başarılı bir tedavi ile kök ucunun kapanması sağlanarak diş kökünde doğal bir apikal daralım elde edilir. Pulpotomi bölgesinde görülen dentin köprüsü, dişin vitalitesinin korunduğunu gösterir. Tedavi edilen dişte kök kanal obliterasyonu meydana gelebilir. Eğer dişin vitalitesi devam ediyor ise, obliterasyon normal kabul edilir ve kanal tedavisine gerek yoktur (Wunsch, 2015a).

Pulpotomi prosedürleri için apikal patolojinin olmamasını gerektiren kılavuz değişiklik göstermektedir. Çağdaş çalışmalardan elde edilen sonuçlarda, irreversible pulpitis teşhisi konan dişlerde de kalsiyum silikat içerikli simanlar kullanılarak yapılan pulpotomi tedavilerinden sonra radiküler lezyonların iyileştiği görülmektedir. (Asgary ve ark., 2013b; Linsuwanont ve ark., 2017; Taha ve ark., 2018b). Eghbal ve ark. (2009), MTA pulpotomisi uyguladıkları irreversible pulpitisli dişleri 2 aylık bir sürenin ardından çektiklerinde, dişlerin inflamasyonsuz olduğunu ve dişlerde dentin bariyeri oluşumu görüldüğünü bildirmişlerdir. İrreversible pulpitisli dişlere yapılan total amputasyon tedavilerinin bildirilen başarı oranları %78,1 ile %100 aralığında iken bu oran periapikal patolojilerin eşlik ettiği irreversible pulpitisli dişlerde %65.7 ile %100 aralığındadır (Asgary ve ark., 2013b; Caliskan, 1993; Linsuwanont ve ark., 2017; Sharma ve ark., 2021).

Tanım olarak irreversible pulpitis, mevcut pulpa dokusunun iyileşme yeteneğine sahip olmadığı düşünüldüğü için tamamen çıkarılması gerektiğini gösteren bir durumdur (Linsuwanont ve ark., 2017). Asıl önemli olan, “reversible ve irreversible pulpitis arasında nasıl ayırım yapabiliriz?” sorusudur. Pulpa dokusunda perforasyon meydana gelen dişler; spontan ağrı, kalıcı ağrı, uyaranlara kısa süreli hassasiyet ya da hiç semptom görülmemesi gibi çeşitli klinik semptomlar gösterebilirler (Linsuwanont ve ark., 2017). Pulpal durum, periapikal radyolüsensi varlığında normal veya patolojik olarak izlenebilir (Caliskan, 1995). Mevcut tanı ve teşhis araçları, yalnızca test edilen dişin vital ya da devital olduğunu göstermektedir. Bu nedenle reversible veya irreversible pulpitisin kesin olarak ayırt edilmesi zor olmaktadır (Linsuwanont ve ark., 2017).

Histolojik çalışmalar, pulpa dokusunda çürükle perforasyon meydana gelen dişlerde; pulpanın çeşitli bölümlerinde hasarlı ve sağlıklı pulpanın bir arada bulunduğunu göstermektedir (Ricucci ve ark., 2014a) (Şekil 1.7.). Bu nedenle dejeneratif ve irreversible değişikliklere uğramış olan pulpa dokusunun çıkarılmasından sonra kalan pulpa dokusunun korunmasının mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu durum, birkaç klinik çalışmada pulpa dokusunda çürükle perforasyon meydana gelen dişlerde yapılan total amputasyon tedavilerinin başarılı sonuçlarının gösterilmesiyle desteklenmiştir (Caliskan, 1995; Linsuwanont ve ark., 2017; Qudeimat ve ark., 2017).



Şekil 1.7. Çürüklü perforasyon gelişen dişlerde pulpa dokusunun histolojisi (a) çürüğe komşu pulpa dokusunun yapısı, (b) Parsiyel amputasyon ile inflamatuvar dokuların uzaklaştırılması, (c) Sağlıklı pulpa dokusu korunarak yapılan restorasyon (Bezgin ve ark., 2023).

Çürükle perfore olan 60 olgunlaşmamış daimi birinci azı dişine, MTA veya Biodentine ile total amputasyon tedavisi uygulanan bir çalışmada; 6, 12 ve 18. aylarda yapılan değerlendirmelerde her iki grupta da yüksek bir başarı oranı (%95) gözlenmiştir. Dişlerde kök uzunluğunda artış ile apikal kapanma meydana gelmiştir. Radyografik başarı açısından Biodentine ve MTA grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Abuelniel ve ark., 2021).

Vital pulpa tedavilerini ve rejeneratif endodontik prosedürleri birleştiren bir olguda (Lee ve ark., 2020); 8 yaşındaki hastanın daha önce kompozit rezin restorasyonu yapılmış alt sağ birinci büyük azı dişine; ağız içi ve radyografik muayene sonrası pulpa nekrozu ve kronik apikal apse tanısı konulmuştur. Hafif bukkal şişliği olan dişe giriş kavitesi açıldıktan sonra, distal kanalda pulpa nekrozu tespit edilirken, mezial kanallarda vital pulpa dokularının mevcut olduğu görülmüştür. Mezial köklerde pulpotomi tedavisi, distal kökte ise rejeneratif endodontik tedavi yapılmasına karar verilmiştir. Dental mikroskop altında çalışılarak ilk seansta mezial köklerde pulpotomi tamamlanmış ve distal kökte rejeneratif endodontik tedaviye başlanılmıştır. Üç hafta sonraki ikinci seansta hastanın dişinin asemptomatik olduğu ve dişin bukkalindeki şişliğin iyileşmiş olduğu görülmüştür. Distal kökteki tedavi tamamlandıktan sonra diş daimi olarak restore edilmiştir. 6, 12 ve 18 aylık takiplerde hastanın herhangi bir semptomunun olmadığı; radyografik olarak, dişteki apikal radyolüsensinin çözüldüğü ve kök gelişiminin tamamlandığı görülmüş ve diş pulpa duyarlılık testlerine olumlu yanıt vermiştir. Olgunlaşmamış genç daimi dişlerde vital pulpa dokularını korumak, yeni vital dokuların rejenerasyonunu sağlamak ve kök gelişimini devam ettirmek amacıyla vakaya özel olarak vital pulpa tedavilerini ve rejeneratif endodontik prosedürleri kombine bir şekilde kullanmak, minimal invaziv ve tercih edilebilir bir tedavi seçeneği olabilir.

Çocuk diş hekimliğinde vital pulpa tedavilerinin kullanım alanı artmaktadır. Ancak, pulpada bir miktar dejenerasyon gözlenen olgularda vital tedavilerin başarılı olabilmesi için sızdırmaz ve biyouyumlu bir pulpa kaide materyalinin kullanımı gerekmektedir. Bu amaçla günümüze kadar birçok materyal denenmiştir, ancak ideal materyal henüz belirlenememiştir.

1.6. Vital Pulpa Tedavilerinde Kullanılan Kaide Materyalleri

Vital pulpa tedavilerinde; dentin remineralizasyonu için ideal ortamı sağlamak, restoratif materyalin pulpa ile temasında oluşabilecek irritasyonu ve bakteriyel kontaminasyonu önlemek amacıyla çok sayıda materyal denenmiştir.

Yapılan çalışmalarda, biyoaktif materyallerin pulpaya uygulanmasından sonra oluşan biyolojik reaksiyonların; uygulanan materyalin formülasyonu, aktif bileşenin konsantrasyonu ve salım hızı, hedef hücrelere kimyasal olarak aktif bir biçimde yayılması gereken mesafe, enfeksiyon varlığı ve pulpanın sağlık durumu gibi birçok faktöre bağlı olduğu görülmüştür. Aynı zamanda seçilen biyomateryal tipinin daha az önemli olduğu ve mikrobiyal girişi önlemek için kavite sızdırmazlığının kalitesinin işlemin başarısını belirleyen en önemli faktör olduğu da öne sürülmüştür (Sangwan ve ark., 2013).

İdeal bir kaide materyalinde bulunması gereken özellikler;

- Biyouyumlu olmalıdır.
- Antiseptik özelliği ile kavite tabanında bulunan mikroorganizmaları elimine etmelidir ve bakteriler ile toksinlerin etkisini ortadan kaldırmalıdır.
- Bakteriyel sızıntıyı önlemelidir.
- Isıyı iletmemelidir, büzülme ve genleşme göstermemelidir.
- Kaviteye kolayca yerleştirilmelidir. Sertleşme süresi uzun olmamalıdır.
- Radyopak olmalıdır.
- Pulpanın canlılığının devam etmesini sağlamalıdır ve aynı zamanda reperatif dentin oluşumunu indüklemelidir.
- Dentine ve restoratif materyallere bağlanma kuvveti yüksek olmalıdır (Cohen ve ark., 1994).

Pulpa perforasyonu durumunda, pulpa dokusundaki dental pulpa kök hücreleri (hDPSCs), sert doku rejenerasyonunu uyararak odontoblast benzeri hücrelere farklılaşabilir (Huang ve ark., 2009). Odontojenik genlerin ekspresyonu in vitro koşullarda gösterilmiştir ve in vivo koşullarda dentin köprüsü oluşumu tespit edilmiştir. Bu bulgular, hDPSC'lerin dentinogenez sırasında dentini yenileme yeteneğini kanıtlamaktadır (Rosa ve ark., 2013; Tatullo ve ark., 2019). hDPSC'lerin

sert doku bariyeri oluşturma potansiyeline ek olarak, pulpa kaide materyalleri de sert doku rejenerasyonunu destekler ve bakteri istilasını önler (Kim ve ark., 2019).

Vital pulpa tedavileri; pulpa perforasyonu alanına biyouyumlu bir materyalin yerleştirilmesini takiben, onarım mekanizmasının uyarılmasıyla açığa çıkan pulpa dokusunun korunmasını amaçlar (Accorinte ve ark., 2008a; Camargo ve ark., 2009). Böylece pulpa dokusu, daha ileri seviye tedavi prosedürlerini, restoratif materyallerin toksisitesini ve mikrosızıntı nedeniyle bakteriyel penetrasyonu içerebilen streslerden korunmuş olur. Pulpanın canlılığını korumayı amaçlayan tedavi yöntemlerinde uygulanan materyaller ile pulpa dokusu birbiriyle temas halinde olduğundan, bu materyallerin toksisitesi önemli bir faktördür. Bu nedenle materyallerin biyouyumluluğu, antibakteriyel ve antiinflamatuvar özellikleri ve hDPSC aktivitesi, kimyasal özellikler ve biyoaktivite bazında değerlendirilmelidir (Collado-González ve ark., 2017; Takita ve ark., 2006).

En güncel olarak kullanılan kaide materyalleri; kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat içerikli preparatlardır (Bakland ve ark., 2012).

1.6.1. Kalsiyum Hidroksit (Ca(OH)₂/KH)

1930 yılında, kalsiyum hidroksitin dişin ekspozite olan bölgesini onarmada etkili olduğu keşfedilmiştir (Pleass, 1930). Bu tarihten itibaren, reperatif dentin oluşumunun yanı sıra vital pulpanın korunması, mineralizasyonun indüklenmesi ve bakteriyel gelişimin inhibisyonu amacıyla klinikte; indirekt ve direkt pulpa kapaklaması, apeksifikasyon, kök rezorbsiyonu tedavisi, iatrojenik kök perforasyonlarının tedavisi, replante edilen dişlerin tedavisi ve kök kanallarının dezenfeksiyonunda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Farhad ve ark., 2005). Ca(OH)₂, aynı zamanda antibakteriyeldir, asitleri nötralize eder, hemostatik etki gösterir, alkalen fosfataz etkisiyle sert doku oluşumunu indükler (Fava ve ark., 1999).

KH, suda çözündüğü zaman, Ca^{+2} ve OH^- iyonlarına ayrılarak, yüksek alkali özellik gösterir (Fava ve ark., 1999). Materyalin devam eden çözünmesi sayesinde Ca^{+2} iyonundan zengin bir alan oluşmaktadır. Bu konsantrasyon materyalin uygulama alanında en yüksek seviyede iken materyalden uzaklaştıkça azalmaktadır (Sangwan ve ark., 2013). Ca^{+2} iyonları, kök hücreler (Adams ve ark., 2006), osteoblastlar ve fibroblastlar (Lansdown, 2002) gibi hücreleri aktive etmekte ve bu hücrelerin göçünü sağlamaktadır.

KH'nin antibakteriyel özelliği, çok az bakterinin yaşamını sürdürebildiği yüksek alkali pH seviyesine bağlanmaktadır (Bystrom ve ark., 1985). Yüksek pH seviyesi, bakteriyel enzimlerin biyolojik aktivitesinin kaybına ve hücre ölümü ile sonuçlanan enzimatik proteinlerin yanı sıra yapısal proteinlerin denatürasyonuna neden olur. Sitoplazmik membrana ve genetik materyale zarar vererek hücresel aktiviteleri inhibe eder. KH sınırlı çözünürlüğe sahip olduğundan, antibakteriyel aktivitesi yüzeysel pulpa dokusuyla sınırlıdır. Bu nedenle, KH kullanımının yalnızca minimum bakteri istilası olan durumlarda başarılı olabileceği düşünülmektedir. Bakteriler pulpada şiddetli iltihaplanmaya yol açan derinliklere nüfuz etmişse, tedavi genellikle başarısız olmaktadır (Goldberg ve ark., 2008).

KH ile yapılan tedavilerin başarısı, materyal ile temasta olan pulpa dokusunun pH'ını yükselten hidroksil iyonlarının salımına bağlanmıştır (Kardos ve ark., 1998). Artan pH seviyesi sayesinde bakterisidal etki görülür. Aynı zamanda bu artış açığa çıkan pulpa dokusunda yüzeysel bir nekroza neden olur (Stanley, 2002). Bu nedenle, KH'nin etki mekanizmasının, nekrotik tabakanın altındaki vital pulpa dokusunun irritasyonuna neden olan ve pulpadaki onarım süreçlerini bilinmeyen bir şekilde uyaran kimyasal hasarın bir sonucu olduğu kabul edilmiştir. Ek olarak, yaralanmış/tedavi edilmiş bölgedeki alkali pH'ın dentinogenezis için uygun koşullar yarattığı ve yüksek kalsiyum iyonu konsantrasyonlarının, dentinogeneziste etkin olan ve pulpa hücrelerinde mineralizasyonu teşvik eden genlerin [Transforming growth

faktör-beta bir (TGF- β 1) ve kemik morfojenik protein-2 (BMP-2)] ekspresyonunu arttırdığı bildirilmiştir (Rashid ve ark., 2003; Sangwan ve ark., 2013).

KH'nin dezavantajları; kendi kendine sertleşen formlarının yüksek oranda çözünürlük göstermesi, adezyon özelliğinin olmaması ve zayıf bir sızdırmazlık sağlamasıdır. Aynı zamanda KH ile örtülen pulpa dokusunun altında oluşan reperatif dentinde tünel defektleri olduğu bildirilmiştir (Hilton, 2009). Oluşan bu tünel defektleri kalıcı bir bariyer oluşmasına ve bakteriyel enfeksiyona karşı uzun süreli biyolojik bir tıkama sağlanmasına engel olmaktadır (Komabayashi ve ark., 2016).

KH'nin kaide materyali olarak kullanıldığında zamanla çözündüğü ve reperatif dentin köprüsündeki tünel defektlerinin mikrosızıntı oluşmasına sebep olduğu bilinmektedir (Cox ve ark., 1996). Mikrosızıntı nedeniyle inflamatuvar pulpa reaksiyonu meydana gelirse, pulpa canlılığı tehlikeye girer ve kök kanal tedavisi ya da diş çekimi gibi ileri tedavilere ihtiyaç duyulabilir (Cox ve ark., 1996; Schuurs ve ark., 2000; Yoshida ve ark., 1994). KH ile pulpotomi tedavisi yapılan daimi molar dişlerin uzun süreli takibinde, 5 yılda %44.5 ve 10 yılda %79.7 oranında başarısızlık görülmüştür (Barthel ve ark., 2000).

1.6.2. Kalsiyum Silikat Simanlar (KSS)

Kalsiyum silikat bazlı simanlar (KSS), kendiliğinden sertleşen hidrolik çimentolardır. KSS tozu esas olarak Portland simanın ana bileşenleri olan dikalsiyum ve trikalsiyum silikattan oluşmaktadır. Ana tozun suyla karıştırılmasından sonra, öncelikle Ca(OH)_2 ve kalsiyum silikat hidrat üretilir ve karışım, ardından sert bir yapıda katılaştıran yapışkan bir koloidal jel (kalsiyum silikat hidrat jeli) oluşturur (Camilleri, 2007). Hidrolik KSS, biyoyumluluklarının yanı sıra nemli ve kanlı alanlara yerleştirilebilme ve sızdırmazlık özellikleri sayesinde pulpa kuafajı,

pulpotomi, apeksifikasyon, perforasyon onarımı ve kök ucu dolgusu gibi endodontik tekniklerde sıklıkla kullanılmaktadır (Cervino ve ark., 2020; Peskersoy ve ark., 2021).

Kalsiyum silikat simanların Ca^{2+} salımı ile alkalize etme gibi biyolojik özellikleri, pulpa dokusunun tedavisinde ve rejeneratif endodontik prosedürlerde kullanımlarının temelini oluşturur (Koutroulis ve ark., 2019; Kurun Aksoy ve ark., 2017). Hidroksil ve kalsiyum iyonlarını serbest bırakarak, iyileşme ve onarımı desteklemek için yeterli bir ortam yaratırlar ve reperatif dentin köprüsünün üretiminden sorumlu odontoblastik hücre farklılaşmasını sağlarlar (Arias-Moliz ve ark., 2017). Ca^{2+} , dental pulpa hücrelerinin büyümesini ve aynı zamanda dentin mineralizasyonunu ve bir dentin köprüsünün gelişmesini sürdürmeye yardımcı olan pirofosfataz aktivitesini artırır (Bortoluzzi ve ark., 2015; Gandolfi ve ark., 2015). Ayrıca, hidroksil iyonlarının üretimi, pulpal doku tahrişine neden olan ortamın pH'ını arttırarak yüzeysel nekroz geliştirir ve nekrotik bölgeye karşı mineralizasyonu uyarır. Hidroksil iyonları mineralizasyon sürecine katılan alkalın fosfataz ve kemik morfojenik proteinlerinin üretimini teşvik eder (Kurun Aksoy ve ark., 2017).

Kalsiyum silikat bazlı simanlar, fosfat içeren fizyolojik sıvılarla temas ettiğinde hidroksiapatit çökeltileri oluşturabilir. Oluşan çökeltiler, mineralize doku sentezi ile ilişkili hücre bağlanmasını, farklılaşmasını ve doku onarımını geliştirir (Yamamoto ve ark., 2017).

ProRoot MTA (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, ABD), MTA Angelus (Angelus Solucoes Odontologicas, Londrina, Brezilya), NeoMTA Plus (Biomed Inc, Houston, TX), Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fosses, Fransa), Bioagregat (Innovative Bioceramics, Vancouver, Kanada), Endosequence kök onarım materyali (Brasseler, Savannah, GA, ABD) ve TheraCal (Bisco, Schamburg, IL, ABD) ticari olarak temin edilebilen KSS'ler olarak piyasada bulunmaktadır (Dawood ve ark., 2017).

1.6.2.1. Mineral Trioksit Agregat (MTA)

Mineral Trioksit Agregat (MTA); pulpa kuafajı, pulpotomi, apeksifikasyon, perforasyon onarımı, kök ucu dolgusu ve pulpa rejenerasyonu gibi endodontik prosedürlerde yaygın olarak kullanılan kalsiyum silikat bazlı bir simandır (Dawood ve ark., 2017). MTA, Mahmud Torabinejad ve ark. (1993) tarafından geliştirilmiş ve diş hekimliğinde ilk defa 1990'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır.

MTA'nın ilk olarak gri versiyonu üretilmiş, ancak özellikle ön dişlerde renklenmeye neden olduğu için sonrasında beyaz MTA üretilmiştir (Camilleri ve ark., 2006). Beyaz ve gri MTA'nın içeriğinde; trikalsiyum silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), dikalsiyum silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), trikalsiyum aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), trikalsiyum oksit (Ca_2O_3), silikat oksit (SiO_2), kalsiyum sülfat dihidrat ($\text{CaSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ana bileşenleri bulunmaktadır. Aynı zamanda radyoopak görüntü sağlamak amacıyla bizmut oksit (Bi_2O_3) eklenmiştir (Camilleri, 2007).

MTA ve diğer KSS'lerin benzersiz fizikokimyasal özellikleri, KH materyaline kıyasla pulpa onarımı ve dentin köprüsü oluşumu için daha elverişli bir ortam sağlar (Hilton ve ark., 2013; Mente ve ark., 2014). KSS'ler, kan ve serum varlığında sertleşen, dentin ile boşluksuz bir arayüz oluşturan ve sürekli alkali pH oluşturan higroskopik simanlardır. Aynı zamanda sertleşmesi tamamlanan simanın yüzey morfolojisi, adezyon sistemleriyle bağlanmaya izin vermektedir (Neelakantan ve ark., 2012). Sert doku oluşumu için gerekli olan büyüme faktörleri, KSS'ler tarafından Ca^{2+} iyonlarının kademeli olarak salımı yoluyla aktive edilmektedir (Koh ve ark., 1997). Küçük partikül boyutu ve alkali pH, dentin ile KSS arayüzünde kalan karyojenik bakterilerin elimine edilmesini sağlar ve bakteri girişi ile çürük ilerlemesini engeller (Yoo ve ark., 2014).

MTA'nın sertleşme süresi farklı markalar arasında değişkenlik göstermektedir. Gri MTA'nın sertleşme süresi 2 saat 45 dakika ile 2 saat 55 dakika arasında değişir. Beyaz MTA'nın sertleşme süresi 2 saat 20 dakika (beyaz ve gri ProRoot MTA; Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, ABD) kadardır (Islam ve ark., 2006). MTA-Angelus'un (Angelus Industria de Produtos Odontologicos, Londrina, Brezilya) başlangıç sertleşme süresi 10 dakikadan kısa, son sertleşme süresi 24 dakikadan daha kısa sürmektedir (Vivan ve ark., 2010). Sertleşme sürecini hızlandırmak için MTA'nın üzerine nemli bir pamuk pelet yerleştirilmesi tavsiye edilir (El-Meligy ve ark., 2006). Uzun sertleşme süresini tolere etmek amacıyla kullanılan MTA veya KSS kaide materyalinin üzerine RMCİS, kompomer veya akıcı kompozit rezin yerleştirilmesi önerilmiştir (Bogen ve ark., 2021).

MTA'nın klinik kullanımı ile ilgili; uzun sertleşme süresi, manipülasyon zorluğu, bileşiminde bulunan toksik bileşenler, tedavi edilen bölgeden temizlenmesinin zor olması, tedavi sonrası dişte meydana gelen renk değişikliği ve yüksek maliyeti gibi çeşitli dezavantajlar vardır (Belobrov ve ark., 2011). Özellikle travma gören ön kesici dişlerde meydana gelen renk değişikliği estetik olarak sorun yaratmaktadır (Możyńska ve ark., 2017). Radyoopasite için kullanılan bizmut oksit veya demir gibi MTA'da bulunan ağır metallerin, NaOCl ya da kan ile temasından sonra meydana gelen oksidasyon bu renklenmeye neden olmaktadır (Shokouhinejad ve ark., 2016). Diğer KSS'ler daha az veya çok az düzeyde ağır metal içerir ve dişlerde renk değişikliği yapma olasılıkları minimumdur (Możyńska ve ark., 2017).

MTA bir oksit karışımından ziyade bir silikat çimentosu olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle biyouyumluluğu reaksiyon ürünlerinden kaynaklanmaktadır. MTA'nın su ile etkileşiminden meydana gelen birincil reaksiyon ürünü kalsiyum hidroksittir ve bu nedenle MTA'nın biyouyumluluğunu sağlayan temelde kalsiyum hidroksit oluşumudur (Camilleri ve ark., 2006; Hilton, 2009). Antibakteriyel olması, yüksek pH'ı, radyoopasitesi ve biyoaktif dentin matris proteinlerinin salımına yardımcı olması gibi MTA'nın birçok avantajı ve potansiyel etki mekanizması KH'ye

benzemektedir. MTA, KH ile alttaki pulpa dokusunda inflamatuvar ve nekrotik değişikliklere neden olduğu bilinen sert doku oluşumunu indükleme mekanizmasını da paylaşır (Kuratate ve ark., 2008). Ancak mineralizasyonu ve dentin köprüsü oluşumunu KH'den daha hızlı ve daha etkili bir şekilde desteklemektedir.

MTA, fibroblastların merkezi pulpadan hasar bölgesine göçünü aktive eder ve pulpa hücre apoptozisini indüklemeyen, hücrelerin proliferasyonunu ve odontoblast benzeri hücrelere farklılaşmasını destekler (Okiji ve ark., 2009).

Günümüzde, MTA'nın vital pulpa tedavisinde başarılı olduğu kanıtlanmıştır. KH'ye benzer şekilde, MTA da oldukça baziktir (pH: 12,5) ve biyoyumludur. Vital pulpa dokusu üzerinde gelişmiş düzeyde sızdırmazlık sağlar ve rezorbe olmaz (Andelin ve ark., 2003). Son zamanlarda MTA, KH'nin alternatifi haline gelmiştir ve iki materyali karşılaştıran mevcut klinik çalışmalar MTA'nın üstünlüğünü göstermiştir (Bakland ve ark., 2012; Iwamoto ve ark., 2006; Sawicki ve ark., 2008; Shaik ve ark., 2021). Aynı zamanda, MTA dentin matriksinde metaloproteinaz doku inhibitörü 2 (TIMP-2) ekspresyonunu indükler ve böylece KH'nin aksine kolajen matriksinin yıkımını önleyerek dişin kırılma direncini kötü yönde etkilemez (Hatibović-Kofman ve ark., 2008).

Parsiyel pulpotomi tedavisinde kaide materyali olarak kullanılan MTA'nın KH ile karşılaştırıldığı bir çalışmada, daha yüksek klinik başarı oranı gösterdiği, daha güvenilir pulpa sağlığı ve kalsifiye bariyer oluşumu sağladığı görölmüştür (El-Meligy ve ark., 2006).

MTA'nın amalgam, çinko oksit öjenol (ZOE) veya geçici restorasyon materyalleri (IRM) ile karşılaştırıldığında daha iyi sızdırmazlık kabiliyetine sahip olduğu gösterilmiştir (Ford ve ark., 1996). Ayrıca, hayvan modelleri kullanılarak

yapılan bir çalışmada KH karşılaştırıldığında, MTA'nın direkt pulpa kuafaj materyali olarak üstün bir özelliğe sahip olduğu gösterilmiştir (Dominguez ve ark., 2003). Kanin diş modelinde oluşturulan perforasyonların MTA kullanılarak tamir edildiği histolojik bir çalışmada, MTA'nın sementoblast bağlanmasına ve mineralize matris geni üretimine izin verdiği gösterilmiştir (Thomson ve ark., 2003).

Yapılan in vitro ve in vivo çalışmalar, MTA'nın mikrosızıntıyı önlediğini, biyouyumlu olduğunu ve dental pulpa veya periradiküler dokularla temas ettirildiğinde orijinal dokuların rejenerasyonunu desteklediğini göstermiştir (Liu ve ark., 2015; Soundappan ve ark., 2014; Torabinejad ve ark., 1999). Aynı zamanda MTA hidrofilik bir materyaldir. Sertleşme reaksiyonu için nemli bir ortama ihtiyaç duymaktadır ve bu durumun izolasyonun ideal şekilde yapılamadığı ortamlarda ya da hafif kanamalı bölgelerde uygulama kolaylığı sağladığı belirtilmiştir (Danesh ve ark., 2006).

ProRoot MTA, 1995 yılında geliştirilen ve dünya çapında sayısız klinik uygulamada kullanılan MTA'nın ilk ticari versiyonudur. ProRoot MTA'nın yaygın olarak kullanılan diğer kök ucu dolgu malzemelerine göre daha az sızıntı ile daha iyi marjinal adaptasyon sağladığı gösterilmiştir (Fischer ve ark., 1998; Torabinejad ve ark., 1995a). In vitro (Koh ve ark., 1998) ve in vivo (Mitchell ve ark., 1999) olarak yapılan çalışmalar, ProRoot MTA'nın biyouyumlu olduğunu ve antimikrobiyal etkisi olduğunu bildirmektedir. ProRoot MTA, direkt pulpa kuafajı tedavilerinde kullanıldığında KH'e göre, histolojik olarak daha üstün dentin köprüsü oluşturmuş (Nair ve ark., 2008) ve uzun vadeli yüksek başarı oranları göstermiştir (Mente ve ark., 2014). Yapılan çalışmalar, ProRoot MTA ile yapılan parsiyel pulpotomi tedavilerinin başarı oranının 1-2 yıla kadar %95,2 (Barrieshi-Nusair ve ark., 2006) ve %98 (Qudeimat ve ark., 2007) olduğunu bildirmiştir. Yüksek antibakteriyel özelliği ve biyouyumluluğu nedeniyle günümüzde pulpa kaide ajanları içinde altın standart olarak kabul edilmektedir (Roberts ve ark., 2008).

