



T.C
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**POST YUVASI OLUŞTURMAK İÇİN KULLANILAN
FARKLI FİBER POST SİSTEMLERİNİN DENTİNDE
ÇATLAK OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİSİNİN MİKRO
BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ KULLANILARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Ayşe Nur KUŞUÇAR

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Damla KIRICI

2022-ANTALYA

ONAY SAYFASI

Ayşe Nur KUŞUÇAR tarafından sunulan bu çalışma jürimiz tarafından **oy birliği/oy çokluğu** ile Endodonti Anabilim Dalında Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.
.../...../.....

İmza

Üye : Prof. Dr. Kürşat ER
(Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği
Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı)

Üye : Doç. Dr. Damla KIRICI
(Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği
Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı)

Üye : Prof. Dr. Kezban Meltem ÇOLAK
(Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği
Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı)

Bu tez, /..... /..... tarih ve /..... sayılı Yönetim Kurulu kararıyla belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Diş Hekimliği Fakültesi

Kurum Yöneticisi

ETİK BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı beyan ederim.

Arş. Gör. Ayşe Nur KUŞUÇAR

İmza

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Damla KIRICI

İmza

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmamın her aşamasında, tüm bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, büyük bir sabırla bana yol gösteren, hoşgörüsünü ve desteğini bu süreçte hep hissettiğim çok sevgili danışman hocam Sayın Doç. Dr. Damla KIRICI'ya

Eğitimim süresince değerli bilgilerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman her konuda bana destek olan sayın hocalarım Prof. Dr. Kürşat ER, Prof. Dr. Alper KUŞTARCI ve Doç. Dr. Öznur GÜÇLÜER'e

Bu süreçte birlikte yol aldığımız tanımaktan ve birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum, hepsini çok sevdiğim asistan arkadaşlarıma,

Hayatım boyunca bana inanan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve herkesten çok sevdiğim canım aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe Nur KUŞUÇAR

ÖZET

Post Yuvası Oluşturmak İçin Kullanılan Farklı Fiber Post Sistemlerinin Dentinde Çatlak Oluşumu Üzerine Etkisinin Mikro Bilgisayarlı Tomografi Kullanılarak Değerlendirilmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı post yuvası preparasyon sistemi olan Rebilda drilleri (VOCO, Cuxhaven, Almanya) ve RelyX drili (3M Espe, Seefeld, Almanya) ile farklı uzunluktaki preparasyonlarının kök dentini üzerinde çatlak oluşturma etkilerini mikro bilgisayarlı tomografi (µBT) kullanarak değerlendirmektir.

Yöntem: 40 adet çekilmiş üst çene iki köklü birinci küçük azı dişi seçildi ve rastgele olarak 4 gruba (n=10) ayrıldı. Dişler 18 mm uzunluğunda dekorone edildi ve standart giriş kaviteleri açıldı. Kök kanal şekillendirilmesi ve dolumu yapıldıktan sonra dişler 1 hafta boyunca 37 °C’de etüvde bekletildi ve sonrasında dişlerin birinci µBT taraması yapıldı. Daha sonra Rebilda post drilleri ile Grup 1 (Rebilda-1/2)’de çalışma boyunun (ÇB’nun) 1/2’sine, Grup 2 (Rebilda-2/3)’de ÇB’nun 2/3’üne; RelyX post drili ile Grup 3 (RelyX-1/2)’de ÇB’nun 1/2’sine ve Grup 4 (RelyX-2/3)’te ÇB’nun 2/3’üne post yuvası hazırlandı. Post yuvaları hazırlandıktan sonra dişlerin ikinci µBT taraması yapıldı. Birinci ve ikinci µBT tarama görüntüleri incelenerek çatlaklar tespit edildi ve “yeni oluşan çatlak”, “ilerlemiş çatlak” ve “tamamlanmış çatlak” olarak sınıflandırıldı. Elde edilen veriler istatistiksel olarak ki-kare testi kullanılarak değerlendirildi.

Bulgular: Tamamlanmış ve ilerlemiş çatlak açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmedi ($P>0.05$). Yeni oluşan çatlak açısından Rebilda-2/3 grubu, RelyX-1/2 grubundan ve RelyX-2/3 grubu, RelyX-1/2 grubundan istatistiksel olarak anlamlı daha fazla çatlak oluşturdu ($P<0.05$).

Sonuç: Çalışmamızın sınırlamaları dahilinde, tüm gruplarda tamamlanmış ve ilerlemiş çatlak gözlenirken, RelyX-1/2 grubunda yeni oluşan çatlak gözlenmemiştir. Kök dentininde en düşük çatlak oluşturma oranının, ÇB’nun 1/2’sine yapılan post preparasyonlarında olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Post yuvası, dentin çatlağı, mikro bilgisayarlı tomografi

ABSTRACT

Evaluation of Dentinal Crack Formation during Post Space Preparation using Different Fiber Post Systems with Micro Computed Tomography

Objective: The effects of different post preparation systems and post preparation lengths on cracks of root dentin were aimed to evaluate using micro-CT (μ CT).