1.6.2.2. TheraCal

MTA'nın en önemli dezavantajları; sertleşme süresinin uzun olması, uygulama zorluğu, hazırlık süresinin uzun olması ve renkleşmeye karşı direncinin düşük olmasıdır (Poggio ve ark., 2014; Yoldaş ve ark., 2016). Ayrıca, MTA ve benzeri hidrolik kalsiyum silikat bazlı materyallerin diğer büyük dezavantajı, su bazlı kimyasal yapıda olmaları nedeniyle üzerlerine yerleştirilen rezin içerikli restorasyon malzemesine yetersiz mikromekanik adezyon oluşturmalarıdır (Ajami ve ark., 2013). Sertleşme reaksiyonunu etkilememek için dişin daimi restorasyonunun geciktirilmesi önerilmiştir (Hashem ve ark., 2014). Bu sınırlamaların üstesinden gelebilmek için, vital pulpa tedavi prosedürleri için ışıkla sertleşen, rezin ile modifiye edilmiş yeni kalsiyum silikat materyalleri formüle edilmektedir. TheraCal (Bisco Inc., Schaumburg, IL, ABD), kalsiyum silikata ek olarak rezin monomerleri içeren bir pulpa kaide materyali olarak tanıtılmıştır. Çeşitli avantajları arasında; ışıkla kısa sürede sertleşmesi, düşük çözünürlük ve yüksek mekanik dayanım sergilemesi, kullanım kolaylığı sayılabilir (Gandolfi ve ark., 2012; Nielsen ve ark., 2016). TheraCal LC, indirekt/direkt pulpa kaide materyali olarak tasarlanmıştır. Materyalin kullanım kolaylığı klinisyenler için tercih edilmesini sağlamaktadır (Arandi ve ark., 2018).

TheraCal LC; tip III Portland çimentosu, stronsiyum cam, silika, baryum sülfat (BaSO_4), baryum zirkonat (BaZrO_3) ve rezinden (Bis-GMA ve PEGDMA) oluşur (Gandolfi ve ark., 2012). Geleneksel kalsiyum silikat ürünlerinden farklı olarak manuel karıştırma prosedürlerine ihtiyaç duyulmadan kullanıma hazır akıcı siman şeklinde ticari olarak temin edilebilen TheraCal LC, direkt olarak çalışılan bölgeye şırınga içinde 1 mm kalınlığında uygulanır ve 20 saniye boyunca ışık ile sertleştirilir (Dawood ve ark., 2017; Kim ve ark., 2021). Kısa uygulama süresi sayesinde kontaminasyon riski azalır. TheraCal LC'nin yüksek miktarda Ca^{2+} salım özelliği ve başlangıçtaki yüksek alkalitesi (pH 10-11), sert doku onarımının uyarılmasını sağlayan başlıca faktörlerdir (Camilleri, 2014b).

TheraCal LC'nin dezavantajı ise yine içeriğindeki rezin monomerlerdir. Resin bileşenlere sahip olan materyallerin in vivo ve in vitro çalışmalarda orta derecede toksik olduğu gösterilmiştir (Goldberg, 2008; Seo ve ark., 2023; Teixeira ve ark., 2006). Literatürde açıklanan ve bu resin bileşenlerinin olumsuz özelliklerini artırabilen diğer faktör, oksijen tarafından lokal reaksiyonun inhibisyonu veya redüksiyonun neden olduğu tamamlanmamış polimerizasyonun bir sonucu olarak ışıkla sertleşmeyen yüzey monomerlerinin varlığıdır (Rathbun ve ark., 1991).

Pulpa üzerine doğrudan uygulanan materyallerin etkinliğine dair yapılan bir çalışmada (Bakhtiar ve ark., 2017); parsiyel pulpotomi tedavisinde Biodentine ve ProRoot MTA ile karşılaştırıldığında TheraCal LC'in klinik etkinliği araştırılmıştır. Çekimi planlanan çürüksüz 27 maksiller ve mandibular üçüncü molar diş, rastgele 3 gruba ayrılarak parsiyel amputasyon uygulanmıştır. Klinik ve elektrik pulpa testleri 1. ve 8. haftada yapıldıktan sonra dişler çekilip histolojik kesitler hazırlanmış ve pulpa enflamasyonu ve dentin köprüsü oluşumu açısından analiz edilmiştir. Klinik muayenede ProRoot MTA ve Biodentine gruplarında sıcak, soğuk veya palpasyona karşı hassasiyet görülmemiştir. TheraCal LC grubundaki iki hasta 1. haftada belirgin ağrı bildirmiştir. Periapikal radyografilerde periapikal patoloji görülmemiş ve elektrik pulpa testinde aşırı duyarlılık olmaksızın normal pulpa yanıtı saptanmıştır. Tüm materyallerde 8. haftada enflamasyon görülmemiştir. Normal pulpa organizasyonu ProRoot MTA grubunda dişlerin %33,33'ünde, TheraCal LC grubunda %11,11'inde ve Biodentine grubunda %66,67'sinde görülmüştür. Biodentine grubunda tüm dişlerde tam dentin köprüsü oluşumu görülürken, bu oran TheraCal LC ve ProRoot MTA gruplarında sırasıyla %11 ve %56 olmuştur. Genel olarak, Biodentine ve MTA parsiyel pulpotomi ajanı olarak kullanıldığında TheraCal LC'den daha iyi performans ve iyi klinik sonuçlar göstermiştir. Bu çalışmada TheraCal LC kullanılan dişlerin %66,67'sinde tam dentin köprüsünün oluşmaması, bileşimindeki rezinin varlığı ile açıklanmaktadır. Resin polimerlerde metakrilat monomer çift bağlarının %50 kadarının reaksiyona girmeden kaldığı bildirilmiştir (Imazato ve ark., 2001). Kompozit içindeki polimerize olmamış monomerler, kompozitten sızarak diş pulpasına ulaştıklarında önemli bir risk oluştururlar (Hume ve ark., 1996). Bu, özellikle materyal direkt pulpa kuafajı tedavisinde olduğu gibi nemli bir ortamda

uygulandığında tam polimerizasyon elde etmenin imkansız olduğunu gösterir. Benzer şekilde, TheraCal'in HEMA, Bis-GMA, TEGDMA ve UDMA gibi rezin bileşenleri pulpa dokusuyla temas ettikten sonra polimerize olmadan kalabilir ve bunların pulpa fibroblastları için sitotoksik olduğu bilinmektedir (Ratanasathien ve ark., 1995). Bu nedenle çalışmada TheraCal LC kullanılan dişlerde, dentin köprüsünün tam olarak oluşmaması materyalden sızan monomerlere bağlı olabilir. Toksik olmayan monomer konsantrasyonlarının dentin sialoproteinlerinin ve osteonektinin salgılanmasını ve endoplazmik retikulumda birikmesini engellediği gösterilmiştir (Diamanti ve ark., 2013). Bu proteinler mineralizasyon sürecine dahil olduklarından, salgılarının inhibisyonu TheraCal grubunda MTA ve Biodentine gruplarına kıyasla mineralizasyonun azalmasını açıklayabilir. Mikrosızıntının önlenmesi, parsiyel pulpotomi başarısı için belirleyici bir faktördür. Bu, materyalin kendisi tarafından sağlanabilse de parsiyel pulpotominin uzun vadeli başarısı, ek pulpa koruması sağlayan devamlı dentin köprüsü oluşumuna bağlıdır (Accorinte ve ark., 2008b; Eskandarizadeh ve ark., 2011; Parirokh ve ark., 2010). Bu çalışmada, dentin köprüsünün Biodentine ve ProRoot MTA'nın ile düzgün ve homojen bir şekilde olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Biodentine ve ProRoot MTA'nın dental pulpanın uzun süreli korunması için TheraCal LC'den daha güvenilir oldukları sonucuna varılmıştır.

TheraCal PT; üretici firma tarafından, öncelikle parsiyel ya da total amputasyon tedavilerinde kullanılmak üzere güncel olarak üretilen biyouyumlu hem kimyasal hem de ışıkla sertleşen (dual-cure) rezin modifiye kalsiyum silikat ajan olarak tanıtılmıştır. Pulpa dokusu için bir bariyer ve koruyucu görevi görerek dişin canlılığını korur. İçeriğinde baz olarak silikat cam karışımı çimento, polietilen glikol dimetakrilat, BisGMA, baryum zirkonat; katalizör olarak baryum zirkonat, iterbiyum florür bulunmaktadır. Üretici firmaya göre; geleneksel kalsiyum silikat ürünlerinden farklı olarak elle karıştırılmaz, otomatik karıştırma şırıngasından kolay bir şekilde kavite içine yerleştirilir ve hızlı sertleşme süresi ile verimli bir kaide ajanıdır (Elbanna ve ark., 2022). Dual-cure yeteneği sayesinde restoratif materyalin hemen yerleştirilmesine izin verir. Dual-cure sertleşme mekanizmasının amacı, ışık kaynağı yokluğunda tam sertleşme elde edebilmek için kimyasal polimerizasyon ve

fotopolimerizasyonu birleştirmektedir. TheraCal LC'nin uygulama miktarı 1 mm ile sınırlı iken, TheraCal PT dual-cure olduğundan güvenle daha fazla miktarda yerleştirilebilir (Küden ve ark., 2022).

Kimyasal formülasyonunda; Ca^{2+} salımını kolaylaştıran, hidrofilik bir matris içinde bulunan sentetik portland siman kalsiyum silikat parçacıklarından oluşur. TheraCal PT'nin Ca^{2+} salma özelliği ve alkali bir pH oluşturma yeteneği, derin kavite preparasyonlarında kullanılmasına izin verir. TheraCal PT, amputasyon tedavileri dışında aynı zamanda direkt pulpa kuafajı kaide ajanı olarak ve/veya pulpa perforasyonu olmayan vakalarda yapılan indirekt pulpa kuafajında koruyucu bir tabaka olarak da kullanılmaktadır (Wassel ve ark., 2023). Üretici firma tarafından çalışma üresi 35°C'de 45 saniye (minimum) ve sertleşme süresi 35°C'de 5 dakika (maksimum) olarak belirtilmiştir. Fiziksel özellikleri kırılmalara ve sızdırmalara karşı dayanıklıdır. Suda düşük çözünürlük gösterir ve neme dayanıklıdır. TheraCal PT radyoopaklığı sayesinde sekonder çürüklerden ve diğer restoratif materyallerden kolayca ayırt edilebilir (Elbanna ve ark., 2022).

TheraCal PT'nin biyolojik özelliklerini ve mineralizasyon potansiyelini dental pulpa kök hücreleri (hDPSC) üzerinde in vitro olarak TheraCal LC ve Biodentin ile karşılaştıran bir çalışmada (Sanz ve ark., 2021); TheraCal LC'nin test edilen tüm dilüsyonlarında önemli ölçüde daha yüksek bir sitotoksosite ve daha düşük migrasyon oranları sergilediği görülmüştür. Hem TheraCal PT hem de Biodentine ile işlenmiş olan kök hücrelerinde; kontrol grubununkine benzer seviyelerde sitouyumluluk ve önemli ölçüde mineralize yapı oluşumu görülmüştür. TheraCal LC ile karşılaştırıldığında kök hücreler üzerinde sitouyumluluk ve mineralizasyon potansiyeli olan TheraCal PT'nin Biodentine ile karşılaştırılabilir biyolojik özellikler sunduğu belirtilmiştir. Bakteriyel enfeksiyon, hipoksi veya düşük besin kaynağı ortamında dental kök hücreleri aşırı düzeyde hücre içi reaktif oksijen türleri üretir ve bu da oksidatif strese neden olur. Aşırı reaktif oksijen türleri, diğerlerinin yanı sıra hücrel DNA'nın, proteinlerin, lipidlerin ve zarların oksidasyonuna yol açabilir ve sonuç olarak hücrelerin mimarisini ve bütünlüğünü değiştirebilir (Zhang ve ark., 2021). Bu nedenle,

Biodentin ve TheraCal PT ile tedavi edilen gruplar tarafından üretilen yeterli reaktif oksijen türü seviyeleri bu kaide ajanlarının uygun bir stres yanıtına sahip dental pulpa kök hücrelerinin (hDPSCs) rejeneratif potansiyelinden yararlanıldığı vital pulpa tedavileri prosedürlerinde kullanımlarını daha da destekler (Sanz ve ark., 2021).

Farklı sertleşme mekanizmalarına sahip KSS'lerin in vitro biyoaktivitesini değerlendiren bir çalışmada (Elbanna ve ark., 2022); TheraCal LC (ışıkla sertleşme), Biodentine (hidrasyon yoluyla kimyasal sertleşme) ve TheraCal PT (dual-cure; hem kimyasal hem de ışıkla sertleşme) karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre Biodentine, en yüksek Ca^{2+} salımı gösterirken hem TheraCal PT hem de TheraCal LC, aralarında anlamlı bir fark olmaksızın daha az Ca^{2+} salımı göstermiştir. Bu bulgular, rezin ile modifiye edilmiş hidrolik KSS'lerin Biodentine ile karşılaştırıldığında sınırlı biyoaktivite ve düşük Ca^{2+} salımı gösterdiğini belirten önceki çalışmalarla tutarlıdır (Camilleri ve ark., 2014; Cervino ve ark., 2020; Gandolfi ve ark., 2015; Koutroulis ve ark., 2019; Pedano ve ark., 2020). Biodentine ve TheraCal LC arasındaki bileşimsel farklılıklar, bu sonuçları açıklayabilir. Biodentine tozu esas olarak trikalsiyum silikattan (%80,1) oluşurken, sıvısı su azaltıcı bir madde olarak işlev gören bir kalsiyum klorür hızlandırıcısı içerir. Ca^{2+} kaynakları bu nedenle Biodentine bileşiminde bol miktarda bulunmaktadır (Camilleri, 2014b; Kaur ve ark., 2017). TheraCal LC'nin bileşiminde ise esas olarak polietilen glikol dimetakrilattan oluşan bir rezin matrisi (%10-%30) ve Ca^{2+} kaynağı olarak bileşimin %50'sini geçmeyen Tip III portland çimentosu bulunmaktadır. Bu nedenle Biodentine'ne göre daha az Ca^{2+} bulunmaktadır. Benzer şekilde, polietilen glikol dimetakrilat (%10-%30) ve Bis-GMA (%5-%10) rezin matrisinden oluşan rezin modifiye KSS olan TheraCal PT için de aynı durum geçerlidir (Elbanna ve ark., 2022). Biodentine'de görülen daha yüksek Ca^{2+} salımının bir başka nedeni gözenekli aşırı hidrofilik yapısıdır (Camilleri, 2014b; Camilleri ve ark., 2014). Bunun tersine, TheraCal LC ve TheraCal PT'nin rezin yapısı, bu tür bir hidrasyon reaksiyonunun meydana gelmesine izin verecek kadar gözenekli değildir. Esas olarak, reaksiyonları hidrofobik rezin matrisi içindeki su emilimi ve difüzyonuna dayanır. TheraCal LC ve TheraCal PT'nin yetersiz hidrasyon reaksiyonlarının, yetersiz Ca^{2+} salımına neden olan sertleşmiş rezin materyalindeki

nem difüzyonundan kaynaklandığı kabul edilmektedir (Arandi ve ark., 2018; Camilleri, 2014b).

Bu bilgiler ışığında; literatürde Theracal PT ile ilgili henüz yeterli araştırma olmadığı ve bu ajanın genç sürekli dişlerde uygulanacak vital endodontik tedavilerde klinik rutine girmesi için daha çok in vivo ve in vitro araştırmaya ihtiyaç olduğu açıktır.

1.7. Mikrosızıntı

Mikrosızıntı; bakterilerin, oral sıvıların, iyonların ve moleküllerin diş ve dolgu malzemesi arayüzüne difüzyonu olarak tanımlanır. Birçok çalışma, diş dolgu malzemelerinin sabit, inert ve geçilmez sınırlar değil; yoğun bakteri, iyon ve molekül trafiğini içeren dinamik mikro yarıklar olduğunu vurgulamaktadır (Kidd, 1976; Mulyar ve ark., 2014). İdeal bir restoratif materyalin gerekliliklerinden biri kavite duvarlarına iyi bir şekilde uyum sağlamasıdır. Kavite duvarı ile restoratif materyal arasında bırakılan boşluk, restoratif tedavinin prognozunda önemli rol oynar (Kumar ve ark., 2004). Geçmişte dental prosedürlere karşı oluşan pulpal reaksiyonların ısı, vibrasyon gibi mekanik irritasyonlara ya da restoratif materyaller ile bileşenlerinden kaynaklanan kimyasal irritasyonlara karşı olduğu düşünülmekteydi ancak yapılan bir çok araştırmaya göre, bakteriyel sızıntının pulpa için restoratif materyalin toksisitesinden daha büyük bir tehdit olduğu görülmektedir (Kumar ve ark., 2004).

Klinik olarak mikrosızıntı; restorasyonların kenarlarında renklenmeye, postoperatif hassasiyete, sekonder çürüklere, restorasyon başarısızlığına, pulpa patolojisine veya pulpa nekrozuna, restorasyonun kısmen veya tamamen kaybına neden olabilir (Eick ve ark., 1986; Krejci ve ark., 1991). Arayüzde meydana gelen renklenme; bozulmaya, zayıf estetiğe, sekonder çürüklere, aynı zamanda çiğneme

sırasında veya termal uyarılara maruz kalındığında hassasiyete neden olabilir. Sonuç olarak restorasyonun değiştirilmesi gerekmektedir. (Moreira Júnior ve ark., 1999).

Dişin herhangi bir yüzeyinde tutunan plak, sekonder çürüklerin meydana gelmesi için olası bir bölgedir (Cagidiaco ve ark., 1996). Oral bakteriler ağız ortamından, diş yüzeyinden veya smear tabakasından kısa sürede restorasyonun etrafındaki yarıklarda çoğalabilmektedir. Bu durumda bakteriler ve toksik ürünleri dentin tübüllerinden yayılarak pulpa iltihabına neden olmaktadır (Eriksen ve ark., 1976). Arayüz boyunca sıvılar, hibrit tabaka içindeki adeziv rezin ve kollajenin hidrolitik parçalanmasına neden olabilir ve böylece rezin dentin adeziv arayüzünün stabilitesini tehlikeye atar (Finger ve ark., 1994).

Mikrosızıntı; restoratif materyallerin zayıf adaptasyonu, materyalin polimerizasyon büzülmesi nedeniyle meydana gelen boyutsal değişiklikler, termal büzülme, su emilimi, mekanik stres, restoratif materyalin oklüzal kuvvetler nedeniyle elastik deformasyona uğraması, diş yapısındaki boyutsal değişiklikler ve restorasyonun yapımında hekime bağlı olan iyatrojenik hatalar gibi çeşitli faktörlerle ilişkilidir (Altun, 2004; Fabianelli ve ark., 2007; Hakimeh ve ark., 2000; Staninec ve ark., 1986). Bir kompozit rezinin polimerizasyon büzülmesi, kavite duvarlarına olan bağı bozabilen, marjinal bozulmaya ve mikrosızıntıya yol açabilecek büzülme kuvvetleri yaratabilir. Modern kompozit rezinler, %2,6 ila %4,8 arasında değişen hacimsel büzülmeye uğrarlar (Lösche, 1999). Modern dentin bağlayıcı ajanlar, polimerizasyon stresini (13-17 MPa) aşan 20 MPa'dan daha yüksek dentine bağlanma kuvvetleri sergilese bile, toplam büzülme kuvveti adeziv gücünden daha yüksek olabilir ve bu da açık marjnlere sebep olur (Eick ve ark., 1997). Ek olarak, dentin tübüllerinin oryantasyonu, hibridizasyonun kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir ve derin interproksimal kavitelere yerleştirilen rezin esaslı restorasyonlarda sızıntıyı kolaylaştırabilir (Schüpbach ve ark., 1997). Ayrıca, asitlenmiş mineye bağlanan kompozit rezinin polimerizasyonundan hemen sonra restorasyonların kenarları

boyunca mine mikro kırıklarının meydana gelebileceği ve bu alanlarda mikro sızıntıya yol açabileceği de bildirilmiştir (Han ve ark., 1992).

Mikrosızıntıya neden olan bir diğer faktör, termal genleşme katsayısıdır (Yazici ve ark., 2003). Kompozit rezinlerin termal genleşme katsayısı (25 ila 60 ppm°C-1), mine (11,4 ppm°C-1) ve dentininkinden (8 ppm°C-1) birkaç kat daha büyüktür. Bu fiziksel özelliğin rezin esaslı restorasyonlardaki mikrosızıntıdan sorumlu olduğu bildirilmektedir (Feilzer ve ark., 1988).

Bakteriyel kontaminasyon, vital pulpa tedavilerinin prognozunu belirleyen ana faktördür. Pulpanın bakteriyel kontaminasyonu çürük veya tükürük kontaminasyonuna maruz kalma nedeniyle meydana gelebilir (Ward, 2002). Çürüğün temizlenmesini ve pulpanın aseptik olarak çıkarılmasını takiben, diş restorasyonu ara yüzeyindeki mikrosızıntı yoluyla pulpanın bakteriyel kontaminasyonunu kontrol etmek önemlidir. Vital pulpa tedavileri, dişe yapılacak olan daimi restoratif materyal için tutucu bir boşluk oluşturarak pulpa sızdırmazlığını güçlendirmektedir (Mass ve ark., 1993). Bonding sistemlerinin ve kompozit rezinlerin sızdırmazlık yeteneği son on yılda büyük ölçüde geliştirilmiş olmasına rağmen, restorasyon çevresinde bakteri mikrosızıntısını önlemede bonding sistemlerinin dayanıklılığı ve etkinliği hakkında hala net bir kanıt yoktur (El-Housseiny ve ark., 2002; Perdigão ve ark., 2019). Bu nedenle, restorasyonun potansiyel marjinal sızıntısını önlemek adına, pulpayı korumak için kullanılan kaide materyallerinin gelişmiş bir sızdırmazlığa sahip olması zorunludur (Farsi ve ark., 2006).

Mikrosızıntı ölçme yöntemleri, geçmiş yıllar boyunca birçok şekilde uygulanmış ve geliştirilmiştir. Bu yöntemler şöyle sıralanmaktadır (Alani ve ark., 1997; Veríssimo ve ark., 2006);

1) Hava Basıncı Yöntemi

- 2) Sıvı Filtrasyon Yöntemi
- 3) Elektrokimyasal Yöntem
- 4) Penetrasyon Yöntemi
 - a. Nötron Aktivasyon Yöntemi
 - b. Radyoizotop Yöntemi
 - c. Bakteriyel Sızıntı Yöntemi
 - d. Boya Penetrasyon Yöntemi
 - e. Kimyasal İzleyiciler
 - f. Kimyasal Difüzyon Tekniği
- 5) Yapay Çürükler
- 6) Boya Çıkarma / Çözme Yöntemi
- 7) Metal Çözelti İzleyicileri
- 8) Ters Difüzyon Yöntemi
- 9) Üç Boyutlu Yöntem
- 10) Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)
- 11) Mikro Bilgisayarlı Tomografi ile radyoopak boyar maddelerin kullanımı

1.7.1. Boya Penetrasyon Yöntemi

Boya penetrasyon yöntemi ilk kez Grossman (1939) tarafından bildirilmiştir. Mikrosızıntıyı göstermek için renkli organik boyaların kullanımı, ucuz ve kolay olması nedeniyle günümüzde mevcut olan teknikler arasında en popüler durumdadır (Camps ve ark., 2003; Dandakis ve ark., 2005; Karadağ, 2005; Tamse ve ark., 1998). Bu yöntem, kimyasal reaksiyonlara ya da potansiyel olarak tehlikeli radyasyona maruz kalmadan hem dişe hem de restorasyona zıt renklerde sızıntıyı gösteren bölümler elde edilmesini sağlar. Ancak, son derece duyarlı bir tekniktir ve sonuçların değerlendirilmesi için dikkatli bir standardizasyon gerektirir. Hatalı yorumlara neden olmamak için bu yöntemin kullanıldığı çalışmalarda birden fazla araştırmacı tarafından değerlendirilme yapılması gerektiği belirtilmektedir (Taylor ve ark., 1992).

Genel olarak teknik; çekilmiş ve restore edilmiş bir dişin apeksinin tıkanarak restorasyon dışında kalan tüm yüzeyinin cila veya mum ile kaplanmasından sonra belirlenen süre boyunca bir boya çözeltisine yerleştirilmesini içerir. Bunu, numunenin yıkanması, kesitlere ayrılması ve diş/restorasyon arayüzü etrafındaki sızıntı boyutunu belirlemek için genellikle büyütme altında incelenmesi takip eder (Taylor ve ark., 1992).

Boya penetrasyon yönteminde %20'lik floresan, %0.01'lik akridin turuncusu, %0.25'lik toluidin mavisi, %2 eritrosin, %0.05 kristal violet, %0.5-%2 bazik fuksin, %50 gümüş nitrat, %2 anilin mavisi, %0.2-%2 veya %10'luk metilen mavisi, %5'lik eosin gibi çeşitli boya solüsyonları ve farklı boyutlarda partiküller içeren süspansiyonlar kullanılmaktadır. Partikül molekül boyutu, pH ve kimyasal reaktivitenin penetrasyon derecesini etkilemesi beklenmektedir (Ahlberg ve ark., 1995). Kullanılan boyalar arasında en çok tercih edileni %2'lik metilen mavisidir (Loguercio ve ark., 2004; Mahrous ve ark., 2015; Piva ve ark., 2002; Williams ve ark., 2002). Metilen mavisi ucuz bir boyadır, manipülasyonu kolaydır, yüksek derecede boyama özelliğine ve bakteriyel toksinlerden bile daha düşük bir moleküler ağırlığa sahiptir (Verissimo ve ark., 2006).

Boya penetrasyon çalışmalarıyla ilgili en önemli durumlardan biri, kök kanal dolgusu boyunca boşluklarda hapsolmuş havanın sıvı hareketini engelleyebilmesidir. Boya penetrasyonunun, düşük basınç altında yapılması önerilmiştir (Wu ve ark., 1994). Ancak, prensipte bakteriler için geçirgen olan 2 µm çapındaki boşluklar gibi küçük boşluklara düşük basınç uygulayarak sıkışan havayı çıkarmak çok daha zordur (Wu ve ark., 1994). Kontakiotis ve ark. (2001), çalışma yaptıkları bir gruptaki boşluklardan suyu uzaklaştırmak için taşıma havasının uygulandığı bir sıvı taşıma modeli ve boya penetrasyonu yoluyla hidrasyonun kök dolguları boyunca boşluklar üzerindeki etkisini araştırmış ve metilen mavisinin kuru boşluklara su dolu boşluklardan daha kolay nüfuz ettiğini bulmuşlardır. Metilen mavisi hava dolu boşluklardan kapiller hareketle geçerken, su dolu boşluklardan difüzyonla geçmektedir.

Boya penetrasyon yönteminin başlıca dezavantajları, genellikle sızıntı derecelerinin sayısal bir puanlama sistemi ile ilişkilendirilmesi ve bu değerlendirmenin, genellikle birden fazla gözlemci tarafından yapılmasına rağmen, bir şekilde öznel olmasıdır; ayrıca restorasyonun bir bütün olarak değerlendirilmesi dışın sadece küçük bölümlerini görüntülerken zordur. Çoğu çalışmada, kullanılan örneğin orta noktasından tek bir kesit alınmaktadır, ancak bunun restorasyonun geriye kalan kenarlarının gerçek durumunu yansıtacağına dair çok az kanıt bulunmaktadır (Taylor ve ark., 1992).

1.7.1.1. Gümüş Nitrat Kullanımı

Literatürde bahsedilen boyaların çeşitliliğine rağmen, birçok yazar mikrosızıntı analizlerinde sıklıkta %50'lik gümüş nitrat gibi kimyasal izleyiciler kullanmaktadır (Bauer ve ark., 2005; Costa ve ark., 2011; Heintze ve ark., 2008; Kaur ve ark., 2015; Li ve ark., 2003; Pintado ve ark., 1988). Örneklerdeki gümüş miktarı ve dağılımı, materyal/dış ara yüzeyindeki hasarın boyutunu göstermektedir (Celiberti ve ark., 2005; Gwinnett ve ark., 1995; Youngson ve ark., 1998). Gümüş iyonunun çapı bir bakterinin ortalama boyutuyla (0,5-1,0 μm) karşılaştırıldığında çok küçüktür (0,059 nm) (Hammesfahr ve ark., 1987). Gümüş nitrat radyopak bir ajan olduğundan sızıntının değerlendirilmesi için mikro bilgisayarlı tomografi cihazı ile kullanılır. Bu şekilde birlikte kullanımın güvenilir bir yöntem olduğu, objektif ölçüm sağladığı ve kantitatif veriler elde edilmesini sağladığı bildirilmiştir (Ashy ve ark., 2022; Bilgili Can ve ark., 2023; Rizzante ve ark., 2020).