Materials and Methods: Forty extracted maxillary bifurcated first premolars were randomly divided into 4 groups (n=10). The teeth were decoronated as root length was 18 mm and then access cavities were prepared. After root canal shaping and obturation, the teeth were kept in an incubator at 37°C for 1 week, and then teeth were scanned with μ CT first time. After that, in Group 1(Rebilda-1/2), post space was prepared to 1/2 of the root canal length, in Group 2 (Rebilda-2/3) post space was prepared to 2/3 of the root canal length using Rebilda post drills; in Group 3 (RelyX-1/2), post space was prepared to 1/2 of the root canal length and in Group 4 (RelyX-2/3), post space was prepared to 2/3 of the root canal length using RelyX post drill. After all, teeth were scanned with μ CT second time. Cracks on root dentin were detected as first and second μ CT scans were analysed and classified as “*new cracks*”, “*progressive cracks*” and “*completed cracks*”. Statistical analysis was performed using Chi-square test.

Results: There was no statistically significant difference between the completed cracks group and the progressive cracks group ($p>0.05$). In new cracks group, Rebilda-2/3 group formed statistically significantly more cracks than RelyX-1/2 group and RelyX-2/3 group also formed more than RelyX-1/2 group ($p<0.05$).

Conclusion: Within the limitations of our study, completed crack and propagation of the cracks in the post spaces were observed in all groups. New cracks were not observed only in the RelyX-1/2 group. It was concluded that less crack formation of root dentin was in post space 1/2 length of the root canal.

Keywords: Post space, dentinal crack, microcomputed tomography

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	Error! Bookmark not defined.
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. KKT’li Dişlerin Özellikleri	3
2.2. KKT’li Dişlerde Restorasyon.....	5
2.2.1. Post-Kor Sistemlerinin Kullanılması.....	7
2.2.2. Post-Kor Restorasyonların Sınıflandırılması.....	8
2.3. Ferrule Etkisi	14
2.4. Kök Dentin Defektleri	14
2.5. Vertikal Kök Kırığı (VKK)	16
2.6. Dentin Defektlerini İnceleme Yöntemleri.....	17
2.6.1. Endoskopi.....	17
2.6.2. Optik Koherens Tomografi (OCT).....	18
2.6.3. LED (Light Emitting Diode) Transillüminasyon	18
2.6.4. Kızılötesi Termografi	19
2.6.5. Stereomikroskop.....	19
2.6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	19
2.6.7. Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (µBT).....	20
3. GEREÇ VE YÖNTEM	25
3.1. Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması	25
3.2. Kök Kanallarının Şekillendirilmesi ve Doldurulması	26
3.3. Birinci µBT Taramasının Yapılması	28
3.4. Deney Gruplarının Belirlenmesi	29
3.5. Post Yuvası Hazırlanması	30
3.6. İkinci µBT Taramasının Yapılması.....	32
3.7. Örneklerin İncelenmesi	32

3.8. İstatistiksel Analiz	33
4. BULGULAR.....	34
5. TARTIŞMA	39
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ.....	75



SİMGELER VE KISALTMALAR

%	Yüzde
<	Küçük
>	Büyük
°C	Santigrat Derece
µBT	Mikro Bilgisayarlı Tomografi
µm	Mikrometre
Ark.	Arkadaşları
Ca[OH]₂	Kalsiyum Hidroksit
CBCT	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
CTAn	CT Analyser
ÇB	Çalışma Boyu
DO	Disto-oklüzal
EDTA	Etilendiamin Tetraasetik Asit
GP	Güta Perka
GPa	Gigapaskal
KKT	Kök Kanal Tedavisi
LED	Light Emitting Diode
mm	Milimetre
MO	Mezio-oklüzal
MOD	Mezio-oklüzo-distal
n	Örnek Sayısı
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
NiTi	Nikel Titanyum
OCT	Optik Koherans Tomografi
Rpm	Dakikadaki Devir Sayısı

SEM Taramalı Elektron Mikroskopu

VKK Vertikal Kök Kırığı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. RelyX Fiber Post Sistemi Drilleri.....	12
Şekil 2.2. Rebilda Fiber Post Sistemi Drilleri.....	13
Şekil 2.3. µBT şematik diagramı	21
Şekil 3.1. Dişlerin 2mm ferrule oluşturulacak şekilde dekorone edilmesi	26
Şekil 3.2. Örneğin akrilik blok içine gömülmesi	26
Şekil 3.3. ProTaper Next X1-X2 eğeleri ve kullanılan endodontik motor	27
Şekil 3.4. Dia-Proseal Kanal Patı ve ProTaper Next X2 güta perka.....	28
Şekil 3 5. Bruker Skyscan 1272 mikro bilgisayarlı tomografi cihazı	28
Şekil 3.6. TIF formatındaki ham görüntü	30
Şekil 3.7. Rebilda sistemine ait başlangıç drili	31
Şekil 3.8. Çalışmamızda kullanılan Rebilda Drilleri	31
Şekil 3.9. Çalışmamızda kullanılan RelyX Drili	31
Şekil 3.10. 2. ve 4. grupların post yuvası uzunluklarının şematize edilmesi.....	32
Şekil 3.11. 1 ve 3. grupların post yuvası uzunluklarının şematize edilmesi.....	32
Şekil 4.1. Yeni oluşan çatlakların oranlarının gruplara göre dağılımı.....	35
Şekil 4.2. İlerlemiş çatlakların oranlarının gruplara göre dağılımı.....	35
Şekil 4.3. Tamamlanmış çatlakların oranlarının gruplara göre dağılımı	36
Şekil 4.4. RelyX-2/3 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait µBT tarama görüntüleri izlenmektedir. Yeni oluşan bir çatlak görülmemektedir.	36
Şekil 4.5. Rebilda-2/3 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait µBT tarama görüntüleri izlenmektedir. Tamamlanmış çatlak görülmemektedir.	37
Şekil 4.6. RelyX-1/2 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait µBT tarama görüntüleri izlenmektedir. Herhangi bir çatlak oluşumu görülmemektedir.	37
Şekil 4.7. Rebilda-2/3 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait µBT tarama görüntüleri izlenmektedir. İlerlemiş çatlak görülmektedir.	38

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. KKT sonrası dişlerde meydana gelen doku değışiklikleri ve olası klinik etkileri ⁽¹⁷⁾	3
Tablo 2.2. RelyX Post Drillerinin Özellikleri	133
Tablo 2.3. Rebilda Post Drillerinin Özellikleri	144
Tablo 3.1. Dişlerin rastgele 4 gruba ayrılması	30
Tablo 4.1. Tespit edilen çatlak sayılarının gruplara göre dağılımı	34



1. GİRİŞ

Başarılı bir kök kanal tedavisi (KKT) için kök kanal sisteminin iyi bir şekilde temizlenmesi ve şekillendirilmesinden sonra dolgu materyalleri kullanılarak tam bir tıkama yapılması önemlidir. Fakat, endodontik başarı sadece kaliteli bir KKT'ne değil, aynı zamanda iyi bir üst restorasyona bağlıdır.⁽¹⁾ Çürük ve travma sonucu KKT uygulanmış dişlerde, aşırı madde kaybı nedeniyle yapısı zayıflayan dentin, fonksiyonel kuvvetlere karşı yeterli direnci sağlayamaz.⁽²⁾ Bu dişlerin restorasyonu, retansiyon ve direnç oluşturmak için genellikle post ve kor kullanılarak yapılır.⁽³⁻⁵⁾

Günümüzde çok farklı post sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler arasında, fiber postlar, gelişmiş estetik özelliklerine ek olarak, avantajlı fiziksel özellikler de göstermektedir.⁽⁶⁾ Uygun esneklikleri, tüm kök boyunca düzgün fonksiyonel stres dağılımını sağlayarak kök kırılmalarını azaltmaktadır.^(7, 8)

Fiber postlar için kök kanalında yuva kendi sistemlerindeki driller ile açılır. Post drillerinin kök kanal şekillendirme eğelerinden daha agresif olduğu bilinmektedir. Literatürde, kök kanal şekillendirme eğeleri ile çatlak oluşumu ile ilgili birçok çalışma olmasına rağmen, post sistemlerinin kök dentininde çatlak oluşumuna etkisi üzerine az sayıda çalışma mevcuttur. Dentinde oluşan mikro çatlaklar, endodontik prosedürler sırasında oluşabilen klinik bir komplikasyondur. Bu defektler dikey kök kırığına (VKK'na) yol açabilir ve önlenmesi gerekmektedir.⁽⁹⁻¹²⁾