1.7.2. Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Mikro-BT) Yöntemi

Dijital görüntüleme sistemlerindeki gelişmelerle birlikte mikro bilgisayarlı tomografinin (Mikro-BT) başta diş hekimliği olmak üzere birçok alanda kullanımı artmaktadır. Bu yöntem, incelenen örneklerle zarar vermeden, güvenli ve yüksek kaliteli sonuçlar sağlayan 3 boyutlu görüntülerin alınmasına olanak tanıdığı için

sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntem sayesinde özellikle endodontik çalışmalarda hızlı bir şekilde ilerleme kaydedilerek, çeşitli tekniklerin araştırılması ve kolayca karşılaştırılması mümkün hale gelmiştir (Erpaçal ve ark., 2019).

Wilhelm Roentgen'in 1895 yılında x-ışınlarını icat etmesiyle birlikte, vücut iç yapılarının invaziv olmayan yöntemlerle görüntülenmesine olanak sağlayan teknoloji, tıbbi tıpta bir devrime yol açmıştır (Swain ve ark., 2009). Mikro BT 1980'li yıllarda Jim Elliott tarafından geliştirilmiş ve 1999 yılında deneysel endodontik çalışmalarda örneklerden kesitler elde etmek için kullanılmaya başlanmıştır (Topuz ve ark., 2014).

Bilgisayarlı tomografi (BT) vücudun görüntülerini 1-2 mm kalınlığında dilimler şeklinde alır. Örnekten daha fazla kesit alındığında yani kesit kalınlığı azaldıkça görüntü çözünürlüğü artar. Böylece numune hakkında daha fazla bilgi elde edilir. Bu cihazlarda örnekten elde edilen kesitler 5-50 µm kalınlığındadır (Topuz ve ark., 2014). Mikro-BT'lerin voksel aralığı, normal tomografideki aralığa kıyasla hacimsel olarak yaklaşık 1 milyon kat daha küçüktür. Küçük voksel aralığı çok iyi kesitsel çözünürlük sağlarken, daha detaylı inceleme imkanı da sunmaktadır (Yakıncı ve ark., 2016). BT ve Mikro-BT arasındaki iki temel farktan biri, BT'de 1 mm ve Mikro-BT'de 5-10 µm olan ışık kaynağının boyutudur. Daha küçük ışık kaynağı daha keskin bir görüntü sağlamaktadır. İkinci fark ise BT'de ışık kaynağı görüntüyü oluşturmak için hastanın etrafında dönerken, Mikro-BT'de nesnenin kendi etrafında dönmesidir. Işık kaynağı sabit olduğunda mekanik titreşim azalır ve görüntünün çözünürlüğü artar (Keleş ve ark., 2015). Mikro-BT'nin en önemli avantajı, yüksek çözünürlüğe sahip 3 boyutlu görüntüleme teknolojisi sayesinde örneklerin bozulma olmadan tekrar tekrar incelenebilmesidir (Kurt ve ark., 2014).

Mikro-BT hem mineralize sert dokuların hem de yumuşak doku ve materyallerin görüntülenmesine olanak sağlar (Topuz ve ark., 2014; Yakıncı ve ark., 2016). Hayvanlar üzerinde yapılan in vivo çalışmalar, mikro-BT görüntülemenin histolojik yöntemlerle karşılaştırılabilir sonuçlar üreten hızlı, tekrarlanabilir ve

noninvaziv bir yöntem olduğunu göstermiştir (Grande ve ark., 2012). Mikro-BT diş hekimliğinde; dişlerin apeks bölgesindeki bakteriyel enfeksiyona bağlı olarak kemik yapısındaki değişiklikleri, enflamatuvar kök rezorbsiyonunu, implantların ve çevresindeki kemiği, kraniyofasiyal kemiklerin büyüme ve gelişiminin analizleri ve diş-restorasyon arayüzlerini araştıran çalışmalar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Campioni ve ark., 2020; El Ashiry ve ark., 2019; Erpaçal ve ark., 2019).

Mikro-BT son zamanlarda mikrosızıntıyı ve restorasyonların iç ve dış adaptasyonunu değerlendirmek için kullanılmaktadır. Mikro-BT, X-ışınlarının numuneye nüfuz etme kapasitesi nedeniyle numuneleri kesmeden doğru bir analiz yapılmasına olanak tanımaktadır. Numunenin şekli veya boyutları ne olursa olsun, mikro-BT iç yönlerin öngörülebilir ve güvenilir bir şekilde incelenmesini mümkün kılmaktadır (Rizzante ve ark., 2020; Zavattini ve ark., 2018).

Mikro-BT klinik kullanım için uygun olmasa da, son on yılda deneysel ve klinik öncesi araştırmalar için güçlü bir araç haline gelmiştir, çünkü dişlerin ve diş materyallerinin kalitatif ve kantitatif değerlendirmesi için non-invaziv, tekrarlanabilir ve doğru bir tekniktir (Ghavami-Lahiji ve ark., 2021).

Mikro-BT; tedavi yöntemlerini takiben remineralizasyon potansiyeli (Bächli ve ark., 2019; Bagheri ve ark., 2015; Hamba ve ark., 2012), oklüzal ve proksimal çürük tespiti (Lederer ve ark., 2019; Özkan ve ark., 2015), diş yapısının mineral yoğunluğunun (Djomehri ve ark., 2015; Hayashi-Sakai ve ark., 2019), kalınlığının değerlendirilmesi (Majkut ve ark., 2015; Nakamura ve ark., 2016), biyofilm oluşumu (Pires ve ark., 2018), polimerizasyon büzülmesi ve stresi (Chiang ve ark., 2010; Cho ve ark., 2011), marjinal ve internal adaptasyon (Oglakci ve ark., 2020), mikrosızıntının değerlendirilmesi (Al Tuwirqi ve ark., 2019; Jacker-Guhr ve ark., 2016; Öztürk ve ark., 2016; Rizzante ve ark., 2020; Tosco ve ark., 2020; Vohra ve ark., 2020; Zavattini ve ark., 2018; Zhao ve ark., 2014), kök kanal morfolojisinin analizi (Acar ve ark., 2015; Grande ve ark., 2012), çatlakların değerlendirilmesi (Chen ve ark., 2012; Wang

ve ark., 2017), kök kanal preparasyonunun değerlendirilmesi (Tufenkci ve ark., 2020), kök kanal temizliğinin değerlendirilmesi (Robinson ve ark., 2012), kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi (Kim ve ark., 2020; Torres ve ark., 2020) gibi diş hekimliğinde birçok çalışmada kullanılmıştır.

Mikro-BT'nin dezavantajları; yöntemde tarama ve yeniden yapılandırma işlemlerinin nispeten uzun zaman alması ve bilgisayar uzmanlığı gerektirmesidir. Diğer yöntemlere kıyasla pahalı bir yöntemdir. Ayrıca yüksek radyasyon dozları mikro-BT'nin klinik ortamlarda kullanımını engellemektedir (Mirfendereski ve ark., 2012).

1.8. Amaç

Günümüz diş hekimliğinde; çürük, travmatik yaralanma veya konjenital anomaliler gibi sebeplerden etkilenmiş olan dişlerde öncelikle pulpanın canlılığını devam ettirmek hedeflenmektedir. Özellikle olgunlaşmamış genç daimi dişlerde apeksogenezinin devam etmesi için pulpa gereklidir. Parsiyel amputasyon (Cvek amputasyonu), geriye kalan koronal ve radiküler pulpa dokularını korumak amacıyla koronal pulpanın etkilenmiş kısmının çıkarılması olarak tanımlanır. Geçmişte sadece travma sonrası pulpa açılımı olan keser dişlere uygulanan bir tedavi yöntemi iken, son dönem klinik çalışmalar çürük temizleme sırasında da perforasyon gelişen daimi dişlerde kalıcı bir tedavi yöntemi olarak kullanılabileceğini doğrulamaktadır. Parsiyel amputasyon tedavisinin başarısı; perforasyon boyutuna ve uygulanan ajanın biyouyumluluk ve sızdırmazlık özelliklerine bağlıdır. Bu tedavinin uygulanabilmesi için pulpa açılımının 2-4 mm arasında olması gerekmektedir. Sürekli dişlerde, en güncel olarak kullanılan amputasyon kaide materyalleri; KH ve kalsiyum silikat içerikli preparatlardır. KH'nin sızdırmazlık özelliği yeterli olmazken, kalsiyum silikat içerikli ajanlar ise 15 dakika- 4 saat arasında değişen sertleşme süreleri ile manipülasyon zorluğu gibi özellikleri sebebiyle çocuk hastalarda klinik kullanımı zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerle, ideal kaide ajanı arayışları devam etmektedir.

TheraCal PT (Bisco, Schamburg, IL, ABD); parsiyel ya da total amputasyon tedavilerinde kullanılmak üzere güncel olarak üretilen biyouyumlu hem kimyasal hem de ışııkla sertleşen (dual-cure) rezin modifiye kalsiyum silikat ajandır. Dual-cure yeteneği sayesinde restoratif materyalin hemen yerleştirilmesine izin vermektedir. Ancak bu materyalin başarısını inceleyen sınırlı sayıda çalışma vardır. Vital endodontik tedavilerin başarısını önemli oranda etkileyen sızdırmazlık ile ilgili literatürde sadece tek bir çalışma bulunmaktadır (Yavuz ve ark., 2022).

Bu bilgilerin ışıkında; bu tez çalışmasında, geleneksel olarak kullanılan bir kaide ajanı olan ProRoot MTA ve TheraCal PT'yi farklı boyutlardaki perforasyonlarda (2 mm ve 4 mm) uygulanan parsiyel amputasyon sonrasında meydana gelen mikrosızıntı miktarı açısından yüksek znrlkl Mikro-BT sistemi ile in-vitro koşullarda karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amaçlanmıştır. Araştırmanın birincil H₀ hipotezi; iki kaide ajanı arasında mikrosızıntı açısından anlamlı bir fark olmayacağı yönünde kurulmuştur. Bu çalışmanın ikincil H₀ hipotezi ise, farklı perforasyon boyutlarında uygulanan parsiyel amputasyon tedavilerinde kullanılan malzemeden bağımsız olarak mikrosızıntı değerleri arasında fark olmayacağıdır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırma iki ana grup ve üç alt grup olmak üzere toplam 6 grupta olacak şekilde planlanmıştır. Örneklem büyüklüğü seçimi için etki büyüklüğü (0.4) ile $\alpha=0,05$ ve $\beta=0,80$ alınarak Gpower 3.1 istatistiksel analiz programı ile hesaplama yapılmış olup her bir grup için 15 adet olmak üzere toplam 90 adet örnek kullanılması yeterli görülmüştür. Çalışmaya, klinik ve radyografik muayene sonucunda çekim endikasyonu konulmuş olan gömülü daimi 3.molar dişler dahil edilmiştir.

2.1. Etik Kurul Onayı

Araştırma için etik kurul onayı, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı'ndan alınmıştır (36290600/61 sayılı, 18.07.2022 tarihli) (Ek 1). Her hastadan bilgilendirilmiş gönüllü onam formu alınmıştır (Ek 2).

2. 2. Proje Desteği

Araştırma, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü tarafından TDH-2023-2785 numaralı proje ile desteklenmiştir.

2. 3. Örneklerin Toplanması ve Saklanması

Çalışmada kullanılan çekilmiş 90 adet üçüncü büyük azı dişi Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş Çene Hastalıkları Cerrahisi Anabilim Dalı kliniğinden toplanmıştır. Çekilmiş gömülü üçüncü molar dişler (Şekil 2.1.) stereomikroskop (Leica Microsystems GmbH, Leica MZ21, Wetzlar, Almanya) ile x10 büyütmede incelenerek defekt, hipoplazi veya çatlakları olmayanlar çalışmaya dahil edilmiştir. Dişler, cildi ve gözleri korumak için eldiven ve gözlük takılarak akan

su altında fırçalanmış, üzerlerinde kalan yumuşak doku artıkları uzaklaştırılıp deney zamanına kadar en fazla 6 ay süresince, dentin geçirgenliğini koruyabilmek için %0,9 salin solüsyonunda cam kavanoz içinde bekletilmiştir.



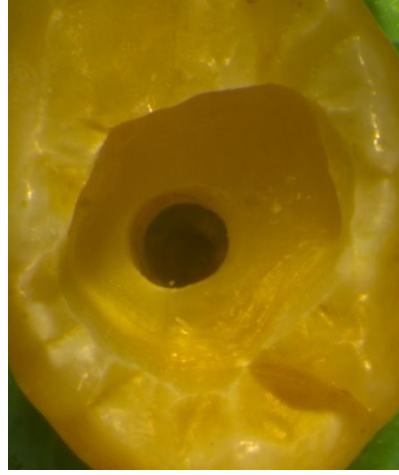
Şekil 2.1. Çalışmamızda kullanılan üçüncü büyük azı dişlerine ait örnekler.

2.4. Çalışma Gruplarının Belirlenmesi

Çalışmada genç sürekli dişlerde parsiyel amputasyon tedavisini simüle etmek için toplanan dişler; iki ana grup ve üç alt grup olmak üzere rastgele 6 gruba (n=15) ayrılmıştır.

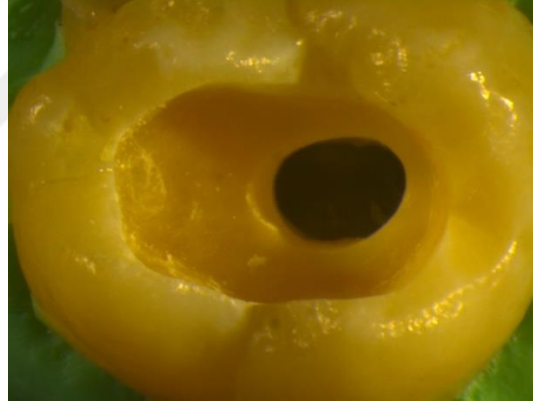
Mikrosızıntı değerlendirmesi için oluşturulan ana gruplar:

Birinci grup: Pulpada meydana gelen perforasyon genişliği 2 mm olan dişler (n=45) (Şekil 2.2.)



Şekil 2.2. Perforasyon genişliği 2 mm olan diş örneğinin ışık mikroskobu altında alınan görüntüsü.

İkinci grup: Pulpada meydana gelen perforasyon genişliği 4 mm olan dişler (n=45)
(Şekil 2.3.)



Şekil 2.3. Perforasyon genişliği 4 mm olan diş örneğinin ışık mikroskobu altında alınan görüntüsü.

Ana gruptaki dişler her birinde 15 diş olacak şekilde rasgele dağıtılmıştır.

Mikrosızıntı Değerlendirmesi için oluşturulan alt gruplar:

Grup A: ProRoot MTA (Şekil 2.4.) uygulanan dişler (n=15)



Şekil 2.4. ProRoot MTA (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, ABD).

Grup B: TheraCal PT (Şekil 2.5.) uygulanan dişler (n=15)



Şekil 2.5. TheraCal PT (Bisco, Schamburg, IL, ABD).

Grup C (Kontrol Grubu): Kalsiyum Silikat içerikli ajanlar yerleştirilmeden kavite içine daimi restorasyon yerleştirilen dişler (n=15)

2.5. Örneklerin Hazırlanması

Her dişte; oklüzal giriş kavitesi elde etmek amacıyla, elmas rond frez (001-014C, Romidan, Tel Aviv, İsrail) ile su soğutmalı yüksek devirli bir alet (aeratör) kullanılarak dişin mine yapıları temizlenip kavitenin dış formu belirlenmiştir. Ardından fissür frez (111-010C, Romidan, Tel Aviv, İsrail) yardımıyla pulpa odasının tavanında, 2 mm ya da 4 mm genişliğinde perforasyonlar oluşturulmuştur. Pulpa odasındaki derinlik ise frez boyunun yarısı olacak şekilde 2 mm olarak hazırlanmıştır.

Simüle perforasyonların oluşturulmasının ardından kalan pulpa dokusunu kontamine edebilecek dentin talaşlarının miktarını azaltmak için kavite serüm fizyolojik ile irrigé edilip steril pamuk peletler ile kurutulmuştur.

ProRoot MTA Uygulanması: Üretici firmanın önerilerine göre toz ve likit 1/3 oranında (Şekil 2.6.) karıştırılıp hazırlandıktan sonra perforasyon alanıyla çevre 1 mm dentini tamamen örtecek şekilde bir el aleti ile kaviteye yerleştirilip (Şekil 2.7.) nemli bir pamuk peletle 15 dakika boyunca ilk sertleşme reaksiyonu beklenmiştir. Ardından nemli bir pamuk pelet ve geçici restorasyon ile (Cavit-G, 3M ESPE; St. Paul, MN, USA) örtölüp, tam olarak sertleşmesi için 48 saat beklenmiştir. 48 saatin sonunda, geçici dolgu materyali uzaklaştırılıp ProRoot MTA'nın (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, ABD) üzerine pulpa tabanını örtecek şekilde 2 mm kalınlığında ışıkla sertleşen RMCİS (GC Fuji II LC® CAPSULE; Tokyo, Japonya) yerleştirilip (Şekil 2.12.) 20 saniye süre ile 1500 mW/cm² gücünde LED (Light Emitting Diode, Radii plus, SDI, Avustralya) ışık kaynağı kullanılarak polimerize edilmiştir. Dişlerden kontrol amaçlı alınan periapikal radyografi örnekleri Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.6. Üretici firmanın önerilerine göre 1/3 oranında hazırlanan ProRoot MTA'nın toz ve likiti.

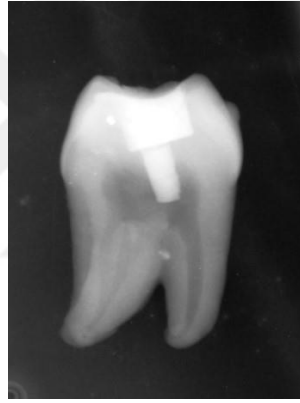


(a)



(b)

Şekil 2.7. (a) 2 mm (b) 4 mm perforasyon alanıyla çevre 1 mm dentini tamamen örtecek şekilde el aleti ile kaviteye yerleştirilen ProRoot MTA.



(a)



(b)

Şekil 2.8. (a) 2 mm ve (b) 4 mm ProRoot MTA gruplarından alınan radyograf örnekleri

TheraCal PT Uygulaması: TheraCal PT; otomatik karıştırma şırıngası ile perforasyon alanı ve çevre 1 mm dentini tamamen örtecek şekilde kaviteye yerleştirildikten (Şekil 2.9.) Sonra 20 saniye süre ile 1500 mW/cm² gücünde LED (Light Emitting Diode, Radii plus, SDI, Avustralya) ışık kaynağı kullanılarak polimerize edilmiştir. Ardından pulpa tabanını örtecek şekilde 2 mm kalınlığında ışıkla sertleşen RMCİS (GC Fuji II LC® CAPSULE; Tokyo, Japonya) yerleştirilip (Şekil 2.12.) 20 saniye süre ile 1500 mW/cm² gücünde LED (Light Emitting Diode, Radii plus, SDI, Avustralya) ışık kaynağı kullanılarak polimerize edilmiştir. Dişlerden kontrol amaçlı alınan periapikal radyografi örnekleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.9. (a) Perforasyon alanına TheraCal PT'nin yerleştirilmesi (b) 2 mm (c) 4 mm perforasyon alanıyla çevre 1 mm dentini tamamen örtecek şekilde yerleştirilen Theracal PT.



Şekil 2.10. (a) 2 mm ve (b) 4 mm TheraCal Pt gruplarından alınan radyograf örnekleri

Kontrol Grubunun Hazırlanması: Oluşturulan perforasyon alanları kalsiyum silikat içerikli ajanlar yerleştirilmeden kavite içine perforasyon alanını örtecek şekilde spongostan ile doldurulduktan sonra (Şekil 2.11.) ışıkla sertleşen rezin modifiye cam iyonomer siman (GC Fuji II LC® CAPSULE; Tokyo, Japonya) yerleştirilip (Şekil 2.12.) 20 saniye süre ile 1500 mW/cm² gücünde LED (Light Emitting Diode, Radian plus, SDI, Avustralya) ışık kaynağı kullanılarak polimerize edilmiştir.



Şekil 2.11. Perforasyon alanına spongostan yerleştirilmesi

Tüm dişlerin daimi restorasyonlarında, ilk olarak self-etch adeziv (Bondfix, Voco, Cuxhaven, Almanya) ince bir tabaka halinde 20 saniye boyunca tüm kaviteye sürüldükten sonra hafif hava spreysi ile 5-10 saniye kurutulup 20 saniye süre ile 1500 mW/cm² gücünde LED (Light Emitting Diode, Radian plus, SDI, Avustralya) ışık kaynağı kullanılarak polimerize edilmiştir. Ardından kaviteye A1 kompozit rezin (Polofil NHT, Voco, Cuxhaven, Almanya) inkremental teknik kullanılarak 1,5 mm'lik homojen boşluksuz tabakalar halinde yerleştirilip 20'şer saniye ışıklanarak polimerize edilmiştir (Şekil 2.13.).



Şekil 2.12. Rezin modifiye cam iyonomer simanın yerleştirilmesi



Şekil 2.13. Örneklerin kompozit rezin ile daimi restorasyonu

Örnekler polimerizasyon işleminin tamamlanması için 24 saat boyunca 37°C’de etüvde (Kottermann, Uetze-Hanigsen, Almanya) (Şekil 2.14.) bekletilmiştir.



Şekil 2.14. Etüv cihazı

Etüvden çıkarılan dişlere ağız ortamını taklit edebilmek amacıyla, 5- 55°C’de, banyoda kalma süresinin 25 saniye; banyolar arası geçiş süresinin ise 10 saniye olduğu, 1000 kez tekrarlanan 500’lük termal siklus ile yaşlandırma işlemi SD Mechatronik Thermocycler (SD Mechatronik GMBH, Felderkirchen-Westerham, Almanya) cihazı ile uygulanmıştır (Şekil 2.15.).

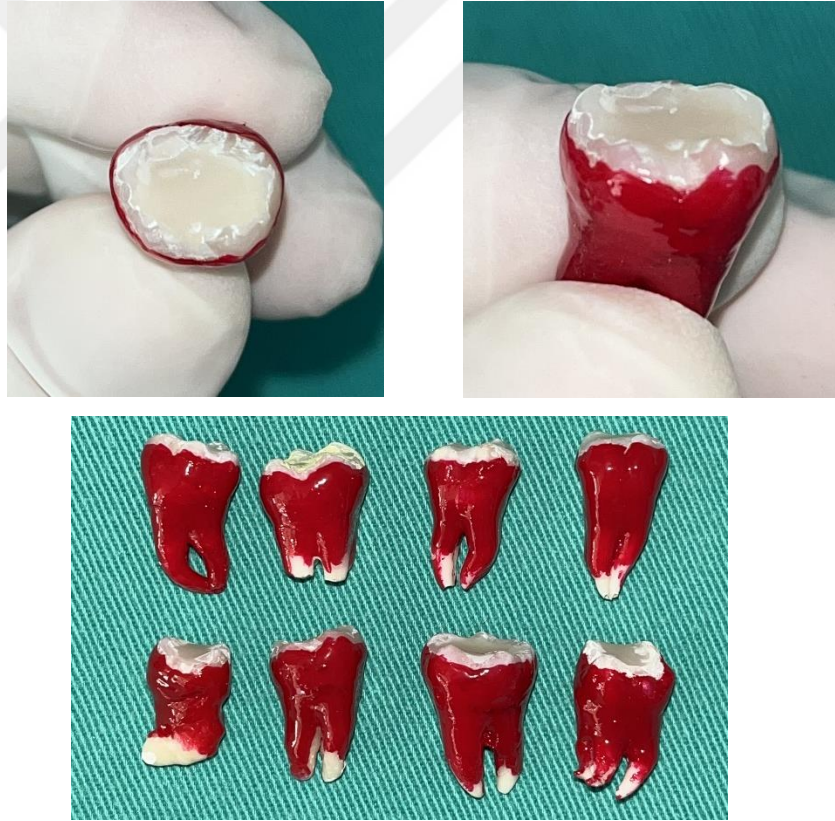


Şekil 2.15. Termal siklus cihazı

2.6. Mikrosızıntının Değerlendirilmesi

Her bir örneğe, iki tabaka tırnak cilası restorasyon kenarlarına 1 mm yaklaşacak şekilde tüm diş yüzeylerine uygulanmıştır (Şekil 2.16.). Tüm örnekler 15 saat süreyle karanlıkta %50'lik gümüş nitrat solüsyonunda bekletilip (Şekil 2.17.), ardından 2 dakika süresince akan su altında yıkandıktan sonra (Şekil 2.18.) fotoğraf geliştirici solüsyon içerisine batırılarak 3 saat ışık altında bekletilmiştir.

Yanlış pozitif boyanmaların önüne geçmek için örneklerin yalnızca koronal kısımları solüsyonlara batırılmıştır. Sonrasında örnekler diş fırçası ve su yardımıyla temizlenmiştir.



Şekil 2.16. İki tabaka tırnak cilasının restorasyon kenarlarına 1 mm yaklaşacak şekilde tüm diş yüzeylerine uygulanması.



Şekil 2.17. Örneklerin %50'lik gümüş nitrat solüsyonuna yerleştirilmesi



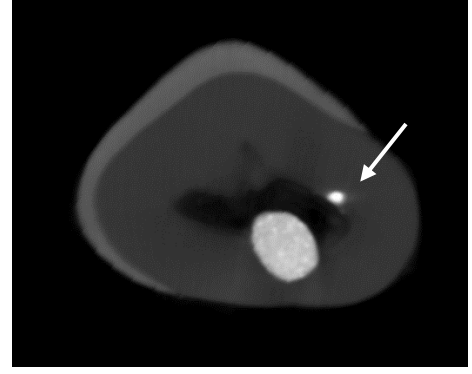
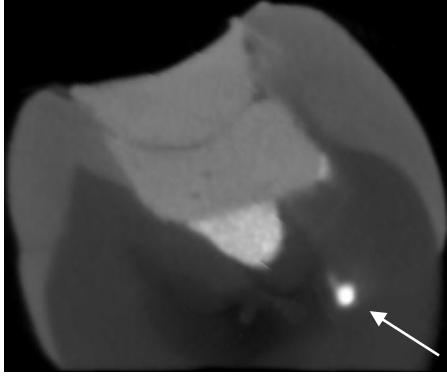
Şekil 2.18. Akan su altında diş fırçası yardımıyla, örneklerin yüzeylerindeki gümüş nitratin uzaklaştırılması.

Örneklerin taranması için yüksek çözünürlüklü bir masaüstü mikro-BT sistemi (Bruker Skyscan 1275, Kontich, Belçika) kullanılmıştır (Şekil 2.19.). Taramalar; 80 kilovoltaj pik (kVp), 125 miliamper/saniye (mA) ışın akımı, 1 mm Al filtre, 26.5 µm piksel büyüklüğü ve 0.2 adımda rotasyon uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ring artefaktını minimize etmek için her ışınlama öncesinde sensörün hava kalibrasyonu yapılmıştır. 360° yapılan ortalama tarama süresi yaklaşık 40 dakikadır. Işın sertleştirme düzeltilmesi (%38) ve örneklerin önceki taramasına ve yeniden yapılandırmasına dayalı olarak üreticinin talimatlarına göre optimum kontrast sınırları (0.0- 0.15) giderilmiştir (Gunal ve ark., 2021).

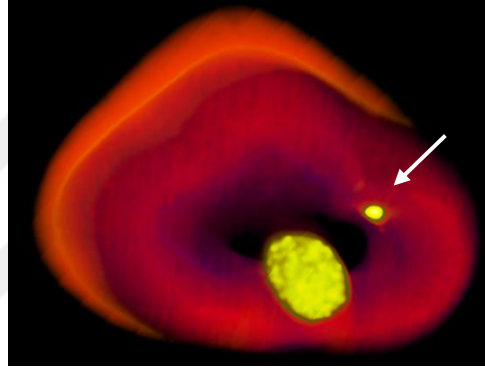
Örneklerin görüntülenmesi ve kantitatif ölçümleri için NRecon (ver. 1.7.4.6, SkyScan, Kontich, Belçika) ve CtAn (ver. 1.20.3.0, SkyScan) yazılımları kullanılmış ve görüntü parametreleri için halka artefaktı düzeltmesi ve yumuşatma sıfıra sabitlenmiş ve ışın artefaktı düzeltmesi %38 olarak ayarlanmıştır. Kontrast limitleri SkyScan'ın talimatlarına göre uygulanmıştır. NRecon yazılımı (Skyscan, Kontich, Belçika) kullanılarak, tarayıcı tarafından elde edilen görüntüler dışların 2 boyutlu dilimlerini gösterecek şekilde yeniden yapılandırılmıştır. Yapılandırma işleminde 1024 kesitsel görüntü yapılandırılmıştır. Hacimsel görselleştirme ve analiz için CTAn (Skyscan, Kontich, Belçika) yazılımı kullanılmıştır. Yeniden yapılandırılan görüntüler görselleştirme için Skyscan CTVox (ver. 3.3.1, SkyScan) yazılımında da işlenmiştir (Skyscan, Kontich, Belçika). Bu görüntüleri görüntülemek ve analiz etmek için CTAn (SkyScan) yazılımı kullanılmıştır. Restorasyonların pulpa odasındaki AgNO₃ penetrasyon hacminin hesaplanmasına olanak sağlamak için her kesit için tüm nesneyi içeren bir ilgi hacmi (VOI) seçilmiştir. Dentini restoratif materyalden ve nüfuz eden AgNO₃'ten ayırmak için gri tonlama eşikleri tanımlanmıştır (Şekil 2.20-2.21). Ardından gümüş penetrasyon hacmi otomatik olarak 3D analiz ile gerçekleştirmiştir. Sızıntı değerleri mm³ olarak elde edilmiştir (Gunal ve ark., 2021).