Post preparasyonları madde kaybına ve dentin defektlerine neden olabilmektedir ve bu defektler, dişlere aşırı basınç geldiğinde VKK'lara dönüşebilir. KKT prosedürleri sırasında meydana gelen çatlaklar oklüzal kuvvetlerle yayılabilir ve tekrarlanan stres sebebiyle VKK'lara neden olabilir.⁽¹³⁾ Dikey kök kırığı olan bir dişin prognozu zayıftır.⁽¹⁴⁾ Bu durum genellikle kırığın olduğu kökün amputasyonu veya dişin çekimi ile sonuçlanabilir.⁽¹⁵⁾ Bu nedenle kök kırığına sebep olabilecek dentin çatlaklarının oluşturulmasından kaçınılması gerekmektedir. Mikro-bilgisayarlı tomografi (μ -BT), KKT prosedürlerinin destrukatif olmayan nicel ve nitel değerlendirmelerine izin verir. Tedavi öncesi ve sonrası mikro çatlakların lokasyonu, boyutu ve ilerleyişi hakkında da bilgi sağlamaktadır.⁽¹⁶⁾

Bu çalışmada, 2 farklı post yuvası preparasyon sisteminin, 2 farklı preparasyon uzunluğunda kullanılarak kök dentininde oluşturduğu çatlakların μ BT kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. KKT’li Dişlerin Özellikleri

KKT’li dişler yapısal olarak vital dişlerden farklıdır. Tedavi sonrasında, dişin fiziksel özelliklerinde değişiklik, diş dokusunda kayıp ve bazen renk değişikliği olmaktadır. Bu değişiklikler diş dokusunun içeriği, dişin makro yapısı ve dentinin mikro yapısı dahil olmak üzere farklı alanlarda incelenmiştir (Tablo 2.1). Bu tür özelliklerin diş biyomekaniği üzerindeki etkisini anlamak restorasyon seçeneğini büyük ölçüde etkileyeceğinden önemlidir.

Tablo 2.1. KKT sonrası dişlerde meydana gelen doku değişiklikleri ve olası klinik etkileri⁽¹⁷⁾

	Spesifik Değişiklikler	Klinik Etki
İçerik	Kollajen Yapısı Nem İçeriği Mineral İçeriği	Diş kırılabilirliğinde artış
Dentin Yapısı	Elastik Modül Çekme ve makaslama gerilimi Mikro sertlik	Diş kırılabilirliğinde artış
Dişin Makro Yapısı	Deformasyon Direnci Kırılma Direnci Yorgunluk direnci	Diş kırılabilirliğinde artış Azalmış tutuculuk/ protez stabilitesi

Aşağıdaki risk faktörlerinden dolayı KKT’li dişlerin vital dişlere göre kırılma eğilimleri daha yüksektir; (a) Çürük, eski restorasyonlar, travma ve endodontik prosedürler sebebiyle diş dokusunun önemli miktarda kaybı,⁽¹⁸⁻²³⁾ (b) Endodontide kullanılan kimyasalların diş dokusunu zayıflatması (kalsiyum hidroksit, sodyum hipoklorit, EDTA, klorheksidin, alkol vb.),⁽²⁴⁻²⁷⁾ (c) Dentin dehidratasyonu ve kollajen fibril yapısının değişimi (serbest dentin sıvısının kaybı, yaş faktörü),⁽²⁸⁻³¹⁾ (d) Proprioepsiyon algısındaki azalışın kontrolsüz oklüzal kuvvetlere sebep olması.^(32, 33) İlaveeten, cinsiyet, oklüzyon, parafonksiyon, karşıt dişin oklüzalindeki materyal, oral hijyen, tükürük akışı gibi faktörler restore edilen dişin prognozunu etkilemektedir.^(34, 35)

Pulpa dokusunun kaybı, dişin nem içeriğinde azalmaya (%9) sebep olur. Nemdeki bu azalış, dentinin organik ve inorganik içeriğindeki bağıl suda değil, serbest suda olur. (36, 37) Bu durum, elastik modül ve oransal limit değerlerinde değişikliklere sebep olmaktadır. Fakat, sıkışma ve çekme gerilimi değerlerinde bir azalmaya sebep olmamaktadır. (38) Sadece bir çalışmada, canlı ve cansız dişler arasında nem içeriği açısından bir fark gösterilmemiştir (39).

KKT'li dişlerde kollajen ağının zayıfladığı görülmüştür. Kollajen ağında bulunan kovalent intermoleküler çapraz bağlar dentin matriksine stabilite ve çekme dayanımı sağlar. Fakat, devital dişlerde hem dehidratasyon hem de yaşlanma sonucunda kollajen yapısı zayıflamaktadır. (40)

Kanal irrigasyonu ve dezenfeksiyonu için yaygın olarak kullanılan sodyum hipoklorit (NaOCl), etilen diamin tetraasetik asit (EDTA) gibi solüsyonlar ve kalsiyum hidroksit (Ca[OH]2) kök dentini ile etkileşime girer. (41,42) Şelatörler esas olarak kompleks oluşturarak kalsiyumu tüketir ve ayrıca kollajen olmayan proteinleri de etkileyerek dentin erozyonuna ve yüzey yumuşamasına sebep olur. (41,43) NaOCl, konstantrasyona, kullanım süresine ve diğer faktörlere bağlı olarak kollajen gibi uzun peptit zincirlerinin hidroliziyle proteolitik bir etki gösterebilir (43). Kanal irrigasyonu ve dezenfeksiyonu için kullanılan kimyasallar, dentinin inorganik ve organik içerikleriyle etkileşime girer ve ardından dentin elastikiyetini, bükülme dayanımını ve mikro sertliği önemli ölçüde azaltır. (44-46)

Fakat KKT'li dişlerdeki kırılma dayanıklılığın azalmasının esas nedeni dehidratasyon ve dentindeki fiziksel değişikliklerden ziyade, diş yapısının çürük, travma veya geniş kavite preparasyonu ile yapı kaybına uğramasıdır. (47) Geniş kavite preperasyonu, fonksiyon sırasında artan kaspal defleksiyon ile sonuçlanır ve bu da kırık oluşumunda artışa yol açar. Konservatif bir giriş kavitesiyle diş yapısının kaybı, diş sertliğini sadece %5 oranında etkiler. (22, 48) Diş sertliğindeki en büyük azalma, özellikle marjinal sırtların kaybıyla sonuçlanan aşırı giriş kavitesi açılması sonucu meydana gelir. Kavite derinliği, isthmus genişliği ve konfigürasyonu diş sertliğindeki ve kırılma riskindeki azalma için son derece önemlidir. (49, 50) Fennis ve ark., 46.000'den fazla hastadan elde ettikleri verilerde, KKT'li dişler ve subgingival kırık lokasyonu arasında pozitif bir korelasyon bulmuştur. İnternal diş dokusunun kaybı, oklüzal fonksiyon boyunca kaslar arasındaki esnemenin artmasına sebep olur. Bu durum MOD (mezio-oklüzo-

distal) kaviteli KKT'li üst çene küçük azı dişlerinde daha çok göze çarpar ve kavitenin derinliği ile 2 katına çıkar.⁽⁵¹⁾

2.2. KKT'li Dişlerde Restorasyon

KKT tamamlandıktan sonra diş uygun şekilde restore edilmelidir. Gerçekte, zayıf veya eksik restorasyonların KKT'si görmüş dişlerin sağkalımı üzerindeki büyük etkisi göz önüne alındığında, restorasyonun önemi KKT'nin başarısı için büyüktür. Restorasyonlar, dişin korunmasını ve güçlendirilmesini sağlar ve mikroorganizmaların ve organik sıvıların kök kanallarına geçişini engeller.^(52, 53)

Ray ve ark.,⁽⁵⁴⁾ başarılı bir KKT'si ve başarılı bir restorasyon ile periradiküler lezyonların %91,4'ünün yok olduğunu, zayıf KKT'si ve zayıf restorasyon sonucu periradiküler inflamasyonun %18,1'inin yok olduğunu ve zayıf KKT'si ve başarılı restorasyon sonucunda periradiküler inflamasyonun %67,6 oranında yok olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, KKT'si sonrası son restorasyonun önemini göstermektedir.

Endodontik olarak tedavi edilen dişlerin restorasyonları, (a) kalan diş kırılmadan korumayı, (b) kök kanal sisteminin yeniden enfeksiyonunu önlemeyi ve (c) eksik diş yapısını yerine koymayı amaçlamaktadır.⁽¹⁷⁾

Genellikle derin çürüklü ve madde kaybı büyük olan yapısal olarak zayıflamış bu dişler, KKT ve ilave restorasyon nedeni ile de zayıflamaktadır.^(55, 56) KKT sırasında kaybedilen diş yapısı, zamanla köklerin kırılmaları sebep olan yorulma mekanizmaları ile kron kırığı riskini artırır. Değiştirilecek doku miktarına göre, KKT'li dişlerin restorasyonları farklı materyallere ve klinik prosedürlere bağlıdır. Uygun restoratif materyal ve tekniklerin seçimi, kalan diş yapısının miktarına göre belirlenir. Kaybedilen diş dokusu metrik sistemle değerlendirilemediğinden sınıflamada; geride kalan aksiyal kavite duvarı sayısına bağlı olarak 5 farklı sınıf tarif edilmiştir.⁽⁵⁷⁾

Sınıf 1: Dört aksiyal kavite duvarının da var olduğu, sadece endodontik giriş kavitesi olan dişleri kapsar.⁽⁵⁷⁾ Yeterli kalınlıkta 4 aksiyal duvar mevcutsa post yerleştirilmesine gerek yoktur. Bu durumda herhangi bir restorasyon tipi tercih edilebilir.