Şekil 2.19. Mikro-BT cihazı



Şekil 2. 20. Mikro-BT ile pulpa odasında radyoopak olarak görüntülenen gümüş nitrat penetrasyonu



Şekil 2. 21. Aynı dişe ait Mikro-BT ile pulpa odasında renklendirilmiş olarak görüntülenen gümüş nitrat penetrasyonu

2.7. Verilerin Değerlendirilmesi ve İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada elde edilen veriler SPSS 22 paket programı aracılığı ile analiz edilmiştir. İki ana grup ve 6 alt grup ile yürütülen bu çalışmada elde edilen verilerin normallik analizleri sonucunda normal dağılım gösteren değişkenler için Two Way Anova testi, normal dağılım göstermeyen değişkenler için ise parametrik olmayan yöntemlerden Kruskal-Wallis H testi tercih edilmiştir.

Normal dağılmayan, üç veya daha fazla gruplar arasındaki karşılaştırmalarda ise Kruskal Wallis H testi kullanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken

tanımlayıcı istatistiksel metodu (Ortalama, Medyan, Standart Sapma, Minimum-Maximum) kullanılmıştır.

Anlamlılık seviyesi olarak 0,05 kullanılmıştır. $p < 0,05$ olması durumunda anlamlı farklılığın olduğu, $p > 0,05$ olması durumunda ise anlamlı farklılığın olmadığı belirtilmiştir.



3. BULGULAR

3.1. Grupların Mikrosızıntı Değerlerinin Kendi İçinde Karşılaştırması

2 mm veya 4 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan çalışma ve kontrol gruplarındaki toplam 90 örneğin sızıntı değerleri, her bir diş için saptanan AgNO₃ hacmi, kavite hacmine bölünerek yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1’de ProRoot MTA kullanılan 2 mm ve 4 mm gruplarının “AgNO₃/Kavite hacmi” değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve anlamlı bir farklılık görülmüştür ($p<0,05$). ProRoot MTA (4 mm) ($0,046\pm0,004$) grubunda olanlarda mikrosızıntı değerleri, ProRoot MTA (2 mm) ($0,021\pm0,006$) grubunda olanlara göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 3.1. ProRoot MTA gruplarının mikrosızıntı açısından birbirleri ile karşılaştırılması

		ProRoot MTA						Mann Whitney U Testi		
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maximum	ss	Sıra Ort.	U	p
AgNO ₃ / Kavite hacmi	2 mm	15	0,021	0,022	0,002	0,026	0,006	8,00	0	0,0001
	4 mm	15	0,046	0,046	0,038	0,053	0,004	23,00		
	Toplam	30	0,033	0,032	0,002	0,053	0,013			

Çizelge 3.2’de TheraCal PT kullanılan 2 mm ve 4 mm gruplarının “AgNO₃/Kavite hacmi” değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve anlamlı bir farklılık görülmüştür ($p<0,05$). TheraCal PT (4 mm) ($0,042\pm0,006$) grubunda olanlarda mikrosızıntı değerleri, TheraCal PT (2 mm) ($0,015\pm0,001$) grubunda olanlara göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 3.2. TheraCal PT gruplarının mikrosızıntı açısından birbirleri ile karşılaştırılması

		TheraCal PT						Mann Whitney U Testi		
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maximum	ss	Sıra Ort.	U	p
AgNO ₃ / Kavite hacmi	2 mm	15	0,015	0,015	0,012	0,018	0,001	8,00	0	0,0001
	4 mm	15	0,042	0,040	0,030	0,054	0,006	23,00		
	Toplam	30	0,0288	0,024	0,012	0,054	0,014			

Çizelge 3.3'te 2 mm ve 4 mm kontrol gruplarının “AgNO₃/Kavite hacmi” değerleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve anlamlı bir farklılık görülmüştür ($p<0,05$). 4 mm ($0,063\pm0,010$) kontrol grubunda olanlarda mikrosızıntı değerleri, 2 mm ($0,049\pm0,007$) kontrol grubunda olanlara göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 3.3. Kontrol gruplarının mikrosızıntı açısından birbirleri ile karşılaştırılması

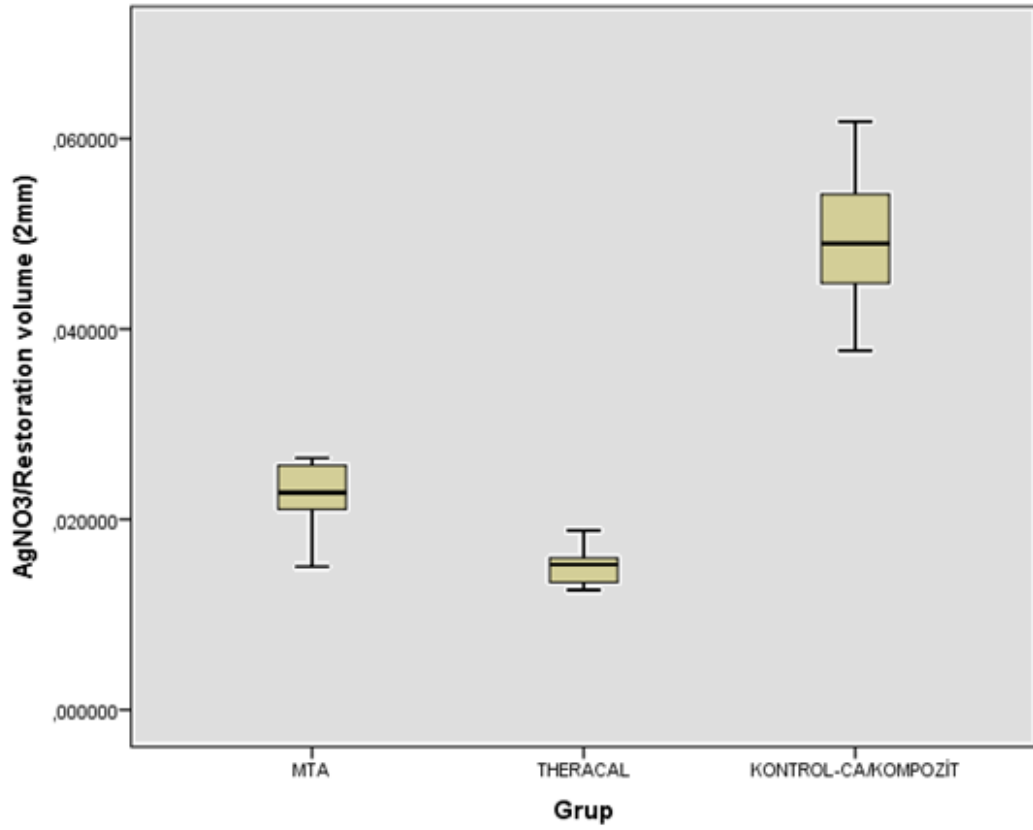
		Kontrol						Mann Whitney U Testi		
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maximum	ss	Sıra Ort.	U	p
AgNO ₃ / Kavite hacmi	2 mm	15	0,049	0,048	0,037	0,061	0,007	9,47	22	0,0001
	4 mm	15	0,063	0,061	0,050	0,090	0,010	21,53		
	Toplam	30	0,056	0,054	0,037	0,090	0,011			

3.2. Grupların Mikrosızıntı Değerlerinin Birbirleri Arasında Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi

Çizelge 3.4.'te 2 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan ProRoot MTA, TheraCal PT ve kontrol gruplarına ait “AgNO₃/Kavite Hacmi” değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Gruplar arasında mikrosızıntı değerleri açısından anlamlı bir farklılık görülmektedir ($p<0,05$). Kontrol grubunda mikrosızıntı değeri ($0,049\pm0,007$), ProRoot MTA ($0,021\pm0,006$) ve TheraCal PT ($0,015\pm0,001$) gruplarına olanlara göre anlamlı derecede daha yüksektir ($p<0,05$). TheraCal PT grubunda ($0,015\pm0,001$) mikrosızıntı değeri, ProRoot MTA grubuna ($0,021\pm0,006$) göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşüktür ($p<0,05$). 2 mm perforasyon gerçekleştirilen çalışma ve kontrol gruplarına ait minimum, maksimum ve ortalama mikrosızıntı değerlerini gösteren grafik Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. 2 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan çalışma ve kontrol gruplarındaki dişlere ait mikrosızıntı değerlerinin karşılaştırılması

		Çalışma ve Kontrol Grupları (2 mm)						Kruskall Wallis H Testi			
		n	Ortalama	Medyan	Minimum	Maximum	ss	Sıra Ort.	H	p	İkili Karşılaştırma
AgNO ₃ / Kavite hacmi	ProRoot MTA	15	0,021	0,022	0,002	0,026	0,006	21,33	35,266	0,0001	3-1 3-2 2-1
	TheraCal PT	15	0,015	0,015	0,012	0,018	0,001	9,67			
	Kontrol	15	0,049	0,048	0,037	0,061	0,007	38,00			
	Toplam	45	0,028	0,022	0,002	0,061	0,015				

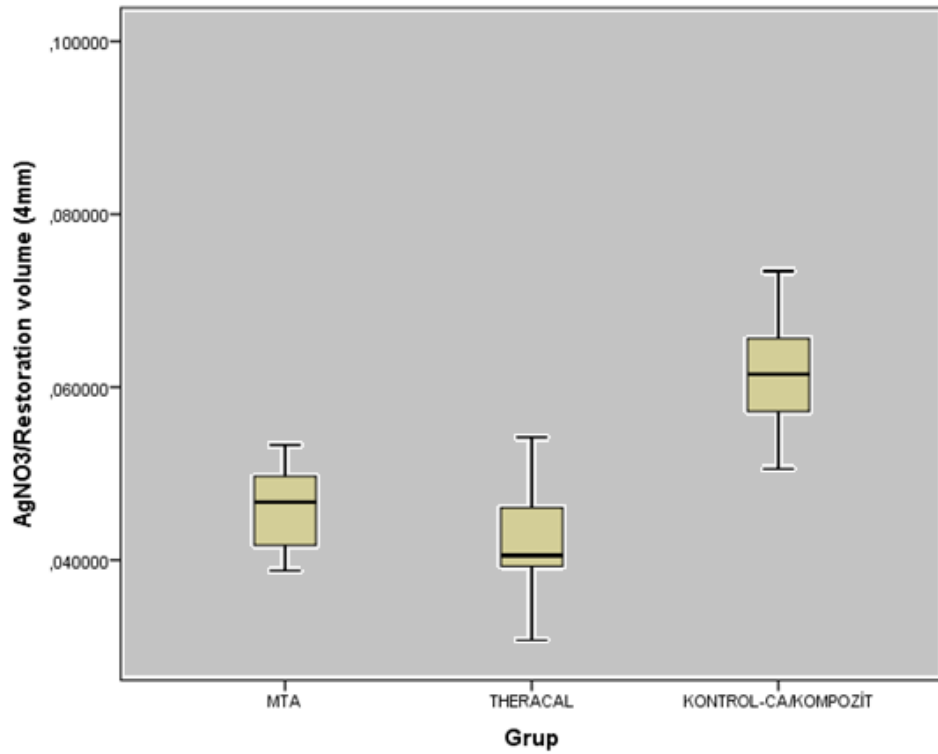


Şekil 3.1. 2 mm perforasyon gerçekleştirilen çalışma ve kontrol gruplarına ait minimum, maksimum ve ortalama mikrosızıntı değerlerini gösteren grafik.

Çizelge 3.5.'te 4 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan ProRoot MTA, TheraCal PT ve kontrol gruplarına ait “AgNO₃/Kavite Hacmi” değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Gruplar arasında mikrosızıntı değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmektedir ($p<0,05$). Kontrol grubunda mikrosızıntı değerleri ($0,063\pm0,010$), ProRoot MTA ($0,046\pm0,004$) ve TheraCal PT ($0,042\pm0,006$) grubunda olanlara göre anlamlı derecede daha yüksek görülmektedir ($p<0,05$). TheraCal PT ($0,042\pm0,006$) ve ProRoot MTA ($0,046\pm0,004$) grupları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). 4 mm perforasyon gerçekleştirilen çalışma ve kontrol gruplarına ait minimum, maksimum ve ortalama mikrosızıntı değerlerini gösteren grafik Şekil 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. 4 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan çalışma ve kontrol gruplarındaki dişlere ait mikrosızıntı değerlerinin karşılaştırılması

		Çalışma ve Kontrol Grupları (4 mm)						Kruskall Wallis H Testi			
		n	Ort.	Med.	Minimum	Maximum	ss	Sıra Ort.	H	p	İkili Karşılaştırma
AgNO ₃ /Kavite hacmi	ProRoot MTA	15	0,046	0,046	0,038	0,053	0,004	18,07	27,94	0,0001	3-1 3-2
	TheraCal PT	15	0,042	0,040	0,030	0,054	0,006	13,53			
	Kontrol	15	0,063	0,061	0,050	0,090	0,010	37,40			
	Toplam	45	0,050	0,049	0,030	0,090	0,012				



Şekil 3.2. 4 mm perforasyon gerçekleştirilen çalışma ve kontrol gruplarına ait minimum, maksimum ve ortalama mikrosızıntı değerlerini gösteren grafik.

4. TARTIŞMA

Dentin-pulpa kompleksi, onarıcı dentinogenez teriminin kapsamına giren bir dizi fizyolojik mekanizma ile diş çürüğü, travma ve iatrojenik faktörler gibi potansiyel olarak zararlı uyaranlara karşı savunma mekanizmasına sahiptir (da Rosa ve ark., 2018; Tran ve ark., 2012). Bu nedenle, pulpa canlılığının sürdürülmesi için vital pulpa tedavileri, biyolojik temelli minimal invaziv tedavi yaklaşımları olarak günlük diş hekimliği uygulamaları arasında sıklıkla uygulanmaktadır (Hanna ve ark., 2020; Parirokh ve ark., 2018).

Olgunlaşmamış daimi dişlerde, pulpanın doğal savunması ve zengin kan akımı, bakteriyel enfeksiyona karşı daha uzun süre direnç göstermelerini sağlamaktadır (Mejare ve ark., 1993; Waterhouse ve ark., 2011). Çürük ve bakteriyel kontaminasyon dentin-pulpa kompleksinden büyük ölçüde elimine edildiğinde ve iyi bir kaide ajanı kullanılarak hermetik bir koronal sızdırmazlık sağlandığında, genç bir sürekli dişin sağlıklı ve fonksiyonel bir duruma dönme şansına sahip olabileceği bildirilmektedir (Chueh ve ark., 2010; Darwish ve ark., 2014).

Çocuklarda daimi diş uygulanan vital pulpa tedavilerinin avantajları arasında; ağrı ve enfeksiyonun ortadan kaldırılması, dişin vital olarak ağızda tutulması, prosedürün klinik olarak daha az zorlayıcı olması, kök kanal tedavisine kıyasla ucuz olması ve çocuk hasta tarafından daha iyi tolere edilmesi sayılabilir (Alqaderi ve ark., 2014). Kullanılan kaide ajanlarının ve daimi restorasyonun kalitesi, dişin canlılığını ve işlevini uzun vadede sürdürmesi açısından kritik öneme sahiptir (Trope, 2008). Başarılı bir tedavi için koronal mikrosızıntı yoluyla oluşacak bakteriyel kontaminasyondan kaçınılmalıdır (Saunders ve ark., 1990). Bazı araştırmacılar koronal sızdırmazlığın vital pulpa üzerinde kullanılan materyalden daha önemli olduğu sonucuna varmıştır (Trope, 2008). Ancak, vital pulpa tedavilerine verilen biyolojik yanıt, iltihaplı pulpanın iyileşme potansiyelinin yanı sıra, pulpa kaide ajanının biyoyumluluğu ve sızdırmazlık kabiliyetinden büyük ölçüde etkilenir (Asgary ve ark., 2013a; Good, 1999).

Yapılan alışmalar, insan dental pulpa kök hücrelerinin (hDPSC'ler) dentinogenez sürecinde in vitro odontojenik genlerin ekspresyonu ve/veya in vivo dentin köprüsü oluşumu ile ölçülen dentin rejenerasyonu yeteneğini bildirmiştir (Rosa ve ark., 2013; Tatullo ve ark., 2019). Uygun koşullar altında, hDPSC'lerin odontoblast benzeri hücrelere farklılaşacağı ve vital pulpa tedavilerinin amacı olan reperatif dentin dokusunu üreteceği bilinmektedir. Doku onarımının özellikleri ve kapsamı, etkilenen dişin klinik durumuna ve vital pulpa tedavisi için kullanılan materyallerin türüne bağlıdır. Bu materyallerin sahip olması gereken en önemli özelliklerinden biri, iyileşme sürecini ve dentin pulpa kompleksinin onarımını indüklemek ve modüle etmektir (Youssef ve ark., 2019; Zaen El-Din ve ark., 2020). İyi bir pulpa kaide ajanı pulpa canlılığını devam ettirmeli, reperatif dentin üretimini teşvik etmeli, bakteriyostatik veya bakterisidal olmalı, bakteriyel sızdırmazlık sağlayabilmeli, doku sıvılarında çözünmemeli, boyutsal olarak stabil olmalı, restoratif materyalin yanı sıra dentine de iyi bağlanmalı, restorasyon tarafından uygulanan streslere dayanabilmeli ve ideal olarak radyoopak olmalıdır (Cohen ve ark., 1994; Roberts ve ark., 2008).

KH içeren materyaller, antibakteriyel özellikleri ve sert doku oluşturma kapasiteleri nedeniyle vital pulpa tedavilerinde altın standart olarak uzun yıllarca kullanılmıştır (Fava ve ark., 1999; Hilton, 2009; Matsuo ve ark., 1996). Ancak bu materyaller, yeni oluşan sert doku bariyerindeki poroziteler ve doku sıvılarında çözünürlük göstermeleri gibi bazı dezavantajlara sahiptir (Accorinte ve ark., 2008a; Bergenholtz, 2005). KH'nin yüksek çözünürlüğü nedeniyle uygulamadan sonraki iki yıl içinde çözünmesi ve kaide materyalinin altındaki reperatif dentinde defektler oluşması, bakteriyel enfeksiyona karşı kalıcı bir sızdırmazlık sağlayamamasının nedenidir (Kunert ve ark., 2020). Bu engelleri aşmak için hücre diferansiasyonunu ve kalsifiye doku oluşumunu destekleyen, biyouyumlu, biyoaktiviteleri ve mükemmel sızdırmazlık yetenekleri olan kalsiyum silikat içerikli materyaller son zamanlarda daimi ve süt dişlerinin endodontik tedavilerinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Hanna ve ark., 2020; Wassel ve ark., 2023). Bu materyaller; Tip 1 kolajen sentezini ve nc hücrelerin mineral eksprese eden hücrelere farklılaşmasını indükleyerek; sementogenez, dentinogenez ve osteogenez gibi mineralize doku oluşumu sürecini başlatabilirler (Rodrguez-Lozano ve ark., 2021). Bu malzemelerin ana bileşenleri, su

ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum hidroksit oluşturmaları nedeniyle hidrolik çimentolar sınıfına giren trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikattır (Sun ve ark., 2021a). Biyolojik doku sıvıları ile temas ettiğinde hidroksiapatit benzeri kristallerin oluşumu ile adezyon ve sızdırmazlık sağlanır (İpek ve ark., 2022). Bu hidrolik materyaller, biyoaktiviteleri nedeniyle diş hekimliği kliniğinde pulpa kaide materyali olarak, pulpotomi, apeksifikasyon, perforasyon onarımı ve kök ucu dolgusu için kullanılmaktadır (Sun ve ark., 2021b). Kalsiyum silikatlar, canlı dokuda aşırı iltihaplanma, toksik reaksiyonlar veya alerjik reaksiyonlara neden olmadan rejenerasyon ve onarımı destekledikleri için araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir (Sarkar ve ark., 2005).

Vital pulpa tedavileri; pulpayı sızdırmaz bir biyomateryal ile kaplayarak, sert doku oluşumunu kolaylaştırmayı ve kalan zayıf dentin dokusunu desteklemeyi amaçlamaktadır. İlk kez bu amaçla piyasaya sürülen Mineral Trioksit Agregat (ProRoot MTA, Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, ABD), insan dental pulpa hücrelerinin çoğalmasını/farklılaşmasını teşvik eden ve hızlı dentin köprüsü yapımına ve yeni sert doku oluşumuna izin veren biyoaktif ve biyouyumlu, antibakteriyel, marjinal adaptasyonu ve sızdırmazlık kapasitesi yüksek olan, kendiliğinden sertleşen hidrofilik bir kalsiyum silikat simandır (Ha ve ark., 2017; Tsai ve ark., 2018). MTA'nın biyouyumluluğu ve sızdırmazlık yeteneği, doku sıvısındaki fosfatlarla reaksiyona girerek hidroksiapatit oluşumunu indükleyen materyalden salınan baskın kalsiyum iyonundan kaynaklanmaktadır (Sarkar ve ark., 2005). Yapılan çalışmalarda, MTA'nın insan osteoblastlarında sitokin oluşumunu artırarak hücrelerin maddelere iyi bağlanmasını sağladığı ve bu nedenle dentin köprülerinin oluşturulmasında rol oynadığı bildirilmektedir (Cervino ve ark., 2020; Grech ve ark., 2013; Jefferies, 2016). Ancak manipülasyon güçlüğü, uzun sertleşme süresi ve daimi restorasyonların aynı seans yapılamaması gibi dezavantajları vardır. Bu nedenle yeni biyoaktif materyaller geliştirilmiştir.

‘Rezin modifiye kalsiyum silikat siman’lar veya ‘Hibrit kalsiyum silikat siman’lar (HKSS), yeni geliştirilen biyoaktif malzemelerdir (Suh ve ark., 2008). Doku

rejenerasyonu, onarımı, rekonstrüksiyonu gibi spesifik biyolojik aktiviteleri indükleyen bu malzemelerin biyoaktif potansiyelleri, kalsiyum iyonlarını serbest bırakma ve apatit benzeri madde oluşumunu indükleme yeteneklerinden kaynaklanmaktadır (Nour ve ark., 2019). Hibrit simanlar Portland çimentosu ve rezin kombinasyonundan oluşmaktadır (Minet ve ark., 2006). TheraCal LC (Bisco, Schaumburg IL, ABD) 2011 yılında ışıkla sertleşen bir rezin modifiye kalsiyum silikat siman olarak tanıtılmıştır. Yerleştirme kolaylığı ve gelişmiş biyolojik özellikleri ile $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve MTA'ya en uygun alternatiflerden biri olarak tanıtılan TheraCal'in içeriğinde; %45 Portland çimentosu tip III, %10 radyoopak ajan (bizmut oksit) ve ağırlıkça %40 rezin bulunmaktadır. Resin içeriği; üretan dimetakrilat (UDMA), bisfenol A-glisidil metakrilat (BisGMA), trietilen glikol dimetakrilat (TriEDMA veya TEGDMA) gibi hidrofobik bir bileşenden ve hidroksietil metakrilat (HEMA) ve polietilen glikol dimetakrilat (PEGDMA) gibi hidrofilik bir bileşenden oluşmaktadır (Menon ve ark., 2016). Hem polimerizasyon hem de hidrasyon reaksiyonu ile sertleşmesi kullanımını kolaylaştırmaktadır. Ancak, tam polimerize olamamasına bağlı olarak biyolojik özellikleri tartışmalıdır (Jeanneau ve ark., 2017; Rodríguez-Lozano ve ark., 2021).

2019 yılında artık kalan polimerize olmamış monomerlerin potansiyel olumsuz etkilerinin üstesinden gelmek için resin ile modifiye edilen ve dual cure sertleşme reaksiyonu gösteren, dentin-pulpa kompleksini korumak için bir bariyer görevi görerek dişin canlılığını devam ettiren, otomatik karıştırma şırıngası ile uygulama kolaylığı olan kalsiyum silikat bazlı yeni bir malzeme olarak TheraCal PT (Bisco Inc., Schaumburg, IL, ABD) piyasaya sürülmüştür (Sanz ve ark., 2021). İçeriği sentetik Portland çimentosu, polietilen glikol dimetakrilat (%10-30) ve Bis-GMA (%5-10) resin matriksinden oluşmaktadır. Üretici firmaya göre pulpotomi tedavilerinde, direkt ve indirekt pulpa kuafajında kaide materyali olarak kullanılabilir (Bisco, <https://www.bisco.com/theracal-pt/>). In vitro (Elbanna ve ark., 2022; Falakaloğlu ve ark., 2023; Kim ve ark., 2023; Küden ve ark., 2022; Panda ve ark., 2023; Quiñonez-Ruvalcaba ve ark., 2023; Rodríguez-Lozano ve ark., 2021; Sanz ve ark., 2021; Yavuz ve ark., 2022) ve in vivo (Wassel ve ark., 2023) çalışmaların sonuçlarına göre, TheraCal PT'nin klinik kullanım potansiyeli umut vericidir. TheraCal PT doğrudan

pulpa dokusu üzerine uygulandığında, dual-cure sertleşmesi sayesinde restoratif materyaller aynı seans yerleştirilebilir. Materyal 10 saniye boyunca ışıkla sertleştirildikten sonra, klinisyenler herhangi bir bonding sistemini kullanarak (self-, total-, selektif-etch) dişin daimi restorasyonunu yapabilirler (Panda ve ark., 2023).

KSS'ler doğaları gereği hidrofilik malzemelerdir ve uygun hidrasyon işlemi için suyun varlığına ihtiyaç duyarlar, ancak TheraCal'de bu durum temas ettiği yüzey tarafından sağlanır (Arandi ve ark., 2018; Suh ve ark., 2008). Hibrit KSS ile dentin arasındaki ve hibrit KSS ile dişin daimi restorasyonu için kullanılan kompozit materyaller arasındaki adeziv bağın gücü, sızdırmazlık ve restorasyonun dayanıklılığı için son derece önemlidir (Hikita ve ark., 2007; Tyagi ve ark., 2016).

Mikrosızıntı, polimerizasyon sırasında rezinin büzülmesi veya dentin bağlayıcı ajanların dentin ve kompozit materyal arasında zayıf yapışması nedeniyle kavite duvarı ve restoratif materyal arasında oluşan geçiş olarak tanımlanır. Diş-restorasyon arayüzünde iyi bir adaptasyonun olmaması, dental restorasyonların başarısını ve uzun ömürlülüğünü etkileyen ana faktörlerdir. Tükürük, bakteriyel yan ürünler vb. buradan geçebilir ve marjinal renk değişikliği, diş hassasiyeti, sekonder çürükler, pulpal hastalıkların gelişimi ve tedavi başarısızlığı gibi sorunlara yol açabilir (Rengo ve ark., 2015; Zhao ve ark., 2014).

Biyouyumlu olarak tanımlanan bir materyalin pulpa dentin kompleksi ve daimi restorasyon ile iyi bir bağlantı sağlaması gerekir. Dentin ve pulpa kaide materyali arasındaki ara yüzeyde meydana gelen mikrosızıntı, postoperatif hassasiyetten ve sekonder çürük oluşumundan sorumludur. Mikrosızıntının pulpa dokusuna ulaşması ise vital pulpa tedavilerinde temel başarısızlık nedenidir (Elbanna ve ark., 2022; Koubi ve ark., 2012). KH'nin sayısız avantajına rağmen en büyük dezavantajlarından biri, meydana getirdiği tünel defektlerinden ötürü hermetik bir sızdırmazlık sağlayamamasıdır (Chacko ve ark., 2006). Buna karşılık, MTA'nın dentin köprüsü oluşumunu indüklemeye kabiliyeti ile üstün sızdırmazlık sağladığı belirtilmiştir

(Torabinejad ve ark., 1993; Wu ve ark., 1998). Ancak, her iki materyalin de dentine bağlanma gücü çok az ya da yoktur (Aeinehchi ve ark., 2003; Ford ve ark., 1995). Bu nedenle kaide ajanlarının sızdırmazlık kalitesine bağlı başarısızlık olasılığını önlemek için, üzerlerinin geleneksel ya da ışıkla sertleşen CİS ile kapatılması önerilmektedir (Qudeimat ve ark., 2007).

Parsiyel amputasyon tedavisi Cvek (1978) tarafından önerilmiştir ve koronalde sağlıklı pulpa dokusu elde edilene kadar enfekte pulpa dokularının çıkarılmasını ve perforasyon alanının sızdırmaz bir kaide ajanı ile kapatılarak dişin daimi restorasyonun yapılmasını içermektedir. Bu tedavi yönteminde hücreden zengin koronal pulpa dokusu korunarak dişin daha iyi bir şekilde iyileşmesi sağlanır ve pulpanın bakteriyel kontaminasyona karşı daha güçlü savunma reaksiyonu göstermesine yardımcı olunur (Nakashima, 1994). Parsiyel amputasyon ile tedavi edilen kesici dişler için bildirilen başarı oranı %94-96 ve molar dişler için %93-94'tür (Chinadet ve ark., 2019; Cvek, 1993; Eggmann ve ark., 2022; Emine ve ark., 2011; Kiatwateeratana ve ark., 2009).