Sınıf 2: Mezio-oklüzal (MO) veya disto-oklüzal (DO) olarak bir duvar kaybı olan kaviteleri kapsar. ⁽⁵⁷⁾

Sınıf 3: Mezio-oklüzo-distal (MOD) şeklinde 2 duvar kaybı olan kaviteleri kapsar. ⁽⁵⁷⁾

Bir veya 2 aksiyal duvarın kaybedildiği sınıf 2 ve 3 durumlarında ve proksimal kavitesi olan kesici dişlerde post uygulanması gerekli değildir. ⁽⁵⁸⁾

Sınıf 4: Sadece bukkal veya lingual duvarın kaldığı, tek duvarı olan kaviteleri temsil eder. ⁽⁵⁷⁾ Bu dişler protez desteği olarak kullanılırsa, kuron hazırlığı direnci daha da azaltır. Bu nedenle, bu dişlere post uygulandıktan sonra kuron restorasyonu yapmak gerekir. ⁽⁵⁹⁾

Sınıf 5: Kronu tamamen kaybedilen dişleri içerir. Yüksek düzeyde zarar görmüş dişlerde kor materyaline destek sağlamak amacıyla post yerleştirmek gereklidir. Özellikle kronu kaybedilmiş dişlerde ferrule etkisi kırılma direnci açısından önemlidir. Preparasyon sınırının üstünde kalan ve dişin tamamını çevreleyen aksiyal dentinin yüksekliği ferrule etkisi oluşturmak için 1.5-2.5 mm kadar olmalıdır. Dişin konservatif olarak tedavi edilebilmesi için bukkal ve lingualde en az 1.5 mm kalınlığında, 3-4 mm yüksekliğinde sağlam dentin dokusu kalmalıdır. ⁽⁶⁰⁾

Adeziv sistemlerin tanıtılması ve kompozit rezinlerin fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi ile KKT'li dişlerin restorasyon potansiyeli artırılmıştır. ⁽⁵⁾ Rezinin intertubuler/peritubuler dentine mekaniksel kilitlenmesi ve hibrit tabaka formasyonu, kompozit rezin restorasyonların başarısı için önemlidir. ⁽⁶¹⁾ Adeziv restorasyonlar uygun retansiyonu sağlarlar ve bukkal ve lingual kasplar arasında adeziv köprü oluştururlar. Kompozit rezinler, oklüzal kuvvet altında kaspların kırılmasını ve esnemesini azaltacak potansiyele sahip olabilmektedir. Kalan diş yapısının uygun olduğu durumlarda, post olmadan indirekt adeziv restorasyonların kullanımı konvansiyonel tedavi konseptlerine alternatif sağlar. ⁽⁶²⁾

KKT'li dişlerin tedavi seçenekleri kompozit rezin restorasyonlardan tam kronlara kadar çeşitlilik gösterir. Bazı vakalarda post kullanımı gerekliyken, bazılarında post olumsuz bir etkiye neden olur. Diş dokularının kayıp miktarı ve dişin arktaki yeri gibi bazı faktörler tedavi seçeneklerini etkilemektedir. ⁽⁶³⁾

Kalan kavite duvarının kalınlığı, kalan diş yapısının klinik değerdendirmesi ve en uygun restorasyon tipinin seçimi için basit ama etkili bir parametredir.⁽⁶²⁾

20 yıllık retrospektif bir çalışmaya göre kasları içine almayan gümüş amalgam ile restore edilmiş üst çene küçük azı dişlerinin tedavisi %73 oranında başarısızlıkla sonuçlanmıştır.⁽⁶⁴⁾ KKT'li kasları içine almayan büyük azı dişlerinin restorasyonlarının *in vivo* olarak takip edildiğı bir diğer çalışmada, 5 yılın sonunda hayatta kalma oranının sadece %36 olduğu görülmüştür.⁽⁶⁵⁾ Konservatif bir giriş kavitesi ve minimal diş dokusu kaybında kompozit rezin restorasyonlar yeterli olabilmektedir. Kronlar sadece aşırı madde kaybı olan dişlerde veya estetik bir kaygının olduğu vakalarda gerekli olabilir. Kalan diş yapısının kron retansiyonu için yetersiz olduğu vakalarda post kullanılabilir. Ancak, kalan dişin kalınlığı, boyu ve pozisyonu kırılmalara dayanması için önemlidir.

Kalay ve ark.,⁽⁶⁶⁾ tüberkül kaplamasız direkt restorasyon yapılan KKT'li MOD kaviteye sahip küçük azı dişlerinde yüzde 70'in üzerinde tüberkül kırıkları bildirmiştir.