Parsiyel amputasyon 2-4 mm'lik pulpa perforasyonlarında uygulanmaktadır. Vital pulpa tedavilerinde pulpada meydana gelen perforasyon boyutu prognozu etkilemektedir. (Chailertvanitkul ve ark., 2014; Cho ve ark., 2013; Kang ve ark., 2015). Bunun nedeni, perforasyon boyutu ne kadar büyükse, pulpanın bakteriyel penetrasyonunun o kadar fazla olmasıdır (Mass ve ark., 1993). Ayrıca, perforasyon alanı ne kadar büyükse, sızdırmaz bir şekilde kapatılması da o kadar zor olmaktadır (Christensen, 1998). Chailertvanitkul ve ark. (2014) yapmış oldukları randomize bir klinik çalışmada, 5 mm'den daha büyük pulpa perforasyonu olan daimi molar dişlerde KH ve ProRoot MTA ile yaptıkları parsiyel amputasyon tedavilerinin düşük başarı oranı gösterdiği belirtilmiştir. Bu nedenle, bu çalışma, parsiyel amputasyon için endike olan en küçük ve en büyük perforasyon boyutları olan 2 mm ve 4 mm ile gerçekleştirilmiştir.

Literatür incelendiğinde apikal tıkamada ya da furkasyon bölgesinde MTA kullanıldığı zaman meydana gelen mikrosızıntı ile ilgili birçok çalışma bulunurken (Barrieshi-Nusair ve ark., 2005; Haghighi ve ark., 2013; Harinkhere ve ark., 2023; Patel ve ark., 2023; Sönmez ve ark., 2012), pulpa odasında meydana gelen mikrosızıntı ile ilgili fazla çalışma bulunmamaktadır. Piyasaya yeni sürülen TheraCal PT'nin ile dental pulpa kök hücreleri üzerindeki biyouyumluluğunun diğer KSS ile karşılaştırıldığı in vitro çalışmalar (Kim ve ark., 2023; Küden ve ark., 2022; Panda ve ark., 2023; Rodríguez-Lozano ve ark., 2021; Sanz ve ark., 2021) bulunurken meydana getirdiği mikrosızıntı ile ilgili bir tane in vitro çalışma (Yavuz ve ark., 2022) bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında bu tez çalışmasında, parsiyel amputasyon tedavisinde güncel olarak sıklıkla kullanılan ProRoot MTA ve piyasaya yeni sürülmüş olan TheraCal PT'nin farklı perforasyon boyutlarında (2 mm ve 4 mm) uygulandıkları çekilmiş gömülü yirmi yaş dişlerinde meydana gelen mikrosızıntı değerlerini Mikro-BT ile değerlendirmek amaçlanmıştır.

Çekilmiş insan dişleri; kavite hazırlığı, kök kanal tedavisi, çeşitli restoratif materyallerin geliştirilmesi ve test edilmesi gibi endodontik prosedürleri öğrenmek, in vitro laboratuvar deneylerinde mikrosızıntı değerlendirmesi ve marjinal boşluk ölçümleri gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Moscovich ve ark., 1998). Bu çalışmada gömülü yirmi yaş dişleri, ağız ortamıyla temas etmedikleri için mine dokusunun defektsiz olması, herhangi bir çürük, dentin sklerozu, renklenme, hipomineralizasyon ve çatlak gibi yapısal bozuklukların olmaması nedeniyle tercih edilmiştir (Makkar ve ark., 2015). Literatürde çekilmiş dişler deney süresine kadar distile su, salin, formalin, sodyum hipoklorit, glutaraldehit ve timol gibi çeşitli ajanlarda bekletilmiştir (Goodis ve ark., 1993; Rueggeberg, 1991; Sandhu ve ark., 2012). Bu çalışmada dişler deney zamanına kadar dentin geçirgenliğini koruyabilmek için %0,9 salin solüsyonunda cam kavanoz içinde bekletilmiştir (Ghosh ve ark., 2020).

Bu çalışmada; kullanılan dişlerin tipi, iki farklı grupta kavitenin şekli ve boyutu, saklama ortamının tipi, saklama süresi ve kaide ajanlarının, RMCİS ve daimi restorasyonun yerleştirilmesi üretici firmaların talimatlarına göre uygulanarak

standardize bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Tüm gömülü üçüncü molar dişler yakın zamanda çekilmiş, temizlenmiş ve 6 ayı geçmeyecek şekilde distile suda bekletilmiştir. Tüm örnekler, aynı araştırmacı tarafından hazırlanmıştır (U.Y.Y.).

Literatürler incelendiğinde tercih edilen kavite şeklinin mikrosızıntı faktörünü etkilediği görülmektedir (Raskin ve ark., 2001; Türkün ve ark., 2004). Bu çalışmada kavite dizaynında standardizasyon sağlamak için oklüzal kaviteler hazırlandıktan sonra fissür frez yardımıyla pulpa odasının tavanında, 2 mm ya da 4 mm genişliğinde perforasyonlar oluşturulmuştur. Çalışmanın kısıtlılıklarından biri, yirmi yaş dişlerinin anatomilerinin değişkenlik göstermesine bağlı olarak standart kaviteler açılmamasıdır. Ancak, standardizasyonu sağlamak için koronal restorasyonlarda gelişen sızıntı değerlendirilmemiş, sadece pulpa odasına sızan gümüş nitrat göz önüne alınmıştır (Gunal ve ark. 2021). Ek olarak; kavite standardizasyonu sağlamak için rehberlerde (AAPD, 2020) belirtildiği gibi, çürük ile perfore olan pulpanın yüzeysel tabakası ve çevre dentin yaklaşık 2 veya 3 mm derinliğe kadar çıkartılmıştır. Bu sayede kliniği simüle edecek şekilde sabit amputasyon derinliği sağlanmaya çalışılmıştır.

Mikrosızıntı çalışmaları in vivo ve in vitro olarak yapılmaktadır. Ancak in vitro çalışmalar daha sıklıkla kullanılmaktadır (Erdemir ve ark., 2011). Araştırmacılar, bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda dişlerin seçilmesi, kavite hazırlama şekli, kullanılan materyal ve restorasyon şekli, örnek hazırlama ve test edilmesi arasında geçen süre ve örneklerin bekletilme şekli ile ısı çevrim işlemleri gibi nedenlerden dolayı sonuçların birbirleriyle kıyaslanmasının zor olduğunu ve deneyler sırasında yapılan işlemlerin birçoğunun sonuçları etkilediğini bildirmişlerdir (Déjou ve ark., 1996; Grossman ve ark., 1993; Wu ve ark., 1993). Dental materyallerin sızdırmazlığını ve sızıntıya karşı direncini değerlendirmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Bunlar arasında boya penetrasyonu, sıvı infiltrasyon yöntemi, elektrokimyasal yöntem, bakteriyel sızıntı modelleri ve radyoizotop izleyicilerin kullanımı gibi yöntemler yer almaktadır (AlHabdan, 2017).

In vitro çalışmalarda diş sert dokuları ve kullanılan malzemeler arasındaki mikrosızıntıyı belirlemek ve değerlendirmek için sıklıkla boya penetrasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem basit, tekrarlanabilir ve reaktif kimyasallar içermemektedir (Orłowski ve ark., 2015; Yavuz ve ark., 2005). Bu boyalardan biri olan %50'lik gümüş nitrat solüsyonu; gümüş iyonunun küçük çapı nedeniyle mikro ve nano sızıntıyı analiz etmek için çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Gümüş, dişin sert dokularından ve kompozit rezinlerden daha yüksek atom numarası nedeniyle iyi bir radyopak kontrast sunabilmektedir. Sulu gümüş nitrat solüsyonları, nötr/alkali pH değerine ve 168 saate kadar kullanım ömrüne sahiptir. Solüsyonlar %5 konsantrasyonda bile kompozit restorasyonlarda marjinal sızdırmazlık kaybını gösterebilmektedir (Costa ve ark., 2011; Zhao ve ark., 2014). Endodontik tedavilerin ardından pulpaya olan mikrosızıntı ölçümlerinde de bu yöntem kullanılmıştır (Gunal ve ark., 2021). Bu çalışmada da benzer şekilde %50'lik gümüş nitrat solüsyonu kullanılmış ve 15 saat bekletildikten sonra ikinci banyo solüsyonunda da 3 saat bekletilmiştir (Gunal ve ark., 2021).

Mikrobilgisayarlı tomografi (Micro-CT), test numunelerini kesmeden mikrosızıntının değerlendirilmesine izin veren, doğru izleyici ve uygun yazılım kullanıldığında arayüzün 3 boyutlu görüntüsünü elde etmemizi sağlayan son zamanlarda sıklıkla kullanılan bir görüntüleme yöntemidir. Bu görüntüleme yönteminin en büyük avantajlarından biri, kesit almaya gerek olmadığı için test edilen numunelere zarar verilmemesidir, bu sayede numunelerin ölçümden sonra orijinal hallerini korumasına ve başka ölçümlerde veya çalışmalarda kullanılmasına olanak tanınmasıdır (Zhao ve ark., 2014). Bu yöntem üç boyutlu kantitatif ve kalitatif değerlendirme yapma fırsatı sağlar, daha az zaman alıcıdır ve tüm restoratif arayüzünü göz önünde bulundurarak daha ayrıntılı sonuçlar verir (Han ve ark., 2016; Rizzante ve ark., 2020). Bu nedenlerden ötürü pulpa kaide ajanlarının mikrosızıntısını değerlendirmek için bu tez çalışmasında gümüş nitrat radyopak boyar madde ve Micro-CT kullanılmıştır.

Carrera ve ark. (2015) yaptıkları bir çalışmada görüntü korelasyonu ve görüntü çıkarma yöntemlerini kullanarak gümüş nitrat penetrasyon hacminin restoratif

materyal ve diş sert dokusundan etkilenmeden hesaplanabildiğini bildirmişlerdir. Gümüş nitrat penetrasyonunu 3D olarak görüntülemeyen önce, gümüş nitrat penetrasyonunu daha iyi ölçmek için bu çalışmada da kullanılan bilgisayar programını (SkyScan CT-analyzer) kullanmışlardır.

Bu çalışmada; kullanılan dişlerin tipi, iki farklı grupta kavitenin şekli ve boyutu, saklama ortamının tipi, saklama süresi ve kaide ajanlarının, cam iyonomer simanın ve daimi restorasyonun yerleştirilmesi üretici firmaların talimatlarına göre uygulanarak standardize bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Tüm gömülü üçüncü molar dişler yakın zamanda çekilmiş, temizlenmiş ve 6 ayı geçmeyecek şekilde distile suda bekletilmiştir. Tüm örnekler, molar dişlerin oklüzal yüzeyinde standart bir derinlik ve genişlik oluşturmak için aynı araştırmacı tarafından hazırlanmıştır (U.Y.Y.).

Bu çalışmada 4 mm perforasyon uygulanan gruplarda meydana gelen mikrosızıntı değerleri, 2 mm perforasyon uygulanan gruplara göre daha yüksek bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, kullanılan malzemeden bağımsız olarak perforasyon boyutu arttıkça mikrosızıntı değerleri artmıştır. Kontrol grubunda ise her iki grupta da en fazla mikrosızıntı görülmüştür.

2 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan çalışma ve kontrol gruplarının mikrosızıntı değerlerinin birbirleri arasında karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi yapıldığında; gruplar arasında mikrosızıntı değerleri açısından anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir. Kontrol grubunda bu değer çalışma gruplarına göre anlamlı derecede daha yüksek görülmektedir. Bu durum çalışma yöntemimizin doğru olduğunu desteklemektedir. TheraCal PT grubunda olanlarda mikrosızıntı değerleri, ProRoot MTA grubunda olanlara göre anlamlı derecede daha düşük görülmektedir.

Bu çalışmada 4 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan çalışma ve kontrol gruplarının mikrosızıntı değerlerinin birbirleri arasında karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi yapıldığında; gruplar arasında mikrosızıntı değerleri açısından anlamlı bir farklılık görülmektedir. Kontrol grubunda bu değer çalışma gruplarına göre anlamlı derecede daha yüksek görülmektedir. TheraCal PT ve ProRoot MTA grupları arasında anlamlı bir farklılık görülmemektedir. Ancak değer olarak TheraCal PT grubunda bu değer $0,042\pm0,006$ iken ProRoot MTA grubunda $0,046\pm0,004$ olarak bulunmuştur.

Bu nedenle, çalışmanın başında, iki kaide ajanı arasında mikrosızıntı açısından anlamlı bir fark olmayacağı yönünde kurulan birincil H_0 hipotezi reddedilmiştir. TheraCal PT mikrosızıntı açısından ProRoot MTA'dan daha başarılı bulunmuştur.

Ek olarak, çalışmanın başında, farklı perforasyon boyutlarında uygulanan parsiyel amputasyon tedavilerinde kullanılan malzemeden bağımsız olarak mikrosızıntı değerleri arasında fark olmayacağı yönünde kurulan ikincil H_0 hipotezi reddedilmiştir. Perforasyon boyutu arttıkça meydana gelen mikrosızıntı değerleri artmıştır. Bu bulgu, parsiyel amputasyon tedavilerinde perforasyon boyutunun önemli olduğunu kanıtlamaktadır. Klinik uygulama sırasında büyük boyutlu perforasyonlarda mikrosızıntıya bağlı olarak ileri dönemde başarısızlıklar görülebilir (Chailertvanitkul ve ark., 2014).

MTA'nın nemli ortama maruz kaldığında daha iyi sızdırmazlık göstereceği düşünüldüğü için daimi restorasyon yerleştirilmeden önce MTA üzerine bu çalışmada olduğu gibi nemlendirilmiş pamuk pelet yerleştirilmesi önerilmiştir (Shipper ve ark., 2004). Aynı zamanda MTA'nın sızdırmazlık kabiliyetinin, zamanla genişlemesine bağlı olarak kavite içindeki boşlukların kapanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Sulaiman ve ark., 2014). Ancak ProRoot MTA uygulaması tekniğe duyarlıdır ve tedavinin başarısı büyük ölçüde operatörün beceri ve deneyimine bağlıdır. TheraCal PT ile karşılaştırıldığında, ProRoot MTA uygulaması daha fazla

adım gerektirdiğinden çok daha karmaşıktır. Yeni karıştırılmış olan ProRoot MTA grenli veya kumlu bir dokuya sahiptir ve perforasyon alanına yerleştirilmesi zordur. Bu nedenle, klinisyenin deneyimi ve becerileri ProRoot MTA ile tedavinin başarısını büyük ölçüde etkileyebilir (Camilleri, 2015b). Bu durum ProRoot MTA grubunda mikrosızıntı değerinin daha yüksek olmasını açıklayabilir. TheraCal PT daha kolay uygulanabilir ve sızdırmazlık için daha düşük teknik hassasiyete sahiptir.

Makkar ve ark. (2015) yapmış oldukları bir çalışmada MTA, Biodentine ve Theracal LC'nin sızdırmazlık yeteneklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. MTA ve Biodentine arasında arayüzey mikrosızıntısı açısından anlamlı bir fark bulunmazken Theracal ise bu çalışmanın sonuçlarını destekler şekilde MTA ve Biodentine'den daha iyi sızdırmazlık kabiliyeti göstermiştir. TheraCal dentin sıvısına geçirgen olmasına rağmen çözünmeye karşı direnç göstermektedir. Kendiliğinden sızdırmaz olan ajanın dişe yerleştirildiği zaman hızlı bir şekilde alt yüzeyinde oluşan hidroksiapatit (HA) sayesinde doğal sızdırmazlık özelliği güçlenmektedir (Gandolfi ve ark., 2011; Hebling ve ark., 2009). ABD Gıda ve İlaç Dairesi tarafından "apatit uyarıcı" olarak onaylanan bu kaide ajanı, pulpal iyileşme için gerekli olan erken yüksek alkaliniteyi (pH 10 ila 11) sağlayıp birkaç gün sonra nötr pH'a geri dönen interaktif bir akışkan rezindir (Gandolfi ve ark., 2012). Yüksek kalsiyum salımı yapması ile apatit ve sekonder dentin köprüsü oluşumunun uyarılmasını sağlayan TheraCal, pulpa dokusunda adeziv olmadan mekanik olarak sızdırmazlık sağlamaktadır (Gandolfi ve ark., 2011). Yukarıda bahsedilen bu çalışmanın sonuçları da kaide ajanının bu özelliklerini desteklemektedir. Bu çalışmanın sonuçları da hibrit kalsiyum silikat içerikli Theracal PT'nin konvansiyonel kalsiyum silikatlara göre daha sızdırmaz olduğunu kanıtlamıştır.

Yavuz ve ark. (2022) kalsiyum silikat içerikli NeoPutty, Biodentin ve TheraCal PT'nin kavite tabanındaki mikrosızıntısını dikkate alarak karşılaştırdıkları çalışmalarında; NeoPutty ve Biodentin, kavite tabanında en az mikrosızıntıyı göstermiştir. Ancak TheraCal PT, artan mikrosızıntı ve büyük boşluklar göstermiştir. Bu farkın, TheraCal PT'deki rezin içeriğinin polimerizasyon büzülmesinden

kaynaklandığı varsayılmıştır. Bu çalışmada ise; Theracal PT'nin daha iyi sızdırmazlık göstermesi kullanılan farklı test yöntemlerine bağlı olabilir. Yavuz ve ark. (2022) mikrosızıntıyı bazik fuksin ve steremikroskop ile değerlendirirken bu çalışmada daha hassas bir yöntem olan gümüş nitrat ve Mikro-BT kullanılmıştır.

Falakaloğlu ve ark. (2023) yaptıkları bir çalışmada, TheraCal PT, TheraCal LC, Biodentine, Neo MTA ve Bio MTA ile bulk-fill restoratif materyali arasındaki mikro makaslama bağlanma dayanımını karşılaştırmışlardır. TheraCal PT diğer tüm materyallere göre istatistiksel olarak daha yüksek mikro makaslama bağlanma dayanımı göstermiştir (29.91 ± 6.13 MPa). Sızdırmaz bir restorasyon için dentine bağlanma dayanımının 17-20 MPa arasında değiştiği düşünüldüğünde, TheraCal PT'nin diğer kalsiyum silikat ajanlara göre daha yüksek bağlanma göstermesi bu çalışmanın bulgularını desteklemektedir. TheraCal PT'nin hem dentine hem de kompozit üst yapıya daha iyi bağlantı sağlayarak sızdırmazlık yeteneğini artırması 2 mm perforasyon gerçekleştirilen gruptaki başarısını açıklamaktadır. 4 mm grubunda fark görülmemesinin sebebi ise kullanılan miktar arttıkça rezin içeriğine bağlı polimerizasyon büzülmesinin de artmasına bağlı olabilir (Chiang ve ark., 2010; Cho ve ark., 2011; Yavuz ve ark., 2022). Ancak, yine MTA'dan daha iyi değerler göstermektedir.

Jeanneau ve ark. (2017); TheraCal LC ve Biodentine'in dental pulpa ile etkileşimlerini araştırarak trikalsiyum silikatlara rezin eklemenin sonuçlarını incelemişlerdir. TheraCal ile şartlandırılmış ortam pulpa fibroblast proliferasyonunu önemli ölçüde azaltırken, Biodentine ile herhangi bir etki gözlenmemiştir. hDPSC'ler Biodentine ile şartlandırılmış ortamla kültürlendiğinde, immünofloresan dentin sialoproteini ve nestin ekspresyonunda artış olduğu görülmüştür. Biodentine ile daha yüksek mineralizasyon görülürken, TheraCal ile belirgin doku düzensizliği gözlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, TheraCal LC kullanımı pulpa kaide ajanı olarak önerilmemektedir. Panda ve ark. (2023) yaptıkları bir çalışmada MTA, Tetric N Bond Universal bonding ajanı, Theracal PT ve trombositten zengin fibrinin (PRF) pulpa kaide ajanı olarak insan dental pulpa kök hücreleri üzerindeki hücre canlılığı ve

sitotoksik etkisini değerlendirmişlerdir. Hücreler, çekilmiş çürüksüz daimi üçüncü molar dişin pulpa dokusundan izole edildikten sonra Metiltiazol-difeniltetrazolyum (MTT) sitotoksikite testine tabi tutulup 24, 48 ve 72 saatlik aralıklarla değerlendirilmiştir. PRF 48 saatte en yüksek hücre canlılığını sağlamış, bunu MTA ve Theracal PT benzer sonuçlar ile takip etmiştir.

Rodríguez-Lozano ve ark. (2021) yapmış oldukları çalışmada vital pulpa tedavilerinde kullanılan biyoaktif materyallerden Theracal PT, Theracal LC ve MTA Angelus'un üçüncü molar dişlerden elde edilen insan dental pulpa kök hücreleri (hDPSCs) üzerindeki in vitro biyouyumluluğunu değerlendirmişlerdir. 3 materyal de kimyasal bileşimlerinde değişken seviyelerde kalsiyum, tungsten, silikon ve zirkonyum salımı göstermiştir. Sitouyumluluk deneyleri, Theracal PT kullanılan modellerde Theracal LC'ye göre daha yüksek hDPSC canlılığı ve göç oranları ortaya koymuştur. Theracal LC kullanılan tüm gruplarda en düşük hücre yapışması ve yayılması gözlenirken, MTA gruplarında en yüksek hücre yapışması ve yayılması gözlenmiştir. Theracal PT ve MTA, DSPP ve RUNX2 gen ekspresyonunun artan regülasyonunu desteklemiştir. 21 gün sonra hem MTA Angelus hem de Theracal PT kullanılan hücreler negatif kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha yüksek mineralize nodül oluşumu sergilemiştir. TheraCal PT'nin biyouyumluluğunu destekleyen bir başka histopatolojik çalışmada, fare dişlerine MTA Angelus, NeoMTA ve TheraCal PT ile vital pulpa tedavisi uygulanarak, dentin-pulpa kompleksinin rejenerasyonunun biyouyumluluğu değerlendirilmiş ve sonuçlara göre reperatif dentin oluşumunda üç materyal arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmemiştir (Quiñonez-Ruvalcaba ve ark., 2023).

Bu bulgular ile; dual-cure sertleşme reaksiyonu gösteren TheraCal PT'nin, öncüsü TheraCal LC ile karşılaştırıldığında dental pulpa kök hücreleri üzerinde gelişmiş bir in vitro sitouyumluluk potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir. Sitotoksikite bu çalışmanın konusu olmamasına rağmen bu çalışmalar, Theracal PT'nin vital pulpa tedavilerinde klinik kullanımının önerilebilmesi açısından

değerlendirilmiştir. Theracal LC'nin toksisiteyle ilgili dezavantajlarının Theracal PT tarafından aşılmış olduğunun literatürde kanıtlanmış olması önemli bir bulgudur.

TheraCal PT ile ilgili yapılan birçok in vitro çalışmanın sonuçları ve bu tez çalışmasında gösterdiği sızdırmazlık değerleri göz önüne alındığında piyasaya yeni sürülen bu kaide ajanının klinik kullanımı umut vericidir. Ancak bu konuda yapılan çalışmaların sınırlı olması nedeniyle daha ileri in vitro ve in vivo çalışmalara ihtiyaç vardır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kalsiyum silikat simanlardan geleneksel olarak kullanılan ProRoot MTA ile piyasaya yeni sürülen TheraCal PT kullanılarak 2 mm ve 4 mm perforasyon boyutlarında uygulanan parsiyel amputasyon tedavilerinin mikrosızıntıya etkisinin in-vitro koşullarda değerlendirildiği bu tez çalışmasının sonuçlarına göre;

1. 2 mm perforasyon grubunda; Theracal PT grubundaki dişlerde tespit edilen mikrosızıntı değerleri, ProRoot MTA grubunda olanlara göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşüktür ($p<0,05$). Bu nedenle, iki kaide ajanı arasında mikrosızıntı açısından anlamlı bir fark olmayacağı yönünde kurulan birincil H_0 hipotezi reddedilmiştir.
2. 4 mm perforasyon grubunda; TheraCal PT ve ProRoot MTA grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$).
3. 4 mm perforasyon grubundaki dişlerde görülen mikrosızıntı değerlerinin, 2 mm perforasyon grubundaki dişlere göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bulunması nedeniyle ikincil H_0 hipotezi reddedilmiştir. Elde edilen bu sonuç, parsiyel amputasyon tedavilerinde perforasyon boyutu arttıkça başarı oranlarının düşmesini destekler niteliktedir.
4. Kontrol gruplarında elde edilen mikrosızıntı değerlerinin çalışma gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek olması çalışma yönteminin doğru olduğunu desteklemektedir.

ProRoot MTA'nın toz likit formunda olması nedeniyle hazırlık süresinin uzun olması ve uygulama aşamasında zorluk yaşanması, sertleşme süresinin uzun olması, dişte renklenme meydana getirmesi, üzerine yerleştirilen rezin içerikli restorasyon

materyaline yetersiz mikromekanik adezyon meydana getirmesinden dolayı, özellikle çocuk hastalarda kullanılmak üzere alternatif kaide ajanları arayışı sürmektedir. Piyasaya yeni sürülen TheraCal PT hem kimyasal hem de ışıkla sertleşen (dual-cure) rezin modifiye kalsiyum silikat simandır. Elle karıştırılmadan otomatik karıştırma şırıngasında kolay ve hızlı bir şekilde kavite içine yerleştirilmesi, sertleşme süresinin kısa olması gibi avantajları açısından tercih edilebilir bir ajandır.

Hidrolik kalsiyum silikat bazlı materyallerin biyolojik özellikleri ve biyoaktif potansiyelleri çok sayıda çalışma ile kanıtlanmıştır. Yine de farklı sertleşme mekanizmalarına sahip yeni materyallerin hızla piyasaya sürülmesi, klinik kullanımdan önce her yeni bileşimin biyolojik ve kimyasal profilinin güncellenmesini gerektirmektedir. Bu durum, yeni materyallerin değerlendirilmesi için bir ön yaklaşım olarak in vitro çalışmaların önemini ve uygunluğunu vurgulamaktadır. Bununla birlikte, test edilen materyallerden elde edilen veriler klinik ortamdaki bir dizi dış faktörden potansiyel olarak etkilenebileceğinden, bu deneylerden elde edilen sonuçlar dikkatle yorumlanmalıdır.

İn vitro koşullarda gerçekleştirilen bu tez çalışmasında; Theracal PT'nin perforasyon boyutundan bağımsız olarak mikrosızıntı açısından MTA'dan daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. Ancak, rutin kullanıma geçmesi için daha fazla in vivo ve in vitro çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın bulgularına göre, kullanılan kaide ajanından bağımsız olarak perforasyon boyutu arttıkça meydana gelen mikrosızıntı değerleri de artmıştır. Parsiyel amputasyon tedavisi 4 mm'e kadar olan perforasyon boyutlarında uygulandığında başarılı bir tedavi yöntemi olarak klinik kullanımındaki yerini korumaktadır. Daha büyük perforasyonlarda total amputasyon ya da kök kanal tedavisi gibi alternatif tedavi yöntemleri önerilmektedir. Koronal pulpanın iyileşme kapasitesinin kök pulpasına göre daha fazla olması sebebiyle, ileriki çalışmalarda, daha büyük perforasyon boyutlarında parsiyel amputasyon uygulamasının başarısı in vitro ve in vivo koşullarda değerlendirilmelidir.

ÖZET

PARSİYEL AMPUTASYON TEDAVİSİNDE FARKLI KALSİYUM SİLİKAT İÇERİKLİ AJANLARIN MİKROSIZINTISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Vital pulpa tedavileri, çürük, travma veya iatrojenik nedenlerden etkilenen pulpa dokusunu korumak için uygulanan tedavi yöntemleri olarak tanımlanmaktadır. Bu tedavilerin amacı reperatif dentin oluşumunu teşvik ederek özellikle apikal kök gelişiminin tamamlanmamış olduğu genç sürekli dişlerde gelişimin devam etmesini sağlamaktır. Bu tedavi yöntemleri, uygulanması karmaşık ve zor olan kök kanal tedavisine göre daha basittir ve hem maliyet hem de zaman açısından hasta ve hekim için verimlidir.