2.2.1. Post-Kor Sistemlerinin Kullanılması

Aşırı madde kaybına uğramış, kron desteğini kaybetmiş dişler, KKT sonrası üst restorasyonun yapılabilmesi için kökten destek alan post sistemlerine ihtiyaç duymaktadırlar.⁽⁶⁷⁾ Uygun bir tedavi için post ve kor restorasyonların seçimi oldukça önemlidir. Post-kor restorasyonlarda, kök kanalı içerisinde yer alan kısma “*post*”, kaybedilen dentin dokusunun yerine hazırlanan ve koronalde yer alan kısma “*kor*” adı verilir.^(68, 69)

Postlar aşağıdaki klinik özelliklerin çoğunu olabildiğince sağlamalıdır:⁽⁷⁰⁾

- Kökün kırılmadan maksimal seviyede korunması
- Kök içinde maksimum retansiyon ve tekrar çıkarılabilirlik
- Kor ve kron için maksimum tutuculuk
- Koronal sızıntıdan kuron kenarı örtüsünün maksimum korunması
- İyi bir estetik
- Yüksek radyografik görünürlük
- Biyouyumluluk

KKT'sini takiben restorasyon aşamasında postların kullanımı geçmişte dişleri güçlendirmek için kullanılmıştır.⁽⁷¹⁾ Günümüzde hala çoğu diş hekimi tarafından uygulanmaktadır.⁽⁷²⁾

Post yerleşimi kesici dişlerde ve küçük azı dişlerinde zayıflamış diş yapısı varlığında önerilir.^(73, 74) Yapısal olarak zayıflamış diş, koronal diş yapısının %50'den azına sahiptir. Postun yerleşimi kesici ve küçük azı dişlerde 2 veya daha az duvar varlığında endikedir.⁽⁷⁵⁾

Üst çene küçük azı dişleri, büyük azı dişlerinden farklı olarak, KKT'si sonrası kor yapının retansiyonu için genellikle daha az diş dokusuna ve küçük pulpa odasına sahiptirler. Ayrıca, bu dişler çiğneme boyunca daha fazla lateral kuvvetlere maruz kalırlar.⁽⁷⁶⁾ Bir dişin kırılma direncinin uygulanan yükün açısına bağlı olduğu ve oblik kuvvetlerin daha zararlı olduğu bulunmuştur.⁽⁵⁾ Retrospektif klinik raporlarda, üst çene birinci küçük azı dişlerinin en sık kırılan diş olduğu bulunmuştur.^(77, 78) Bu sebeplerden dolayı bu dişler, büyük azı dişlerinden daha fazla post gerektirirler. Ferrari ve ark.⁽⁷⁹⁾ 2 yılı aşkın bir gözlem periyodunda, fiber post yerleşiminin KKT'li üst birinci küçük azı dişlerinde başarısızlık riskini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varmışlardır. Özellikle fiber postlar kök kırıklarına karşı önemli bir rol oynamaktadır.

2.2.2. Post-Kor Restorasyonların Sınıflandırılması⁽⁸⁰⁾

Post Şekillerine Göre:

- Konik
- Silindir

Tutuculuk Şekillerine Göre:

- Aktif : Yivlerin dentin yüzeyine teması ile tutuculuğu sağlayan postlardır.
- Pasif : Kanal formuna uygun olacak şekilde ancak kanal duvarlarına teması yapıştırıcı ajanlarla olan postlardır

Yapım Şekillerine Göre:

- Fabrikasyon
- Döküm

Kullanılan Materyallere Göre:

- Metal alaşım postlar (Ti, Au-Pt, Paslanmaz çelik, Pd-Pt-Cu, Cr-Ni, Amalgam)
- Seramik postlar
 - ✓ Cam seramik postlar
 - ✓ Alüminyum oksit ile güçlendirilmiş seramik postlar
 - ✓ Freze tekniği ile elde edilen seramik postlar
 - ✓ Zirkonyum esaslı seramik postlar
- Fiber Postlar
 - ✓ Karbon fiber postlar
 - ✓ Polietilen fiber postlar
 - ✓ Cam fiber postlar
 - ✓ Kuartz fiber postlar

Yıllardır döküm post-kor'lar yüksek başarı oranı sebebiyle altın standart olarak sayılmıştır.^(81, 82) Döküm postlara alternatif olarak, prefabrik döküm metal post ve seramik postlarla kıyaslandığında dentine daha yakın elastikiyet modüllerine sahip fiber postlar geliştirilmiştir. Son yıllarda, fiber postlar, daha kolay klinik uygulanabilirlikleri ve ucuzlukları sebebiyle metal postların yerini almaya başlamıştır.⁽⁸³⁾ Metal postlar daha serttir ve deforme olmadan yükleri tolere edebilir. Bu özellik kuvvetleri kökün apeksinde yoğunlaştırır ve kök kırık riskini artırır.⁽⁸⁴⁾ Elastik modülü dentine daha yakın olan bir postun kullanılması, kök kırığı riskini azaltmaktadır.⁽⁸⁵⁾ Fiber postlar, flexural ve torsiyonel kuvvetler altında daha iyi bir stres dağılımı sağlarlar. Düşük sertlikleri, dişin servikal yapısına çiğneme kuvvetlerine karşı direnci artırarak, oklüzal kuvvetler altında esnemeye izin verir.⁽⁸⁶⁾ Fakat, yapılan bir sistematik inceleme, metal ve fiber postlar arasında kök kırılma insidansı açısından önemli bir fark olmadığını bildirmiştir.⁽⁸⁷⁾