Parsiyel amputasyon (Cvek amputasyonu) "geriye kalan koronal ve radiküler pulpayı korumak amacıyla koronal pulpanın etkilenmiş kısmının çıkarılması" olarak tanımlanır. Parsiyel amputasyon tedavisinde perforasyon boyutu başarılı bir tedavi için en önemli faktörlerden biridir. Perforasyon boyutu arttıkça bakteri sızıntısı artmaktadır. Bu tedavi yönteminde 2 ila 4 mm arasında perforasyon boyutu oluşturulan dişlerde görülen başarı oranı daha yüksek bulunmaktadır. Parsiyel amputasyon tedavisinin başarısını etkileyen diğer faktörler; enfekte olan yüzeyel pulpa dokusunun, sağlıklı bir pulpa yüzeyi elde edilene kadar uzaklaştırılması ve kullanılacak pulpa kaide materyalinin hem biyoyumlu hem de kalan pulpa dokusunda bakteriyel kontaminasyonu önleyecek sızdırmazlıkta olmasıdır. Bonding sistemlerinin ve kompozit rezinlerin sızdırmazlık yeteneği son on yılda büyük ölçüde geliştirilmiş olmasına rağmen, restorasyon çevresinde bakteri mikrosızıntısını önlemede bonding sistemlerinin dayanıklılığı ve etkinliği hakkında hala net bir kanıt yoktur. Bu nedenle, restorasyonun potansiyel marjinal sızıntısını kompanze etmek adına, pulpayı korumak için kullanılan kaide materyallerinin gelişmiş bir sızdırmazlığa sahip olması zorunludur. Ayrıca; ısıyı iletmemelidir, büzülme ve genişleme göstermemelidir, kaviteye kolayca yerleştirilmelidir, radyopak olmalıdır; pulpanın canlılığının devam etmesini sağlamalıdır, klinik uygulama süresi kısa olmalıdır, reperatif dentin oluşumunu indüklemelidir ve aynı zamanda dentine ve restoratif materyallere bağlanma kuvveti yüksek olmalıdır.

Kalsiyum silikat simanlar, özellikle Ca(OH)_2 ile karşılaştırıldığında, pulpa odasına mikroorganizmaların girişini önlemede mükemmel sızdırmazlık özelliğine sahiptir. Ancak 15 dakika-4 saat arasında değişen sertleşme süreleri ile çocuk hastalarda klinik kullanımı zorlaştırmaktadır. Theracal PT, piyasaya yeni sürülmüş ve dual-cure yöntemiyle sertleştiği için klinik süreyi kısalttığı öne sürülen bir kalsiyum silikat içerikli ajandır. Ancak bu materyalin başarısını inceleyen sınırlı sayıda çalışma vardır.

Bu tez çalışmasında; 90 adet çekilmiş gömülü yirmi yaş dişinde oklüzal kaviteler oluşturularak 2 mm ve 4 mm perforasyon genişliğinde geleneksel olarak kullanılan bir kaide ajanı olan ProRoot MTA ve Theracal PT ile parsiyel amputasyon uygulamasından sonra meydana gelen mikrosızıntı miktarı in-vitro koşullarda yüksek çözünürlüklü mikro bilgisayarlı tomografi sistemi ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre 2 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan dişlerde TheraCal PT grubu, ProRoot MTA grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha başarılı bulunmuştur ($p<0,05$). 4 mm perforasyon boyutunda parsiyel amputasyon uygulanan dişlerde ise iki kaide ajanı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmasa da elde edilen değer olarak mikrosızıntı TheraCal PT grubunda daha düşük bulunmuştur ($p>0,05$). Kullanılan kaide ajanından bağımsız olarak perforasyon boyutu arttıkça mikrosızıntı değeri de artmıştır ($p<0,05$).

Genç sürekli dişlerde uygulama endikasyonu giderek artan parsiyel amputasyon tedavisinde kullanılmak üzere yeni piyasaya sürülen Theracal PT mikrosızıntı açısından geleneksel kalsiyum silikat içerikli ajanlar kadar başarılı bulunmuştur. İleri dönem in-vivo çalışmalara öncü olacak olan bu çalışma, bu kaide ajanının klinik rutin kullanıma geçebilmesi için bir kanıt teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikrosızıntı, Mikro-BT, Parsiyel amputasyon, ProRoot MTA, Theracal PT

SUMMARY

EVALUATION OF THE MICRO EFFECTS OF DIFFERENT CALCIUM SILICATE CONTAINING AGENTS IN THE TREATMENT OF PARTIAL AMPUTATION

Vital pulp treatments are defined as treatments aimed at preserving pulp tissue affected by caries, trauma or iatrogenic causes. The aim of these treatments is to stimulate the formation of reparative dentin to ensure continued development, especially in young permanent teeth where apical root development is incomplete. These treatment methods are simpler than root canal treatment, which is complex and difficult to perform, and are both cost and time efficient for the patient and dentist.

Partial amputation (Cvek amputation) is defined as "removal of the affected portion of the coronal pulp to preserve the remaining coronal and radicular pulp." In partial amputation treatment, perforation size is one of the most important factors for successful treatment. As the perforation size increases, bacterial leakage increases. In this treatment method, the success rate is higher in teeth with a perforation size between 2 mm and 4 mm. There are other factors affecting the success of partial amputation treatment. Firstly, the infected superficial pulp tissue must be meticulously removed until a healthy pulp surface is achieved. Secondly, the pulp base material to be used should be both biocompatible and impermeable to prevent bacterial contamination of the remaining pulp tissue. Although the sealing ability of bonding systems and composite resins has been greatly improved over the last decade, there is still no clear evidence on the durability and the effectiveness of bonding systems in preventing bacterial microleakage around the restoration. To address potential marginal leakage of the restoration, it is crucial to ensure that the base materials used for pulp protection provide an enhanced seal. In addition, they must not conduct heat, show no shrinkage or expansion, be easily placed in the cavity, be radiopaque, ensure continued pulp viability, have a short clinical application time, induce reparative dentin formation, and have a high bond strength to the dentin and restorative materials.

Calcium silicate cements have excellent sealing properties, especially compared to Ca(OH)_2 , in preventing the entry of microorganisms into the pulp chamber. However, the curing time for these materials, which can vary from 15 minutes to 4 hours, poses a challenge for their practical application in pediatric patients. Theracal PT is a newly introduced calcium silicate-containing agent, and it is promoted for its ability to reduce clinical time due to its dual-cure curing method. However, there are limited studies examining the success of this material.

In this thesis, occlusal cavities were generated in 90 extracted impacted wisdom teeth. The extent of microleakage following partial amputation using the conventional base material ProRoot MTA and Theracal PT was assessed. This assessment included perforations of 2 mm and 4 mm in width, and the evaluation was conducted under in-vitro conditions utilizing a high-resolution micro computed tomography system. According to the results of the study, TheraCal PT group was statistically significantly more successful than ProRoot MTA group in teeth with partial amputation at 2 mm perforation size. In teeth with 4 mm perforation size partial amputation, although there was no statistically significant difference between the two abutment agents, the microleakage was lower in the TheraCal PT group. The microleakage value increased as the perforation size increased regardless of the base agent used.

Theracal PT, a newly introduced product for partial amputation treatment, particularly in young permanent teeth, has demonstrated comparable success to conventional calcium silicate-containing agents in addressing microleakage. This research, serving as a precursor to future in-vivo studies, offers support for the integration of this base material into standard clinical practice.

Keywords: Micro-CT, Microleakage, Partial amputation, ProRoot MTA, Theracal PT

KAYNAKLAR

- American Association of Endodontists (AEE) (2020). *Glossary of endodontic terms*. <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>
- American Academy of Pediatric Dentistry (AAPD) (2020). Pulp therapy for primary and immature permanent teeth. *The Reference Manual of Pediatric Dentistry*, 384-392.
- American Academy of Pediatric Dentistry (AAPD) (2021). Pulp therapy for primary and immature permanent teeth. *The Reference Manual of Pediatric Dentistry*, 399-404.
- Abd-Elmeguid, A., Yu, D. C. (2009). Dental pulp neurophysiology: part 2. Current diagnostic tests to assess pulp vitality. *J Can Dent Assoc.*, 75: 139-143.
- Abuelniel, G. M., Duggal, M. S., Duggal, S., Kabel, N. R. (2021). Evaluation of Mineral Trioxide Aggregate and Biodentine as pulpotomy agents in immature first permanent molars with carious pulp exposure: A randomised clinical trial. *Eur J Paediatr Dent*, 22: 19-25.
- Acar, B., Kamburoğlu, K., Tatar, İ., Arıkan, V., Çelik, H. H., Yüksel, S., Özen, T. (2015). Comparison of micro-computerized tomography and cone-beam computerized tomography in the detection of accessory canals in primary molars. *Imaging Sci Dent*, 45: 205-211.
- Accorinte, M. L., Holland, R., Reis, A., Bortoluzzi, M. C., Murata, S. S., Dezan, E., Jr., Souza, V., Alessandro, L. D. (2008a). Evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide cement as pulp-capping agents in human teeth. *J Endod*, 34: 1-6.
- Accorinte, M. L., Loguercio, A. D., Reis, A., Carneiro, E., Grande, R. H., Murata, S. S., Holland, R. (2008b). Response of human dental pulp capped with MTA and calcium hydroxide powder. *Oper Dent*, 33: 488-495.
- Adams, G. B., Chabner, K. T., Alley, I. R., Olson, D. P., Szczepiorkowski, Z. M., Poznansky, M. C., Kos, C. H., Pollak, M. R., Brown, E. M., Scadden, D. T. (2006). Stem cell engraftment at the endosteal niche is specified by the calcium-sensing receptor. *Nature*, 439: 599-603.
- Aeinehchi, M., Eslami, B., Ghanbariha, M., Saffar, A. S. (2003). Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report. *Int Endod J*, 36: 225-231.
- Aguilar, P., Linsuwanont, P. (2011). Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *J Endod*, 37: 581-587.
- Ahlberg, K. M., Assavanop, P., Tay, W. M. (1995). A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth. *Int Endod J*, 28: 30-34.
- Ajami, A. A., Jafari Navimipour, E., Savadi Oskoe, S., Abed Kahnamoui, M., Lotfi, M., Daneshpooy, M. (2013). Comparison of shear bond strength of resin-modified glass ionomer and composite resin to three pulp capping agents. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 7: 164-168.
- Al Tuwirqi, A. A., Alshammari, A. M., Felemban, O. M., Ali Farsi, N. M. (2019). Comparison of penetration depth and microleakage of resin infiltrant and conventional sealant in pits and fissures of permanent teeth in vitro. *J Contemp Dent Pract*, 20: 1339-1344.
- Alani, A. H., Toh, C. G. (1997). Detection of microleakage around dental restorations: a review. *Oper Dent*, 22: 173-185.

- Alhabdan, A. A. (2017). Review of microleakage evaluation tools. *Journal of International Oral Health*, 9: 141.
- Alomari, F. A., Al-Hababbeh, R., Alsakarna, B. K. (2011). Responses of pulp sensibility tests during orthodontic treatment and retention. *Int Endod J*, 44: 635-643.
- Alptekin, T., Ozer, F., Unlu, N., Cobanoglu, N., Blatz, M. B. (2010). In vivo and in vitro evaluations of microleakage around Class I amalgam and composite restorations. *Oper Dent*, 35: 641-648.
- Alqaderi, H. E., Al-Mutawa, S. A., Qudeimat, M. A. (2014). MTA pulpotomy as an alternative to root canal treatment in children's permanent teeth in a dental public health setting. *J Dent*, 42: 1390-1395.
- Altun, C. (2004). Restoratif diş hekimliğinde mikrosızıntı. *Gülhane Tıp Derg.*, 46: 264-269.
- Andelin, W. E., Shabahang, S., Wright, K., Torabinejad, M. (2003). Identification of hard tissue after experimental pulp capping using dentin sialoprotein (DSP) as a marker. *J Endod*, 29: 646-650.
- Andreasen, J. O., Andreasen, F. M., Skeie, A., Hjørtting-Hansen, E., Schwartz, O. (2002). Effect of treatment delay upon pulp and periodontal healing of traumatic dental injuries -- a review article. *Dent Traumatol*, 18: 116-128.
- Arandi, N. Z., Rabi, T. (2018). TheraCal LC: From Biochemical and Bioactive Properties to Clinical Applications. *Int J Dent*.
- Arias-Moliz, M. T., Farrugia, C., Lung, C. Y. K., Wismayer, P. S., Camilleri, J. (2017). Antimicrobial and biological activity of leachate from light curable pulp capping materials. *J Dent*, 64: 45-51.
- Arun, A., Mythri, H., Chachapan, D. (2015). Pulp vitality tests - an overview on comparison of sensitivity and vitality. *Indian Journal of Oral Sciences*, 6: 41.
- Asgary, S., Ahmadyar, M. (2013a). Vital pulp therapy using calcium-enriched mixture: An evidence-based review. *J Conserv Dent*, 16: 92-98.
- Asgary, S., Eghbal, M. J. (2013b). Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials: a multi-center randomized controlled trial. *Acta Odontol Scand*, 71: 130-136.
- Asgary, S., Eghbal, M. J., Fazlyab, M., Baghban, A. A., Ghoddusi, J. (2015). Five-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: a non-inferiority multicenter randomized clinical trial. *Clin Oral Investig*, 19: 335-341.
- Ashy, L. M., Marghalani, H. (2022). Internal and Marginal Adaptation of Adhesive Resin Cements Used for Luting Inlay Restorations: An In Vitro Micro-CT Study. *Materials (Basel)*, 15.
- Bächli, K., Schmidlin, P. R., Wegehaupt, F., Paqué, F., Ramenzoni, L., Botter, S. (2019). Remineralization of Artificial Dentin Caries Using Dentin and Enamel Matrix Proteins. *Materials (Basel)*, 12.
- Bagheri, G. H., Sadr, A., Espigares, J., Hariri, I., Nakashima, S., Hamba, H., Shafiei, F., Moztarzadeh, F., Tagami, J. (2015). Study on the influence of leucine-rich amelogenin peptide (LRAP) on the remineralization of enamel defects via micro-focus x-ray computed tomography and nanoindentation. *Biomed Mater*, 10: 035007.
- Bakhtiar, H., Nekoofar, M. H., Aminishakib, P., Abedi, F., Naghi Moosavi, F., Esnaashari, E., Azizi, A., Esmailian, S., Ellini, M. R., Mesgarzadeh, V., Sezavar, M., About, I. (2017). Human Pulp

Responses to Partial Pulpotomy Treatment with TheraCal as Compared with Biodentine and ProRoot MTA: A Clinical Trial. *J Endod*, 43: 1786-1791.

Bakland, L. K., Andreasen, J. O. (2012). Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dent Traumatol*, 28: 25-32.

Barrieshi-Nusair, K. M., Hammad, H. M. (2005). Intracoronar sealing comparison of mineral trioxide aggregate and glass ionomer. *Quintessence Int*, 36: 539-545.

Barrieshi-Nusair, K. M., Qudeimat, M. A. (2006). A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate for partial pulpotomy in cariously exposed permanent teeth. *J Endod*, 32: 731-735.

Barthel, C. R., Rosenkranz, B., Leuenberg, A., Roulet, J. F. (2000). Pulp capping of carious exposures: treatment outcome after 5 and 10 years: a retrospective study. *J Endod*, 26: 525-528.

Bastos, J. V., Goulart, E. M, De Souza Côrtes, M. I. (2014). Pulpal response to sensibility tests after traumatic dental injuries in permanent teeth. *Dent Traumatol*, 30: 188-192.

Bauer, J. R., Reis, A., Loguercio, A. D., Barroso, L. P., Grande, R. H. (2005). Effects of aging methods on microleakage of an adhesive system used as a sealant on contaminated surfaces. *J Appl Oral Sci*, 13: 377-381.

Belobrov, I., Parashos, P. (2011). Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 37: 1017-1020.

Bergenholtz, G. (2005). Advances since the paper by Zander and Glass (1949) on the pursuit of healing methods for pulpal exposures: historical perspectives. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 100: 102-108.

Bergenholtz, G., Axelsson, S., Davidson, T., Frisk, F., Hakeberg, M., Kvist, T., Norlund, A., Petersson, A., Portenier, I., Sandberg, H., Tranæus, S., Mejare, I. (2013). Treatment of pulps in teeth affected by deep caries - A systematic review of the literature. *Singapore Dent J*, 34: 1-12.

Berk, H., Krakow, A. A. (1972). A comparison of the management of pulpal pathosis in deciduous and permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 34: 944-955.

Berman, L. H. , Rotstein, I. (2021). *Diagnosis*. (12. Baskı). Elsevier.

Bezgin, T., Yüksel, B. N., Demirel, A. (2023). *Pulpası geri dönüşümsüz olarak etkilenmiş genç sürekli dişlerde güncel tedavi yaklaşımları*. Türkiye Klinikleri.

Bhaskar, S. N., Rappaport, H. M. (1973). Dental vitality tests and pulp status. *J Am Dent Assoc*, 86: 409-411.

Bierma, M. M., Mcclanahan, S., Baisden, M. K., Bowles, W. R. (2012). Comparison of heat-testing methodology. *J Endod*, 38: 1106-1109.

Bilgili Can, D., Özarslan, M. (2023). 3D-2D microleakage assessment of preheated bulk-fill composite resin applied with different parameters: a micro-CT analysis. *Odontology*, 111: 942-952.

Bimstein, E., Rotstein, I. (2016). Cvek pulpotomy - revisited. *Dent Traumatol*, 32: 438-442.

Bjørndal, L., Larsen, T. (2000). Changes in the cultivable flora in deep carious lesions following a stepwise excavation procedure. *Caries Res*, 34: 502-508.

Bjørndal, L., Larsen, T., Thylstrup, A. (1997). A clinical and microbiological study of deep carious lesions during stepwise excavation using long treatment intervals. *Caries Res*, 31: 411-417.

- Blicher, B., Walton, R. E., Torabinejad, M. (2021). *Endodontic diagnosis and treatment planning*. (6. Baskı ed.). Elsevier.
- Bogen, G., Dammaschke, T., Chandler, N. (2021). *Vital pulp therapy*. Elsevier.
- Bortoluzzi, E. A., Niu, L. N., Palani, C. D., El-Awady, A. R., Hammond, B. D., Pei, D. D., Tian, F. C., Cutler, C. W., Pashley, D. H., Tay, F. R. (2015). Cytotoxicity and osteogenic potential of silicate calcium cements as potential protective materials for pulpal revascularization. *Dent Mater*, 31: 1510-1522.
- Brannstrom, M. (1986). The hydrodynamic theory of dentinal pain: sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome. *J Endod*, 12: 453-457.
- Bystrom, A., Claesson, R., Sundqvist, G. (1985). The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endod Dent Traumatol*, 1: 170-175.
- Cagidiaco, M. C., Ferrari, M., Garberoglio, R., Davidson, C. L. (1996). Dentin contamination protection after mechanical preparation for veneering. *Am J Dent*, 9: 57-60.
- Caliskan, M. K. (1993). Success of pulpotomy in the management of hyperplastic pulpitis. *Int Endod J*, 26: 142-148.
- Caliskan, M. K. (1995). Pulpotomy of carious vital teeth with periapical involvement. *Int Endod J*, 28: 172-176.
- Camargo, S. E., Camargo, C. H., Hiller, K. A., Rode, S. M., Schweikl, H., Schmalz, G. (2009). Cytotoxicity and genotoxicity of pulp capping materials in two cell lines. *Int Endod J*, 42: 227-237.
- Camilleri, J. (2007). Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 40: 462-470.
- Camilleri, J. (2014b). Hydration characteristics of Biodentine and Theracal used as pulp capping materials. *Dent Mater*, 30: 709-715.
- Camilleri, J. (2015b). Mineral trioxide aggregate: Present and future developments. *Endod Topics*, 32: 31-46.
- Camilleri, J., Laurent, P., About, I. (2014). Hydration of Biodentine, Theracal LC, and a prototype tricalcium silicate-based dentin replacement material after pulp capping in entire tooth cultures. *J Endod*, 40: 1846-1854.
- Camilleri, J., Pitt Ford, T. R. (2006). Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J*, 39: 747-754.
- Camp, J. H. (2008). Diagnosis dilemmas in vital pulp therapy: treatment for the toothache is changing, especially in young, immature teeth. *Pediatr Dent*, 30: 197-205.
- Campioni, I., Pecci, R., Bedini, R. (2020). Ten years of micro-CT in dentistry and maxillofacial surgery: a literature overview. *Applied Sciences*, 10: 4328.
- Camps, J., Pashley, D. (2003). Reliability of the dye penetration studies. *J Endod*, 29: 592-594.
- Carrera, C. A., Lan, C., Escobar-Sanabria, D., Li, Y., Rudney, J., Aparicio, C., Fok, A. (2015). The use of micro-CT with image segmentation to quantify leakage in dental restorations. *Dent Mater*, 31: 382-390.

- Celiberti, P., Lussi, A. (2005). Use of a self-etching adhesive on previously etched intact enamel and its effect on sealant microleakage and tag formation. *J Dent*, 33: 163-171.
- Cervino, G., Laino, L., D'amico, C., Russo, D., Nucci, L., Amoroso, G., Gorassini, F., Tepedino, M., Terranova, A., Gambino, D., Mastroieni, R., Tözüm, M. D., Fiorillo, L. (2020). Mineral Trioxide Aggregate Applications in Endodontics: A Review. *Eur J Dent*, 14: 683-691.
- Chacko, V., Kurikose, S. (2006). Human pulpal response to mineral trioxide aggregate (MTA): a histologic study. *J Clin Pediatr Dent*, 30: 203-209.
- Chailertvanitkul, P., Paphangkorakit, J., Sooksantisakoonchai, N., Pumas, N., Pairojamornyoot, W., Leela-Apiradee, N., Abbott, P. V. (2014). Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. *Int Endod J*, 47: 835-842.
- Chen, G., Fan, W., Mishra, S., El-Atem, A., Schuetz, M. A., Xiao, Y. (2012). Tooth fracture risk analysis based on a new finite element dental structure models using micro-CT data. *Comput Biol Med*, 42: 957-963.
- Chiang, Y. C., Rösch, P., Dabanoglu, A., Lin, C. P., Hickel, R., Kunzelmann, K. H. (2010). Polymerization composite shrinkage evaluation with 3D deformation analysis from microCT images. *Dent Mater*, 26: 223-231.
- Chinadet, W., Sutharaphan, T., Chompu-Inwai, P. (2019). Biodentine™ Partial Pulpotomy of a Young Permanent Molar with Signs and Symptoms Indicative of Irreversible Pulpitis and Periapical Lesion: A Case Report of a Five-Year Follow-Up. *Case Rep Dent*.
- Cho, E., Sadr, A., Inai, N., Tagami, J. (2011). Evaluation of resin composite polymerization by three dimensional micro-CT imaging and nanoindentation. *Dent Mater*, 27: 1070-1078.
- Cho, S. Y., Seo, D. G., Lee, S. J., Lee, J., Lee, S. J, Jung, I. Y. (2013). Prognostic factors for clinical outcomes according to time after direct pulp capping. *J Endod*, 39: 327-331.
- Christensen, G. J. (1998). Pulp capping 1998. *J Am Dent Assoc*, 129: 1297-1299.
- Chueh, L. H., Chiang, C. P. (2010). Histology of Irreversible pulpitis premolars treated with mineral trioxide aggregate pulpotomy. *Oper Dent*, 35: 370-374.
- Cohen, B. D., Combe, E. C. (1994). Development of new adhesive pulp capping materials. *Dent Update*, 21: 57-62.
- Collado-González, M., García-Bernal, D., Oñate-Sánchez, R. E., Ortolani-Seltenerich, P. S., Álvarez-Muro, T., Lozano, A., Forner, L., Llena, C., Moraleda, J. M., Rodríguez-Lozano, F. J. (2017). Cytotoxicity and bioactivity of various pulpotomy materials on stem cells from human exfoliated primary teeth. *Int Endod J*, 50(2): 19-30.
- Costa, J. F., Siqueira, W. L., Loguercio, A. D., Reis, A., Oliveira, E., Alves, C. M., Bauer, Jr., Grande, R. H. (2011). Characterization of aqueous silver nitrate solutions for leakage tests. *J Appl Oral Sci*, 19: 254-259.
- Cox, C. F., Bogen, G., Kopel, H. M., Ruby, J. D. (2002). *Repair of pulpal injury by dental materials*. Quintessence.
- Cox, C. F., Sübay, R. K., Ostro, E., Suzuki, S., Suzuki, S. H. (1996). Tunnel defects in dentin bridges: their formation following direct pulp capping. *Oper Dent*, 21: 4-11.
- Cvek, M. (1978). A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *J Endod*, 4: 232-237.

- Cvek, M. (1993). Partial Pulpotomy in Crown - Fractured Incisors - Results 3 to 15 Years After Treatment. *Acta stomatologica Croatica*, 27: 167-173.
- Da Rosa, W. L. O., Piva, E., Da Silva, A. F. (2018). Disclosing the physiology of pulp tissue for vital pulp therapy. *Int Endod J*, 51: 829-846.
- Dandakis, C., Kaliva, M., Lambrianidis, T., Kosti, E. (2005). An in vitro comparison of the sealing ability of three endodontic sealers used in canals with iatrogenic enlargement of the apical constriction. *J Endod*, 31: 190-193.
- Danesh, G., Dammaschke, T., Gerth, H. U., Zandbiglari, T., Schäfer, E. (2006). A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. *Int Endod J*, 39: 213-219.
- Darwish, S. S., Abd El Meguid, S. H., Wahba, N. A., Mohamed, A. A., Chrzanowski, W., Abou Neel, E. A. (2014). Root maturation and dentin-pulp response to enamel matrix derivative in pulpotomized permanent teeth. *J Tissue Eng*, 5.
- Dawood, A. E., Parashos, P., Wong, R. H. K., Reynolds, E. C., Manton, D. J. (2017). Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *J Investig Clin Dent*, 8
- De Blanco, L. P. (1996). Treatment of crown fractures with pulp exposure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 82: 564-568.
- Dean, J. A. (2016). *Examination of the mouth and other relevant structures*. (10. Baskı). Elsevier.
- Déjou, J., Sindres, V., Camps, J. (1996). Influence of criteria on the results of in vitro evaluation of microleakage. *Dent Mater*, 12: 342-349.
- Diamanti, E., Mathieu, S., Jeanneau, C., Kitraki, E., Panopoulos, P., Spyrou, G., About, I. (2013). Endoplasmic reticulum stress and mineralization inhibition mechanism by the resinous monomer HEMA. *Int Endod J*, 46: 160-168.
- Diogenes, A., Botero, T., Kang, M. (2021). *Management of the vital pulp and of immature teeth*. . Elsevier.
- Djomehri, S. I., Candell, S., Case, T., Browning, A., Marshall, G. W., Yun, W., Lau, S. H., Webb, S., Ho, S. P. (2015). Mineral density volume gradients in normal and diseased human tissues. *PLoS One*, 10.
- Dominguez, M. S., Witherspoon, D. E., Gutmann, J. L., Opperman, L. A. (2003). Histological and scanning electron microscopy assessment of various vital pulp-therapy materials. *J Endod*, 29: 324-333.
- Eggmann, F., Gasser, T. J. W., Hecker, H., Amato, M., Weiger, R., Zaugg, L. K. (2022). Partial pulpotomy without age restriction: a retrospective assessment of permanent teeth with carious pulp exposure. *Clin Oral Investig*, 26: 365-373.
- Eghbal, M. J., Asgary, S., Baglue, R. A., Parirokh, M., Ghoddusi, J. (2009). MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis. *Aust Endod J*, 35: 4-8.
- Eick, J. D., Gwinnett, A. J., Pashley, D. H., Robinson, S. J. (1997). Current concepts on adhesion to dentin. *Crit Rev Oral Biol Med*, 8: 306-335.
- Eick, J. D., Welch, F. H. (1986). Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quintessence Int*, 17: 103-111.

- El-Housseiny, A. A., Farsi, N. (2002). Sealing ability of a single bond adhesive in primary teeth. An in vivo study. *Int J Paediatr Dent*, 12: 265-270.
- El-Meligy, O. A., Avery, D. R. (2006). Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as pulpotomy agents in young permanent teeth (apexogenesis). *Pediatr Dent*, 28: 399-404.
- El Ashiry, E. A., Alamoudi, N. M., Farsi, N. M., Al Tuwirqi, A. A., Attar, M. H., Alag, H. K. (2019). The use of micro-computed tomography for evaluation of internal adaptation of dental restorative materials in primary molars: an in-vitro study. *Int J Pharm Res Allied Sci*, 8: 129-137.
- Elbanna, A., Atta, D., Sherief, D. I. (2022). In vitro bioactivity of newly introduced dual-cured resin-modified calcium silicate cement. *Dent Res J (Isfahan)*, 19: 1.
- Emine, S. T., Tuba, U. A. (2011). White mineral trioxide aggregate pulpotomies: Two case reports with long-term follow-up. *Contemp Clin Dent*, 2: 381-384.
- Erdemir, U., Yaman, B.C. (2011). Diş hekimliğinde mikrosızıntı ve mikrosızıntı araştırma yöntemleri. *. İstanbul Univ Dis Hekim Fak Derg*, 45: 25-35.
- Eriksen, H. M., Skogedal, O. (1976). Effect of composite resin restorations in monkeys teeth with experimentally induced pulpitis. *Scand J Dent Res*, 84: 297-303.
- Erpaçal, B., Adıgüzel, Ö., CANGÜL, S. (2019). The use of micro-computed tomography in dental applications. *Int Dent Res*, 9(2): 78-91.
- Eskandarizadeh, A., Shahpasandzadeh, M. H., Shahpasandzadeh, M., Torabi, M., Parirokh, M. (2011). A comparative study on dental pulp response to calcium hydroxide, white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents. *J Conserv Dent*, 14: 351-355.
- Evans, D., Reid, J., Strang, R., Stirrups, D. (1999). A comparison of laser Doppler flowmetry with other methods of assessing the vitality of traumatised anterior teeth. *Endod Dent Traumatol*, 15: 284-290.
- Fabianelli, A., Pollington, S., Davidson, C., Cagidiaco, M. C., Goracci, C. (2007). The relevance of microleakage studies. *Int Dent SA*, 9: Int Dent SA.
- Falakaloğlu, S., Yeniçeri Özata, M., Plotino, G. (2023). Micro-shear bond strength of different calcium silicate materials to bulk-fill composite. *PeerJ*, 11.
- Farges, J. C., Alliot-Licht, B., Renard, E., Ducret, M., Gaudin, A., Smith, A. J., Cooper, P. R. (2015). Dental Pulp Defence and Repair Mechanisms in Dental Caries. *Mediators Inflamm*.
- Farhad, A., Mohammadi, Z. (2005). Calcium hydroxide: a review. *Int Dent J*, 55: 293-301.
- Farsi, N., Alamoudi, N., Balto, K., Al Mushayt, A. (2006). Clinical assessment of mineral trioxide aggregate (MTA) as direct pulp capping in young permanent teeth. *J Clin Pediatr Dent*, 31: 72-76.
- Fava, L. R., Saunders, W. P. (1999). Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *Int Endod J*, 32: 257-282.
- Feilzer, A. J., De Gee, A. J., Davidson, C. L. (1988). Curing contraction of composites and glass-ionomer cements. *J Prosthet Dent*, 59: 297-300.
- Finger, W. J., Inoue, M., Asmussen, E. (1994). Effect of wettability of adhesive resins on bonding to dentin. *Am J Dent*, 7: 35-38.

- Fischer, E. J., Arens, D. E., Miller, C. H. (1998). Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and Super-EBA as a root-end filling material. *J Endod*, 24: 176-179.
- Fong, C. D., Davis, M. J. (2002). Partial pulpotomy for immature permanent teeth, its present and future. *Pediatr Dent*, 24: 29-32.
- Ford, T. R., Torabinejad, M., Abedi, H. R., Bakland, L. K., Kariyawasam, S. P. (1996). Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc*, 127: 1491-1494.
- Ford, T. R., Torabinejad, M., Mckendry, D. J., Hong, C. U., Kariyawasam, S. P. (1995). Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 79: 756-763.
- Fridland, M., Rosado, R. (2005). MTA solubility: a long term study. *J Endod*, 31: 376-379.
- Fristad, I., Berggreen, E. (2021). *Structure and functions of the dentin-pulp complex*. Elsevier.
- Fulling, H. J., Andreasen, J. O. (1976a). Influence of maturation status and tooth type of permanent teeth upon electrometric and thermal pulp testing. *Scand J Dent Res*, 84: 286-290.
- Fulling, H. J., Andreasen, J. O. (1976b). Influence of splints and temporary crowns upon electric and thermal pulp-testing procedures. *Scand J Dent Res*, 84: 291-296.
- Fuss, Z., Trowbridge, H., Bender, I. B., Rickoff, B., Sorin, S. (1986). Assessment of reliability of electrical and thermal pulp testing agents. *J Endod*, 12: 301-305.
- Gandolfi, M. G., Siboni, F., Botero, T., Bossù, M., Riccitiello, F., Prati, C. (2015). Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *J Appl Biomater Funct Mater*, 13: 43-60.
- Gandolfi, M. G., Siboni, F., Prati, C. (2012). Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J*, 45: 571-579.
- Gandolfi, M. G., Siboni, F., Taddei, P., Modena, E., Prati, C. (2011). Apatite forming ability of Theracal pulp capping material. *J Dent Res*, 90: 2521.
- Gazeliuss, B., Olgart, L., Edwall, B., Edwall, L. (1986). Non-invasive recording of blood flow in human dental pulp. *Endod Dent Traumatol*, 2: 219-221.
- Ghavami-Lahiji, M., Davalloo, R. T., Tajziehchi, G., Shams, P. (2021). Micro-computed tomography in preventive and restorative dental research: A review. *Imaging Sci Dent*, 51: 341-350.
- Ghosh, D., Bhardwaj, S., Koyalada, S., Mahajan, B., Verma, S., Nayak, B. (2020). Comparison of efficacy of ozonated water, normal saline, and povidone-iodine after surgical removal of impacted mandibular third molars: A cross-sectional study. *J Family Med Prim Care*, 9: 4139-4144.
- Goldberg, M. (2008). In vitro and in vivo studies on the toxicity of dental resin components: a review. *Clin Oral Investig*, 12: 1-8.
- Goldberg, M., Farges, J. C., Lacerda-Pinheiro, S., Six, N., Jegat, N., Decup, F., Septier, D., Carrouel, F., Durand, S., Chaussain-Miller, C., Denbesten, P., Veis A., Poliard, A. (2008). Inflammatory and immunological aspects of dental pulp repair. *Pharmacol Res*, 58: 137-147.
- Good, D. L. (1999). Effects of materials used in pediatric dentistry on the pulp: a review of the literature. *J Calif Dent Assoc*, 27: 861-867.

- Goodis, H. E., Marshall, G. W. Jr., White, J. M., Gee, L., Hornberger, B., Marshall, S. J. (1993). Storage effects on dentin permeability and shear bond strengths. *Dent Mater*, 9: 79-84.
- Gopakumar, M., R, G. (2011). Diagnostic Aids in Pediatric Dentistry. *Int J Clin Pediatr Dent*, 4: 1-7.
- Gopikrishna, V., Pradeep, G., Venkateshbabu, N. (2009). Assessment of pulp vitality: a review. *Int J Paediatr Dent*, 19: 3-15.
- Grande, N. M., Plotino, G., Gambarini, G., Testarelli, L., D'ambrosio, F., Pecci, R., Bedini, R. (2012). Present and future in the use of micro-CT scanner 3D analysis for the study of dental and root canal morphology. *Ann Ist Super Sanita*, 48: 26-34.
- Grech, L., Mallia, B., Camilleri, J. (2013). Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater*, 29: 20-28.
- Grossman, E. S., Matejka, J. M. (1993). In vitro marginal leakage in varnished and lined amalgam restorations. *J Prosthet Dent*, 69: 469-474.
- Grossman, L. I. (1939). A study of temporary fillings as hermetic sealing agents. *Journal of Dental Research*, 18: 67-71.
- Gunal, E., Bezgin, T., Ocak, M., Bilecenoglu, B. (2021). Effects of various thicknesses and levels of mineral trioxide aggregate coronal plugs on nanoleakage and fracture resistance in revascularization: An in vitro study. *Aust Endod J*, 47: 608-615.
- Gwinnett, J. A., Tay, F. R., Pang, K. M., Wei, S. H. (1995). Comparison of three methods of critical evaluation of microleakage along restorative interfaces. *J Prosthet Dent*, 74: 575-585.
- Ha, W. N., Nicholson, T., Kahler, B., Walsh, L. J. (2017). Mineral Trioxide Aggregate-A Review of Properties and Testing Methodologies. *Materials (Basel)*, 10.
- Hacıoğulları, İ., Ulusoy, N., Cengiz, E. (2016). Derin Dentin Çürüklerinin Tedavisinde Alternatif Yeni Yöntemler. . *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 120-136.
- Haghighi, R., Arfa, S., Asgary, S. (2013). Microleakage of CEM Cement and ProRoot MTA as Furcal Perforation Repair Materials in Primary Teeth. *Iran Endod J*, 8: 187-190.
- Hahn, C. L., Liewehr, F. R. (2007a). Innate immune responses of the dental pulp to caries. *J Endod*, 33: 643-651.
- Hahn, C. L., Liewehr, F. R. (2007b). Relationships between caries bacteria, host responses, and clinical signs and symptoms of pulpitis. *J Endod*, 33: 213-219.
- Hakimeh, S., Vaidyanathan, J., Houpt, M. L., Vaidyanathan, T. K., Von Hagen, S. (2000). Microleakage of compomer class V restorations: effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. *J Prosthet Dent*, 83: 194-203.
- Hamba, H., Nikaido, T., Sadr, A., Nakashima, S., Tagami, J. (2012). Enamel lesion parameter correlations between polychromatic micro-CT and TMR. *J Dent Res*, 91: 586-591.
- Hammarström, L. (1997). Enamel matrix, cementum development and regeneration. *J Clin Periodontol*, 24: 658-668.
- Hammesfahr, P. D., Huang, C. T., Shaffer, S. E. (1987). Microleakage and bond strength of resin restorations with various bonding agents. *Dent Mater*, 3: 194-199.
- Han, L., Okamoto, A., Iwaku, M. (1992). The effects of various clinical factors on marginal enamel micro-cracks produced around composite restoration. *Dent Mater J*, 11: 26-37.

- Han, S. H., Sadr, A., Tagami, J., Park, S. H. (2016). Non-destructive evaluation of an internal adaptation of resin composite restoration with swept-source optical coherence tomography and micro-CT. *Dent Mater*, 32: 1-7.
- Hanna, S. N., Perez Alfayate, R., Prichard, J. (2020). Vital Pulp Therapy an Insight Over the Available Literature and Future Expectations. *Eur Endod J*, 5: 46-53.
- Harinkher, C., Patni, P. M., Jain, P., Raghuwanshi, S., Pandey, S. H., Bilaiya, S. (2023). Comparison of the sealing ability amongst orthograde apical plugs of mineral trioxide aggregate plus, mineral trioxide aggregate repair HP, and Biodentine after root resection: a bacterial leakage study. *Odontology*,
- Hashem, D. F., Foxton, R., Manoharan, A., Watson, T. F., Banerjee, A. (2014). The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration. *Dent Mater*, 30: 343-349.
- Hatibović-Kofman, S., Raimundo, L., Zheng, L., Chong, L., Friedman, M., Andreasen, J. O. (2008). Fracture resistance and histological findings of immature teeth treated with mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol*, 24: 272-276.
- Hayashi-Sakai, S., Sakamoto, M., Hayashi, T., Kondo, T., Sugita, K., Sakai, J., Shimomura-Kuroki, J., Ike, M., Nikkuni, Y., Nishiyama, H. (2019). Evaluation of permanent and primary enamel and dentin mineral density using micro-computed tomography. *Oral Radiol*, 35: 29-34.
- Hebling, J., Lessa, F. C., Nogueira, I., Carvalho, R. M., Costa, C. A (2009). Cytotoxicity of resin-based light-cured liners. *Am J Dent*, 22: 137-142.
- Heintze, S., Forjanic, M., Cavalleri, A. (2008). Microleakage of Class II restorations with different tracers--comparison with SEM quantitative analysis. *J Adhes Dent*, 10: 259-267.
- Heys, D. R., Fitzgerald, M., Heys, R. J., Chiego, D. J. Jr. (1990). Healing of primate dental pulps capped with Teflon. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 69: 227-237.
- Hikita, K., Van Meerbeek, B., De Munck, J., Ikeda, T., Van Landuyt, K., Maida, T., Lambrechts, P., Peumans, M. (2007). Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. *Dent Mater*, 23: 71-80.
- Hilton, T. J. (2009). Keys to clinical success with pulp capping: a review of the literature. *Oper Dent*, 34: 615-625.
- Hilton, T. J., Ferracane, J. L., Mancl, L. (2013). Comparison of CaOH with MTA for direct pulp capping: a PBRN randomized clinical trial. *J Dent Res*, 92: 16-22.
- Huang, G. T., Gronthos, S., Shi, S. (2009). Mesenchymal stem cells derived from dental tissues vs. those from other sources: their biology and role in regenerative medicine. *J Dent Res*, 88: 792-806.
- Hume, W. R., Gerzina, T. M. (1996). Bioavailability of components of resin-based materials which are applied to teeth. *Crit Rev Oral Biol Med*, 7: 172-179.
- Imazato, S., McCabe, J. F., Tarumi, H., Ehara, A., Ebisu, S. (2001). Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. *Dent Mater*, 17: 178-183.
- İpek, İ., Ünal, M., Güner, A., Candan, M. (2022). Push-out bond strength of Biodentine, MTA repair HP, and a new pre-mixed NeoPutty bioactive cement: scanning electron microscopy energy dispersive X-ray spectroscopy analysis. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 58: 171-179.

- Islam, I., Chng, H. K., Yap, A. U. (2006). Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *J Endod*, 32: 193-197.
- Iwamoto, C. E., Adachi, E., Pameijer, C. H., Barnes, D., Romberg, E. E., Jefferies, S. (2006). Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping. *Am J Dent*, 19: 85-90.
- Jacker-Guhr, S., Ibarra, G., Oppermann, L. S., Lührs, A. K., Rahman, A., Geurtsen, W. (2016). Evaluation of microleakage in class V composite restorations using dye penetration and micro-CT. *Clin Oral Investig*, 20: 1709-1718.
- Jafarzadeh, H. (2009). Laser Doppler flowmetry in endodontics: a review. *Int Endod J*, 42: 476-490.
- Jafarzadeh, H., Abbott, P. V. (2010). Review of pulp sensibility tests. Part I: general information and thermal tests. *Int Endod J*, 43: 738-762.
- Jeanneau, C., Laurent, P., Rombouts, C., Giraud, T., About, I. (2017). Light-cured Tricalcium Silicate Toxicity to the Dental Pulp. *J Endod*, 43: 2074-2080.
- Jefferies, S. R. (2016). Comparative Performance of Mineral Trioxide Aggregate Versus Calcium Hydroxide as a Direct Pulp Capping Agent. *J. Esthet. Restor. Dent.*, 28: 131-135.
- Jones, J. E., Spolnik, K. J., Yassen, G. H. (2016). *Management of trauma to the teeth and supporting tissues*. (10. Baskı). Elsevier.
- Kang, C. M., Kim, S. H., Shin, Y., Lee, H. S., Lee, J. H., Kim, G. T., Song, J. S. (2015). A randomized controlled trial of ProRoot MTA, OrthoMTA and RetroMTA for pulpotomy in primary molars. *Oral Dis*, 21: 785-791.
- Kang, C. M., Sun, Y., Song, J. S., Pang, N. S., Roh, B. D., Lee, C. Y., Shin, Y. (2017). A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *J Dent*, 60: 8-13.
- Kara Tuncer, A., Kayataş, M., Tuncer, S. (2014). Pulp Diagnostic Tests. *Bezmialem Science*, 2: 61-64.
- Karadağ, A. G. S. (2005). Mikrosızıntı araştırma tekniklerive mikrosızıntıyı etkileyen faktörler. . *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 15: 80-87.
- Kardos, T. B., Hunter, A. R., Hanlin, S. M., Kirk, E. E. (1998). Odontoblast differentiation: a response to environmental calcium? *Endod Dent Traumatol*, 14: 105-111.
- Kaur, J., Kapoor, D., Garg, D., Sunil, M. K., Sawhney, A., Malaviya, N., Tripathi, S., Arora, S. (2015). Evaluation of Microleakage of Dental Composites Using Bonding Agents with Different Placement Techniques: An İn vitro Study. *J Clin Diagn Res*, 9: 61-64.
- Kaur, M., Singh, H., Dhillon, J. S., Batra, M., Saini, M. (2017). MTA versus Biodentine: Review of Literature with a Comparative Analysis. *J Clin Diagn Res*, 11: 1-5.
- Keleş, A., Alçin, H. (2015). Mikro Bilgisayarlı Tomografi ve Endodontik Araştırmalardaki Yeri. *Türkiye Klin. J Endod-Special*, 1(3): 32-39.
- Kiatwateeratana, T., Kintarak, S., Piwat, S., Chankanka, O., Kamaolmatyakul, S., Thearmontree, A. (2009). Partial pulpotomy on caries-free teeth using enamel matrix derivative or calcium hydroxide: a randomized controlled trial. *Int Endod J*, 42: 584-592.
- Kidd, E. A. (1976). Microleakage: a review. *J Dent*, 4: 199-206.

- Kim, J. C., Moe, M. M. K., Kim, S. K (2020). A micro-computed tomographic evaluation of root canal filling with a single gutta-percha cone and calcium silicate sealer. *Restor Dent Endod*, 45: 18.
- Kim, J. H., Kim, S. Y., Woo, S. M., Jeong, H. N., Jung, J. Y., Kim, S. M., Lim, H. S. (2019). Combination of mineral trioxide aggregate and propolis promotes odontoblastic differentiation of human dental pulp stem cells through ERK signaling pathway. *Food Sci Biotechnol*, 28: 1801-1809.
- Kim, M., Lee, S. H., Shin, D. H. (2023). In Vitro Study of the Biological and Physical Properties of Dual-Cure Resin-Modified Calcium Silicate-Based Cement. *Dent J (Basel)*, 11.
- Kim, S. (1990). Neurovascular interactions in the dental pulp in health and inflammation. *J Endod*, 16: 48-53.
- Kim, S., Trowbridge, H., Suda, H. (2002). *Pulpal reaction to caries and dental procedures*. (8. Baskı). Mosby Elsevier.
- Kim, Y., Lee, D., Kim, H. M., Kye, M., Kim, S. Y. (2021). Biological Characteristics and Odontogenic Differentiation Effects of Calcium Silicate-Based Pulp Capping Materials. *Materials (Basel)*, 14.
- Koc Vural, U., Kiremitci, A., Gokalp, S. (2017). Randomized Clinical Trial to Evaluate MTA Indirect Pulp Capping in Deep Caries Lesions After 24-Months. *Oper Dent*, 42: 470-477.
- Koh, E. T., McDonald, F., Pitt Ford, T. R., Torabinejad, M. (1998). Cellular response to Mineral Trioxide Aggregate. *J Endod*, 24: 543-547.
- Koh, E. T., Torabinejad, M., Pitt Ford, T. R., Brady K, McDonald, F. (1997). Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *J Biomed Mater Res*, 37: 432-439.
- Komabayashi, T., Zhu, Q., Eberhart, R., Imai, Y. (2016). Current status of direct pulp-capping materials for permanent teeth. *Dent Mater J*, 35: 1-12.
- Kontakiotis, E. G., Georgopoulou, M. K., Morfis, A. S. (2001). Dye penetration in dry and water-filled gaps along root fillings. *Int Endod J*, 34: 133-136.
- Koubi, S., Elmerini, H., Koubi, G., Tassery, H., Camps, J. (2012). Quantitative evaluation by glucose diffusion of microleakage in aged calcium silicate-based open-sandwich restorations. *Int J Dent*.
- Koutroulis, A., Kuehne, S. A., Cooper, P. R., Camilleri, J. (2019). The role of calcium ion release on biocompatibility and antimicrobial properties of hydraulic cements. *Sci Rep*, 9.
- Krejci, I., Lutz, F. (1991). Marginal adaptation of Class V restorations using different restorative techniques. *J Dent*, 19: 24-32.
- Kumar, M., Mohan, L., Lakshminarayanan, L. (2004). Methods Of Detecting Microleakage. *Journal of Conservative Dentistry*, 7: 79-87.
- Kunert, M., Lukomska-Szymanska, M. (2020). Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping-A Review Article. *Materials (Basel)*, 13.
- Kuratate, M., Yoshiba, K., Shigetani, Y., Yoshiba, N., Ohshima, H., Okiji, T. (2008). Immunohistochemical analysis of nestin, osteopontin, and proliferating cells in the reparative process of exposed dental pulp capped with mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 34: 970-974.
- Kurt, M. H., Orhan, K. (2014). The use of Micro-CT in dentistry. *Turkiye Klin. J Oral Maxillofac Radiol-Special* 2(1): 14-21.

- Kurun Aksoy, M., Tulga Oz .F., Orhan, K. (2017). Evaluation of calcium (Ca²⁺) and hydroxide (OH⁻) ion diffusion rates of indirect pulp capping materials. *Int J Artif Organs*, 40: 641-646.
- Küden, C., Karakaş, S. N., Batmaz, S. G. (2022). Comparative chemical properties, bioactivity, and cytotoxicity of resin-modified calcium silicate-based pulp capping materials on human dental pulp stem cells. *Clin Oral Investig*, 26: 6839-6853.
- Langeland, K. (1981). Management of the inflamed pulp associated with deep carious lesion. *J Endod*, 7: 169-181.
- Lansdown, A. B. (2002). Calcium: a potential central regulator in wound healing in the skin. *Wound Repair Regen*, 10: 271-285.
- Lederer, A., Kunzelmann, K. H., Heck, K., Hickel, R., Litzenburger, F. (2019). In-vitro validation of near-infrared reflection for proximal caries detection. *Eur J Oral Sci*, 127: 515-522.
- Lee, S., Park, Y. T., Setzer, F. C. (2020). Combined Regenerative and Vital Pulp Therapies in an Immature Mandibular Molar: A Case Report. *J Endod*, 46: 1085-1090.
- Lee, S. J., Monsef, M., Torabinejad, M. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod*, 19: 541-544.
- Li, H., Burrow, M. F., Tyas, M. J. (2003). The effect of concentration and pH of silver nitrate solution on nanoleakage. *J Adhes Dent*, 5: 19-25.
- Li, Y., Sui, B., Dahl, C., Bergeron, B., Shipman, P., Niu, L., Chen, J., Tay, F. R. (2019). Pulpotomy for carious pulp exposures in permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*, 84: 1-8.
- Linsuwanont, P., Wimonstuthikul, K., Pothimoke, U., Santiwong, B. (2017). Treatment Outcomes of Mineral Trioxide Aggregate Pulpotomy in Vital Permanent Teeth with Carious Pulp Exposure: The Retrospective Study. *J Endod*, 43: 225-230.
- Liu, S., Wang, S., Dong, Y. (2015). Evaluation of a bioceramic as a pulp capping agent in vitro and in vivo. *J Endod*, 41: 652-657.
- Loguercio, A. D., De Oliveira Bauer, J. R., Reis, A., Grande, R. H. (2004). In vitro microleakage of packable composites in Class II restorations. *Quintessence Int*, 35: 29-34.
- Lösche, G. M. (1999). Marginal adaptation of Class II composite fillings: guided polymerization vs reduced light intensity. *J Adhes Dent*, 1: 31-39.
- Mahrous, A. I., Eltiti, H. A., Ahmed, I. M., Alagha, E. I. (2015). Effect of different gingival margin restorations of class II cavities on microleakage: an in-vitro study. *Electron Physician*, 7: 1435-1440.
- Majkut, P., Sadr, A., Shimada, Y., Sumi, Y., Tagami, J. (2015). Validation of Optical Coherence Tomography against Micro-computed Tomography for Evaluation of Remaining Coronal Dentin Thickness. *J Endod*, 41: 1349-1352.
- Makkar, S., Kaur, H., Aggarwal, A., Vashisht, R. (2015). A confocal laser scanning microscopic study evaluating the sealing ability of mineral trioxide aggregate, biodentine and a new pulp capping agent-theracal. . *Dental Journal of Advance Studies*, 3: 20-25.
- Mass, E., Zilberman, U. (1993). Clinical and radiographic evaluation of partial pulpotomy in carious exposure of permanent molars. *Pediatr Dent*, 15: 257-259.

- Mass, E., Zilberman, U. (2011). Long-term radiologic pulp evaluation after partial pulpotomy in young permanent molars. *Quintessence Int*, 42: 547-554.
- Matsuo, T., Nakanishi, T., Shimizu, H., Ebisu, S. (1996). A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod*, 22: 551-556.
- Mejare, I., Cvek, M. (1993). Partial pulpotomy in young permanent teeth with deep carious lesions. *Endod Dent Traumatol*, 9: 238-242.
- Memarpour, M., Mesbahi, M., Shafiei, F. (2010). Three-and-a-half-year clinical evaluation of posterior composite resin in children. *J Dent Child (Chic)*, 77: 92-98.
- Menon, N. P., Varma, B. R., Janardhanan, S., Kumaran, P., Xavier, A. M., Govinda, B. S. (2016). Clinical and radiographic comparison of indirect pulp treatment using light-cured calcium silicate and mineral trioxide aggregate in primary molars: A randomized clinical trial. *Contemp Clin Dent*, 7: 475-480.
- Mente, J., Hufnagel, S., Leo, M., Michel, A., Gehrig, H., Panagidis, D., Saure, D., Pfefferle, T. (2014). Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: long-term results. *J Endod*, 40: 1746-1751.
- Mertz-Fairhurst, E. J., Curtis, J. W. Jr., Ergle, J. W., Rueggeberg, F. A., Adair, S. M. (1998). Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: results at year 10. *J Am Dent Assoc*, 129: 55-66.
- Minet, J., Abramson, S., Bresson, B., Franceschini, A., Van Dammea, H., Lequeux, N. (2006). Organic Calcium Silicate Hydrate Hybrids: A New Approach to Cement Based Nanocomposite. *Journal of Materials Chemistry* 16 (14): 1379 – 1383.
- Mirfendereski, M., Peters, O. (2012). *Micro-Computed Tomography in Endodontic Research*. (2. Baskı).
- Mitchell, P. J., Pitt Ford, T. R., Torabinejad, M., McDonald, F. (1999). Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials*, 20: 167-173.
- Moorrees, C. F., Gron, A. M., Lebre, L. M., Yen, P. K., Fröhlich, F. J. (1969). Growth studies of the dentition: a review. *Am J Orthod*, 55: 600-616.
- Moreira Júnior, G., Sobrinho, A. P., Nicoli, J. R., Bambirra, E. A., Farias, L. M., Carvalho, M. A., Vieira, E. C. (1999). Evaluation of microbial infiltration in restored cavities--an alternative method. *J Endod*, 25: 605-608.
- Moscovich, H., Creugers, N. H. (1998). The novel use of extracted teeth as a dental restorative material--the 'Natural Inlay'. *J Dent*, 26: 21-24.
- Możyńska, J., Metlerski, M., Lipski, M., Nowicka, A. (2017). Tooth Discoloration Induced by Different Calcium Silicate-based Cements: A Systematic Review of In Vitro Studies. *J Endod*, 43: 1593-1601.
- Muliyar, S., Shameem, K. A., Thankachan, R. P., Francis, P. G., Jayapalan, C. S., Hafiz, K. A. (2014). Microleakage in endodontics. *J Int Oral Health*, 6: 99-104.
- Nair, P. N., Duncan, H. F., Pitt Ford, T. R., Luder, H. U. (2008). Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *Int Endod J*, 41: 128-150.

- Nakamura, K., Mouhat, M., Nergård, J. M., Lægreid, S. J., Kanno, T., Milleding, P., Örtengren, U. (2016). Effect of cements on fracture resistance of monolithic zirconia crowns. *Acta Biomater Odontol Scand*, 2: 12-19.
- Nakashima, M. (1994). Induction of dentin formation on canine amputated pulp by recombinant human bone morphogenetic proteins (BMP)-2 and -4. *J Dent Res*, 73: 1515-1522.
- Närhi, M., Virtanen, A., Kuhta, J., Huopaniemi, T. (1979). Electrical stimulation of teeth with a pulp tester in the cat. *Scand J Dent Res*, 87: 32-38.
- Neelakantan, P., Grotra, D., Subbarao, C. V., Garcia-Godoy, F. (2012). The shear bond strength of resin-based composite to white mineral trioxide aggregate. *J Am Dent Assoc*, 143: 40-45.
- Nielsen, M. J., Casey, J. A., Vanderweele, R. A., Vandewalle, K. S. (2016). Mechanical properties of new dental pulp-capping materials. *Gen Dent*, 64: 44-48.
- Nour, S., Baheiraei, N., Imani, R., Rabiee, N., Khodaei, M., Alizadeh, A., Moazzeni, S. M. (2019). Bioactive Materials: A Comprehensive Review on Interactions with Biological Microenvironment Based on the Immune Response. *Journal of Bionic Engineering*, 16: 563-581.
- Oglakci, B., Kazak, M., Donmez, N., Dalkilic, E. E., Koymen, S. S. (2020). The use of a liner under different bulk-fill resin composites: 3D GAP formation analysis by x-ray microcomputed tomography. *J Appl Oral Sci*, 28.
- Okiji, T., Yoshida, K. (2009). Reparative dentinogenesis induced by mineral trioxide aggregate: a review from the biological and physicochemical points of view. *Int J Dent*.
- Orhan, A. I. (2007). *Tek aşamalı indirekt pulpa tedavisi, iki aşamalı indirekt pulpa tedavisi ve çürüğün tek seansta tamamen kaldırılması yöntemlerinin derin çürüklü süt ve genç sürekli dişlerde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi* Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi J. Ankara.
- Orhan, A. I., Oz, F. T., Orhan, K. (2010). Pulp exposure occurrence and outcomes after 1- or 2-visit indirect pulp therapy vs complete caries removal in primary and permanent molars. *Pediatr Dent*, 32: 347-355.
- Orłowski, M., Tarczydło, B., Chałas, R. (2015). Evaluation of marginal integrity of four bulk-fill dental composite materials: in vitro study. *Scientific World Journal*.
- Özkan, G., Kanli, A., Başeren, N. M., Arslan, U., Tatar, İ. (2015). Validation of micro-computed tomography for occlusal caries detection: an in vitro study. *Braz Oral Res*, 29.
- Öztürk, F., Ersöz, M., Öztürk, S. A., Hatunoğlu, E., Malkoç, S. (2016). Micro-CT evaluation of microleakage under orthodontic ceramic brackets bonded with different bonding techniques and adhesives. *Eur J Orthod*, 38: 163-169.
- Panda, P., Govind, S., Sahoo, S. K., Pattanaik, S., Mallikarjuna, R. M., Nalawade, T., Saraf, S., Khaldi, N. A., Jahdhami, S. A., Shivagange, V., Jena, A. (2023). Analysis of Pulp Tissue Viability and Cytotoxicity of Pulp Capping Agents. *J Clin Med*, 12.
- Parirokh, M., Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-- Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod*, 36: 400-413.
- Parirokh, M., Torabinejad, M., Dummer, P.M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *Int Endod J*, 51: 177-205.

- Patel, M., Patel, H., Kesharani, P., Jani, K., Shah, K., Kapadia, U. (2023). Evaluation of Sealing Ability of MTA Flow, Biodentine and Pro-Root MTA to Seal the Furcal Perforation with and without Internal Matrix- An In vitro Study. *J Pharm Bioallied Sci*, 15: 1192-1194.
- Pedano, M. S., Li, X., Yoshihara, K., Landuyt, K. V., Van Meerbeek, B. (2020). Cytotoxicity and Bioactivity of Dental Pulp-Capping Agents towards Human Tooth-Pulp Cells: A Systematic Review of In-Vitro Studies and Meta-Analysis of Randomized and Controlled Clinical Trials. *Materials (Basel)*, 13.
- Perdigão, J., Walter, R., Miguez, P. A., Swift, E. J. (2019). *Fundamental concepts of enamel and dentin adhesion*. (7. Baskı). Elsevier.
- Peskersoy, C., Lukarcanin, J., Turkun, M. (2021). Efficacy of different calcium silicate materials as pulp-capping agents: Randomized clinical trial. *J Dent Sci*, 16: 723-731.
- Petersson, K., Söderström, C., Kiani-Anaraki, M., Lévy, G. (1999). Evaluation of the ability of thermal and electrical tests to register pulp vitality. *Endod Dent Traumatol*, 15: 127-131.
- Petrou, M. A., Alhamoui, F. A., Welk, A., Altarabulsi, M. B., Alkilzy, M., C, H. S. (2014). A randomized clinical trial on the use of medical Portland cement, MTA and calcium hydroxide in indirect pulp treatment. *Clin Oral Investig*, 18: 1383-1389.
- Pintado, M. R., Douglas, W. H. (1988). The comparison of microleakage between two different dentin bonding resin systems. *Quintessence Int*, 19: 905-907.
- Pires, P. M., Santos, T. P. D., Fonseca-Gonçalves, A., Pithon, M. M., Lopes, R. T., Neves, A. A. (2018). A dual energy micro-CT methodology for visualization and quantification of biofilm formation and dentin demineralization. *Arch Oral Biol*, 85: 10-15.
- Piva, E., Meinhardt, L., Demarco, F. F., Powers, J. M. (2002). Dyes for caries detection: influence on composite and compomer microleakage. *Clin Oral Investig*, 6: 244-248.
- Plascencia, H., Díaz, M., Gascón, G., Garduño, S., Guerrero-Bobadilla, C., Márquez-De Alba, S., González-Barba, G. (2017). Management of permanent teeth with necrotic pulps and open apices according to the stage of root development. *J Clin Exp Dent*, 9: 1329-1339.
- Pleass, W. B. (1930). The absorption of water by gelatin: The influence of calcium hydroxide. *Biochem J*, 24: 1472-1478.
- Poggio, C., Arciola, C. R., Beltrami, R., Monaco, A., Dagna, A., Lombardini, M., Visai, L. (2014). Cytocompatibility and antibacterial properties of capping materials. *ScientificWorldJournal*.
- Qudeimat, M. A., Alyahya, A., Hasan, A. A. (2017). Mineral trioxide aggregate pulpotomy for permanent molars with clinical signs indicative of irreversible pulpitis: a preliminary study. *Int Endod J*, 50: 126-134.
- Qudeimat, M. A., Barrieshi-Nusair, K. M., Owais, A. I. (2007). Calcium hydroxide vs mineral trioxide aggregates for partial pulpotomy of permanent molars with deep caries. *Eur Arch Paediatr Dent*, 8: 99-104.
- Quiñonez-Ruvalcaba, F., Bermúdez-Jiménez, C., Aguilera-Galavíz, L. A., Villanueva-Sánchez, F. G., García-Cruz, S., Gaitán-Fonseca, C. (2023). Histopathological Biocompatibility Evaluation of TheraCal PT, NeoMTA, and MTA Angelus in a Murine Model. *J Funct Biomater*, 14.
- Rafter, M. (2005). Apexification: a review. *Dent Traumatol*, 21: 1-8.

- Rashid, F., Shiba, H., Mizuno, N., Mouri, Y., Fujita, T., Shinohara, H., Ogawa, T., Kawaguchi, H., Kurihara, H. (2003). The effect of extracellular calcium ion on gene expression of bone-related proteins in human pulp cells. *J Endod*, 29: 104-107.
- Raskin, A., D'hoore, W., Gonthier, S., Degrange, M., Déjou, J. (2001). Reliability of in vitro microleakage tests: a literature review. *J Adhes Dent*, 3: 295-308.
- Ratanasathien, S., Wataha, J. C., Hanks, C. T., Dennison, J. B. (1995). Cytotoxic interactive effects of dentin bonding components on mouse fibroblasts. *J Dent Res*, 74: 1602-1606.
- Rathbun, M. A., Craig, R. G., Hanks, C. T., Filisko, F. E. (1991). Cytotoxicity of a BIS-GMA dental composite before and after leaching in organic solvents. *J Biomed Mater Res*, 25: 443-457.
- Real, D. G., Davidowicz, H., Moura-Netto, C., Zenkner Cde, L., Pagliarin, C. M., Barletta, F. B., De Moura, A. A. (2011). Accuracy of working length determination using 3 electronic apex locators and direct digital radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 111: 44-49.
- Rengo, C., Goracci, C., Ametrano, G., Chieffi, N., Spagnuolo, G., Rengo, S., Ferrari, M. (2015). Marginal Leakage of Class V Composite Restorations Assessed Using Microcomputed Tomography and Scanning Electron Microscope. *Oper Dent*, 40: 440-448.
- Ricucci, D., Loghin, S., Lin, L. M., Spångberg, L. S., Tay, F. R. (2014a). Is hard tissue formation in the dental pulp after the death of the primary odontoblasts a regenerative or a reparative process? *J Dent*, 42: 1156-1170.
- Ricucci, D., Loghin, S., Siqueira, J. F. Jr. (2014b). Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod*, 40: 1932-1939.
- Rizzante, F. A. P., Sedky, R. A. F., Furuse, A. Y., Teich, S., Ishikiriama, S. K., Mendonça, G. (2020). Validation of a method of quantifying 3D leakage in dental restorations. *J Prosthet Dent*, 123: 839-844.
- Roberts, H. W., Toth, J. M., Berzins, D. W., Charlton, D. G. (2008). Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dent Mater*, 24: 149-164.
- Robinson, J. P., Lumley, P. J., Claridge, E., Cooper, P. R., Grover, L. M., Williams, R. I., Walmsley, A. D. (2012). An analytical Micro CT methodology for quantifying inorganic dentine debris following internal tooth preparation. *J Dent*, 40: 999-1005.
- Rodd, H. D., Waterhouse, P. J., Fuks, A. B., Fayle, S. A., Moffat, M. A. (2006). Pulp therapy for primary molars. *Int J Paediatr Dent*, 16(1): 15-23.
- Rodríguez-Lozano, F. J., López-García, S., García-Bernal, D., Sanz, J. I., Lozano, A., Pecci-Lloret, M. P., Melo, M., López-Ginés, C., Forner, L. (2021). Cytocompatibility and bioactive properties of the new dual-curing resin-modified calcium silicate-based material for vital pulp therapy. *Clin Oral Investig*, 25: 5009-5024.
- Rosa, V., Zhang, Z., Grande, R. H., Nör, J. E. (2013). Dental pulp tissue engineering in full-length human root canals. *J Dent Res*, 92: 970-975.
- Rueggeberg, F. A. (1991). Substrate for adhesion testing to tooth structure - review of the literature. *Dent Mater*, 7: 2-10.
- Sadaf, D. (2020). Success of Coronal Pulpotomy in Permanent Teeth with Irreversible Pulpitis: An Evidence-based Review. *Cureus*, 12: 6747.

- Sandhu, S. V., Tiwari, R., Bhullar, R. K., Bansal, H., Bhandari, R., Kakkar, T., Bhusri, R. (2012). Sterilization of extracted human teeth: A comparative analysis. *J Oral Biol Craniofac Res*, 2: 170-175.
- Sangwan, P., Sangwan, A., Duhan, J., Rohilla, A. (2013). Tertiary dentinogenesis with calcium hydroxide: a review of proposed mechanisms. *Int Endod J*, 46: 3-19.
- Sanz, J. L., Soler-Doria, A., López-García, S., García-Bernal, D., Rodríguez-Lozano, F. J., Lozano, A., Llena, C., Forner, L., Guerrero-Gironés, J., Melo, M. (2021). Comparative Biological Properties and Mineralization Potential of 3 Endodontic Materials for Vital Pulp Therapy: Theracal PT, Theracal LC, and Biodentine on Human Dental Pulp Stem Cells. *J Endod*, 47: 1896-1906.
- Sarkar, N. K., Caicedo, R., Ritwik, P., Moiseyeva, R., Kawashima, I. (2005). Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 31: 97-100.
- Saunders, W. P., Saunders, E. M. (1990). Assessment of leakage in the restored pulp chamber of endodontically treated multirooted teeth. *Int Endod J*, 23: 28-33.
- Sawicki, L., Pameijer, C. H., Emerich, K., Adamowicz-Klepalska, B. (2008). Histological evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide in direct pulp capping of human immature permanent teeth. *Am J Dent*, 21: 262-266.
- Schmalz, G., Smith, A. J. (2014). Pulp development, repair, and regeneration: challenges of the transition from traditional dentistry to biologically based therapies. *J Endod*, 40: 2-5.
- Schuurs, A. H., Gruythuysen, R. J., Wesselink, P. R. (2000). Pulp capping with adhesive resin-based composite vs. calcium hydroxide: a review. *Endod Dent Traumatol*, 16: 240-250.
- Schüpbach, P., Krejci, I., Lutz, F. (1997). Dentin bonding: effect of tubule orientation on hybrid-layer formation. *Eur J Oral Sci*, 105: 344-352.
- Sedgley, C., Silva R, Fouad Af. (2021). *Pathogenesis of Pulp and Periapical Diseases*. Elsevier.
- Seo, H., Ahn, Y. J., Seo, H., Seo, A., Lee, H., Lee, S. H., Shon, W. J., Park, Y. (2023). Comprehensive assessment of the estrogenic activity of resin composites. *Chemosphere*, 343.
- Shaik, I., Dasari, B., Kolichala, R., Doos, M., Qadri, F., Arokiyasamy, J. L., Tiwari, R. V. C. (2021). Comparison of the Success Rate of Mineral Trioxide Aggregate, Endosequence Bioceramic Root Repair Material, and Calcium Hydroxide for Apexification of Immature Permanent Teeth: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Pharm Bioallied Sci*, 13: 43-47.
- Sharma, R., Kumar, V., Logani, A., Chawla, A., Mir, R. A., Sharma, S., Kalaivani, M. (2021). Association between concentration of active MMP-9 in pulpal blood and pulpotomy outcome in permanent mature teeth with irreversible pulpitis - a preliminary study. *Int Endod J*, 54: 479-489.
- Shindova, M. P., Belcheva-Krivorova, A., Taralov, Z. (2022). Pulse oximetry in paediatric dentistry. *Folia Med (Plovdiv)*, 64: 202-206.
- Shipper, G., Grossman, E. S., Botha, A. J., Cleaton-Jones, P. E. (2004). Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root-end filling material: a low-vacuum (LV) versus high-vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J*, 37: 325-336.
- Shokouhinejad, N., Nekoofar, M. H., Pirmoazen, S., Shamshiri, A. R., Dummer, P. M. (2016). Evaluation and Comparison of Occurrence of Tooth Discoloration after the Application of Various Calcium Silicate-based Cements: An Ex Vivo Study. *J Endod*, 42: 140-144.

- Sigurdsson, A., Trope, M., Chivian, N. (2011). *The role of endodontics after dental traumatic injuries*. Elsevier.
- Simon, S., Perard, M., Zanini, M., Smith, A. J., Charpentier, E., Djole, S. X., Lumley, P. J. (2013). Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment? Some preliminary thoughts. *Int Endod J*, 46: 79-87.
- Soundappan, S., Sundaramurthy, J. L., Raghu, S., Natanasabapathy, V. (2014). Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study. *J Dent (Tehran)*, 11: 143-149.
- Sönmez, I. S., Oba, A. A., Sönmez, D., Almaz, M. E. (2012). In vitro evaluation of apical microleakage of a new MTA-based sealer. *Eur Arch Paediatr Dent*, 13: 252-255.
- Srivastava, V. K. (2011). *Child examination, diagnosis and treatment planning*. Quintessence.
- Staninec, M., Mochizuki, A., Tanizaki, K., Jukuda, K., Tsuchitani, Y. (1986). Interfacial space, marginal leakage, and enamel cracks around composite resins. *Oper Dent*, 11: 14-24.
- Stanley, H. (2002). *Calcium hydroxide and vital pulp therapy*. Quintessence.
- Suh, B., Yin, R., Cannon, M., Martin, D. E. (2008). *Polymerizable dental pulp healing, capping, and lining material and method for use*. Google Patents.
- Sulaiman, J., Yahya, M. M., Al-Ashou, W. M. (2014). An in-vitro scan electron microscope comparative study of dentine- Biodentine interface. *Journal of Baghdad College of Dentistry*, 325: 1-14.
- Sun, Q., Gustin, J. W., Tian, F. C., Sidow, S. J., Bergeron, B. E., Ma, J. Z., Tay, F. R. (2021a). Effects of pre-mixed hydraulic calcium silicate putties on osteogenic differentiation of human dental pulp stem cells in vitro. *J Dent*, 108.
- Sun, Q., Meng, M., Steed, J. N., Sidow, S. J., Bergeron, B. E., Niu, L. N., Ma, J. Z., Tay, F. R. (2021b). Manoeuvrability and biocompatibility of endodontic tricalcium silicate-based putties. *J Dent*, 104: 103530.
- Swain, M. V., Xue, J. (2009). State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci*, 1: 177-188.
- Taha, N. A., Abdelkhader, S. Z. (2018b). Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *Int Endod J*, 51: 819-828.
- Taha, N. A., Abdulkhader, S. Z. (2018a). Full Pulpotomy with Biodentine in Symptomatic Young Permanent Teeth with Carious Exposure. *J Endod*, 44: 932-937.
- Taha, N. A., Khazali, M. A. (2017). Partial Pulpotomy in Mature Permanent Teeth with Clinical Signs Indicative of Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *J Endod*, 43: 1417-1421.
- Takahashi, K. (1990). Changes in the pulpal vasculature during inflammation. *J Endod*, 16: 92-97.
- Takita, T., Hayashi, M., Takeichi, O., Ogiso, B., Suzuki, N., Otsuka, K., Ito, K. (2006). Effect of mineral trioxide aggregate on proliferation of cultured human dental pulp cells. *Int Endod J*, 39: 415-422.
- Tamse, A., Katz, A., Kablan, F. (1998). Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J*, 31: 333-337.

- Tatullo, M., Codispoti, B., Sied, J., Makeeva, I., Paduano, F., Marrelli, M., Spagnuolo, G. (2019). Stem Cells-based and Molecular-based Approaches in Regenerative Dentistry: A Topical Review. *Curr Stem Cell Res Ther*, 14: 607-616.
- Taylor, M. J., Lynch, E. (1992). Microleakage. *J Dent*, 20: 3-10.
- Teixeira, H. M., Do Nascimento, A. B., Hebling, J., De Souza Costa, C. A. (2006). In vivo evaluation of the biocompatibility of three current bonding agents. *J Oral Rehabil*, 33: 542-550.
- Thompson, V., Craig, R. G., Curro, F. A., Green, W. S., Ship, J. A. (2008). Treatment of deep carious lesions by complete excavation or partial removal: a critical review. *J Am Dent Assoc*, 139: 705-712.
- Thomson, T. S., Berry, J. E., Somerman, M. J., Kirkwood, K. L. (2003). Cementoblasts maintain expression of osteocalcin in the presence of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 29: 407-412.
- Topuz, Ö., Şahin, F. Ü. (2014). Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları. *Acta Odontologica Turcica*, 31(2): 114-120.
- Torabinejad, M., Chivian, N. (1999). Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 25: 197-205.
- Torabinejad, M., Parirokh, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod*, 36: 190-202.
- Torabinejad, M., Smith, P. W., Kettering, J. D., Pitt Ford, T. R. (1995a). Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod*, 21: 295-299.
- Torabinejad, M., Watson, T. F., Pitt Ford, T. R. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod*, 19: 591-595.
- Torres, F. F. E., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Chavez-Andrade, G. M., Pinto, J. C., Berbert, F., Tanomaru-Filho, M. (2020). Micro-computed tomographic evaluation of the flow and filling ability of endodontic materials using different test models. *Restor Dent Endod*, 45: 11.
- Tosco, V., Vitiello, F., Furlani, M., Gatto, M. L., Monterubbianesi, R., Giuliani, A., Orsini, G., Putignano, A. (2020). Microleakage Analysis of Different Bulk-Filling Techniques for Class II Restorations: μ -CT, SEM and EDS Evaluations. *Materials (Basel)*, 14.
- Tran, X. V., Gorin, C., Willig, C., Baroukh, B., Pellat, B., Decup, F., Opsahl Vital, S., Chaussain, C., Boukpepsi, T. (2012). Effect of a calcium-silicate-based restorative cement on pulp repair. *J Dent Res*, 91: 1166-1171.
- Tranasi, M., Sberna, M. T., Zizzari, V., D'apolito, G., Mastrangelo, F., Salini, L., Stuppia, L., Tetè, S. (2009). Microarray evaluation of age-related changes in human dental pulp. *J Endod*, 35: 1211-1217.
- Trope, M. (2008). Regenerative potential of dental pulp. *Pediatr Dent*, 30: 206-210.
- Tsai, C. L., Ke, M. C., Chen, Y. H., Kuo, H. K., Yu, H. J., Chen, C. T., Tseng, Y. C., Chuang, P. C., Wu, P. C. (2018). Mineral trioxide aggregate affects cell viability and induces apoptosis of stem cells from human exfoliated deciduous teeth. *BMC Pharmacol Toxicol*, 19: 21.
- Tufenkci, P., Orhan, K., Celikten, B., Bilecenoglu, B., Gur, G., Sevimay, S. (2020). Micro-computed tomographic assessment of the shaping ability of the One Curve, One Shape, and ProTaper Next nickel-titanium rotary systems. *Restor Dent Endod*, 45: 30.

- Türkün, Ş., Ergücü, Z. (2004). Estetik restoratif materyallerin mikrosızıntı çalışmalarında kullanılan gereç ve yöntemlerin karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 21: 143-151.
- Tyagi, N., Chaman, C., Tyagi, S. P., Singh, U. P., Sharma, A. (2016). The shear bond strength of MTA with three different types of adhesive systems: An in vitro study. *J Conserv Dent*, 19: 130-133.
- Uesrichai, N., Nirunsittirat, A., Chuveera, P., Srisuwan, T., Sastraruji, T., Chompu-Inwai, P. (2019). Partial pulpotomy with two bioactive cements in permanent teeth of 6- to 18-year-old patients with signs and symptoms indicative of irreversible pulpitis: a noninferiority randomized controlled trial. *Int Endod J*, 52: 749-759.
- Uribe, S. (2006). Partial caries removal in symptomless teeth reduces the risk of pulp exposure. *Evid Based Dent*, 7: 94.
- Uyar, D. S., Alacam, A. (2021). Evaluation of partial pulpotomy treatment in cariously exposed immature permanent molars: Randomized controlled trial. *Niger J Clin Pract*, 24: 1511-1519.
- Veríssimo, D. M., Do Vale, M. S. (2006). Methodologies for assessment of apical and coronal leakage of endodontic filling materials: a critical review. *J Oral Sci*, 48: 93-98.
- Villat, C., Grosogeat, B., Seux, D., Farge, P. (2013). Conservative approach of a symptomatic carious immature permanent tooth using a tricalcium silicate cement (Biodentine): a case report. *Restor Dent Endod*, 38: 258-262.
- Vivan, R. R., Zapata, R. O., Zeferino, M. A., Bramante, C. M., Bernardineli, N., Garcia, R. B., Hungaro Duarte, M. A., Tanomaru Filho, M., Gomes De Moraes, I. (2010). Evaluation of the physical and chemical properties of two commercial and three experimental root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 110: 250-256.
- Vohra, F., Altwaim, M., Alshuwaier, A. S., Alomayri, A., Al Deeb, M., Alfawaz, Y. F., Alrabiah, M., Al Ahdal, K., Al Deeb, L., Abduljabbar, T. (2020). Bond integrity and microleakage of dentin-bonded crowns cemented with bioactive cement in comparison to resin cements: in vitro study. *J Appl Biomater Funct Mater*, 18.
- Von Böhl, M., Ren, Y., Fudalej, P. S., Kuijpers-Jagtman, A. M. (2012). Pulpal reactions to orthodontic force application in humans: a systematic review. *J Endod*, 38: 1463-1469.
- Wang, S., Xu, Y., Shen, Z., Wang, L., Qiao, F., Zhang, X., Li, M., Wu, L. (2017). The Extent of the Crack on Artificial Simulation Models with CBCT and Periapical Radiography. *PLoS One*, 12.
- Ward, J. (2002). Vital pulp therapy in cariously exposed permanent teeth and its limitations. *Aust Endod J*, 28: 29-37.
- Wassel, M., Hamdy, D., Elghazawy, R. (2023). Evaluation of four vital pulp therapies for primary molars using a dual-cured tricalcium silicate (TheraCal PT): one-year results of a non-randomized clinical trial. *J Clin Pediatr Dent*, 47: 10-22.
- Waterhouse, P. J., Whitworth, J. M., Camp, J. H., Fuks, A. B. (2011). *Pediatric endodontics: endodontic treatment for the primary and young permanent dentition*. Elsevier.
- Williams, P. T., Schramke, D., Stockton, L. (2002). Comparison of two methods of measuring dye penetration in restoration microleakage studies. *Oper Dent*, 27: 628-635.
- Willmott, N. S., Wong, F. S., Davis, G. R. (2007). An X-ray microtomography study on the mineral concentration of carious dentine removed during cavity preparation in deciduous molars. *Caries Res*, 41: 129-134.

- Winters, J., Cameron, A. C., Widmer, R.P. (2008). *Pulp therapy for primary and immature permanent teeth*. Mosby Elsevier.
- Witherspoon, D. E., Small, J. C., Regan, J. D., Nunn, M. (2008). Retrospective analysis of open apex teeth obturated with mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 34: 1171-1176.
- Wolters, W. J., Duncan, H. F., Tomson, P. L., Karim, I. E., Mckenna, G., Dorri, M., Stangvaltaite, L., Van Der Sluis, L. W. M. (2017). Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *Int Endod J*, 50: 825-829.
- Wu, M. K., De Gee, A. J., Wesselink, P. R. (1994). Fluid transport and dye penetration along root canal fillings. *Int Endod J*, 27: 233-238.
- Wu, M. K., Kontakiotis, E. G., Wesselink, P. R. (1998). Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod*, 24: 557-560.
- Wu, M. K., Wesselink, P. R. (1993). Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J*, 26: 37-43.
- Wunsch, P. B. (2015a). *Direct pulp therapy for young permanent molars*. Wiley Blackwell.
- Wunsch, P. B. (2015b). *Indirect pulp therapy for young permanent molars*. (1 Baskı). Wiley Blackwell.
- Xu, L., Tang, L., Jin, F., Liu, X. H., Yu, J. H., Wu, J. J., Yang, Z. H., Wang, Y. X., Duan, Y. Z., Jin, Y. (2009). The apical region of developing tooth root constitutes a complex and maintains the ability to generate root and periodontium-like tissues. *J Periodontal Res*, 44: 275-282.
- Yakıncı, M. E., Onar, K., Depci, T., Orhan, K., Turan, C. C. (2016, 27-29 Ekim). *Importance of Micro-Computed Tomography (Micro-CT) in health, Science and Engineering Sciences*. Medical Technology Congress, Antalya, Turkey.
- Yamamoto, S., Han, L., Noiri, Y., Okiji, T. (2017). Evaluation of the Ca ion release, pH and surface apatite formation of a prototype tricalcium silicate cement. *Int Endod J*, 50(2): 73-82.
- Yavuz, I., Aydin, A. H. (2005). New Method for Measurement of Surface Areas of Microleakage at the Primary Teeth by Biomolecule Characteristics of Methylene Blue. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 19: 181-187.
- Yavuz, Y., Kotanlı, S., Doğan, M. S., Doğan, K. (2022). Comparisons of Microleakage and Scanning Electron Microscope SEM Analyzes of The Use of Different Pulp Coverage Materials. *Makara Journal of Health Research*, 26.
- Yazici, A. R., Baseren, M., Dayangaç, B. (2003). The effect of flowable resin composite on microleakage in class V cavities. *Oper Dent*, 28: 42-46.
- Yoldaş, S. E., Bani, M., Atabek, D., Bodur, H. (2016). Comparison of the Potential Discoloration Effect of Bioaggregate, Biodentine, and White Mineral Trioxide Aggregate on Bovine Teeth: In Vitro Research. *J Endod*, 42: 1815-1818.
- Yong, D., Cathro, P. (2021). Conservative pulp therapy in the management of reversible and irreversible pulpitis. *Aust Dent J*, 66(1): 4-14.
- Yoo, J. S., Chang, S. W., Oh, S. R., Perinpanayagam, H., Lim, S. M., Yoo, Y. J., Oh, Y. R., Woo, S.B., Han, S. H., Zhu, Q., Kum, K. Y. (2014). Bacterial entombment by intratubular mineralization following orthograde mineral trioxide aggregate obturation: a scanning electron microscopy study. *Int J Oral Sci*, 6: 227-232.

- Yoshida, K., Yoshida, N., Iwaku, M. (1994). Histological observations of hard tissue barrier formation in amputated dental pulp capped with alpha-tricalcium phosphate containing calcium hydroxide. *Endod Dent Traumatol*, 10: 113-120.
- Youngson, C. C., Jones, J. C., Manogue, M., Smith, I. S. (1998). In vitro dentinal penetration by tracers used in microleakage studies. *Int Endod J*, 31: 90-99.
- Youssef, A. R., Emara, R., Taher, M. M., Al-Allaf, F. A., Almalki, M., Almasri, M. A., Siddiqui, S. S. (2019). Effects of mineral trioxide aggregate, calcium hydroxide, biodentine and Emdogain on osteogenesis, Odontogenesis, angiogenesis and cell viability of dental pulp stem cells. *BMC Oral Health*, 19: 133.
- Zaen El-Din, A. M., Hamama, H. H., Abo El-Elaa, M. A., Grawish, M. E., Mahmoud, S. H., Neelakantan, P. (2020). The effect of four materials on direct pulp capping: An animal study. *Aust Endod J*, 46: 249-256.
- Zandoná, A. G. F., Ritter, A. V., Eidson, R. S. (2019). *Dental caries: Etiology, clinical characteristics, risk assessment, and management*. Elsevier.
- Zavattini, A., Mancini, M., Higginson, J., Foschi, F., Pasquantonio, G., Mangani, F. (2018). Micro-computed tomography evaluation of microleakage of Class II composite restorations: An in vitro study. *Eur J Dent*, 12: 369-374.
- Zhang, J., Lan, T., Han, X., Xu, Y., Liao, L., Xie, L., Yang, B., Tian, W., Guo, W. (2021). Improvement of ECM-based bioroot regeneration via N-acetylcysteine-induced antioxidative effects. *Stem Cell Res Ther*, 12: 202.
- Zhao, X. Y., Li, S. B., Gu, L. J., Li, Y. (2014). Detection of marginal leakage of Class V restorations in vitro by micro-computed tomography. *Oper Dent*, 39: 174-180.

EKLER

Ek-1 Etik Kurul Kararı



BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ ONAM FORMU

Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı'nda yürütülmekte olan 'Parsiyel Amputasyon Tedavisinde Farklı Kalsiyum Silikat İçerikli Ajanların Mikrosızıntısının Değerlendirilmesi' konulu araştırmaya katılmanız istenmektedir. Bu araştırma çekim kararı verilerek çekilmiş olan gömülü 3. daimi büyük azı dişleri üzerinde yürütülecektir. Yapılan klinik ve radyografik muayeneler sonucunda dişinizin çekilmesine karar verildiği görülmektedir. Size ait bilgiler bu çalışma dışında başka hiçbir yerde herhangi bir amaçla kullanılmayacaktır. Bu çalışmada çekilen dişinizin kullanılıp kullanılmaması kararı size ait olup kabul etmemeniz durumunda çekilen dişiniz bu çalışma için kullanılmak üzere alınmayacaktır.

Bu çalışmada yer almayı kabul ediyorum. Çalışmanın amacı ve sonuçları Dt. Utku Yasemin YILMAZ tarafından bana aktarılmıştır.

Hasta

Ad-Soyad :

Tarih :

İmza :

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı : YILMAZ

Adı : Utku Yasemin