Fiber Postlar

Bir fiber post, rezin ile polimerize edilmiş bir matris içine gömülü fiberlerden oluşmaktadır. Resin matrisini oluşturmak için kullanılan monomerler tipik olarak iki fonksiyonlu metakrilatlardır (Bis-GMA, UDMA, TEGDMA) ve epoksiler de kullanılmıştır. Yaygın olarak fiber postlar, karbon, cam, silika veya kuvarstan yapılır

ancak fiberlerin tipi, hacim içeriği ve homojenliği fiber post sistemleri arasında farklılık gösterir.⁽⁸⁸⁾

Fiber postların kök kanal dentinine simante edilmesi, kök boyunca uygulanan kuvvetlerin dağılımını iyileştirebileceği, böylece kök kırılma riskini azaltabileceği ve kalan diş yapısının güçlendirilmesine katkıda bulunabileceği genel olarak kabul edilmektedir.

İyi adapte edilmiş, rezin simanla yapıştırılmış bir fiber post, kanal duvarlarında en az stres oluşturan en kalıcı tip olarak kabul edilir. Üç tip simante edilmiş fiber postu değerlendiren retrospektif bir çalışmada, araştırmacılar 1 ila 6 yıllık değerlendirmede 1306 fiber postun %3.2'lik bir başarısızlığını bildirmişlerdir.⁽⁸⁹⁾ Daha yakın zamanlarda, başka bir çalışmada, ortalama 5 yıllık bir gözlem süresinden sonra tam seramik kronlarla kaplanmış ön dişlere yerleştirilen paralel kenarlı ve konik fiber postlar için sırasıyla %98.6 ve %96.8 sağkalım oranları bildirilmiştir.⁽⁹⁰⁾

Fiber postlar, biyouyumluluğu, estetik özellikleri, dentine benzer sertliği, korozyona, yorgunluğa direnç göstermesi, mekanik özellikleri^(91, 92) ve kanaldan kolay sökülmesi gibi avantajlarıyla ön plana çıkmaktadır.⁽⁹³⁾ Bu özellikleri dışında, cam fiber postların en önemli özelliği, kompozit kor ve yapıştırma simanı arasında kimyasal adezyon sağlamasıdır.^(94, 95) Bu avantaj, post preparasyonun daha konservatif yapılmasını sağlamaktadır.

Fiber Post Yuvasının Oluşturulması

Tüm post tipleri için ilk adım, post için güta perka (GP) ve simanın çıkarılmasıdır. Post yuvası hazırlanırken GP'ı uzaklaştırmak için kullanılan yöntemler kimyasal ve fiziksel olarak ayrılmaktadır.⁽⁹⁶⁾

Kimyasal Yöntem

Bu yöntemde kloroform, okaliptus ve turpendin yağı gibi çözücüler kanala bir ege ya da kâğıt koni ile taşınır. Ancak, kullanılan çözücünün kontrol edilememesi, apikaldeki GP'nin bütünlüğünü bozarak, mikrosızıntıya neden olabileceği için bu yöntemin kullanımı sınırlı tutulmaktadır.⁽⁹⁷⁾

Fiziksel Yöntemler

Termal ve mekanik olmak üzere 2'e ayrılmaktadır.

Termal Yöntem

Bu yöntemde Hedström eğeleri, sond ve plugger gibi aletlerin ısıtılarak kullanımının yanı sıra System B, Touch'n Heat gibi özel sistemler de kullanılabilmektedir. Isıtılmış aletlerin, dar ve eğri kanallarda kullanımı zordur ve alet yeterince ısıtılmazsa apikal tıkanma bozulabilir.⁽⁹⁸⁾

Mekanik Yöntem

GP'nin uzaklaştırılmasında kullanılan yöntemler içinde en pratik ve en etkili olanıdır. Bu yöntemde sıklıkla Gates-Glidden ve Peaso reamer'lar kullanılır. Peaso reamer'ların uç kısımları, keskin olmadığından kanalda en az direnç gösteren yolu takip eder. Paralel duvarlar oluşturup hızlı bir şekilde uygulanabilmeleri avantajı, kök kanalını aşırı genişletmeleri ve kökte zayıflamaya sebep olmaları ise dezavantajlarıdır. Dar ve eğri kanallarda kök perforasyonu riski vardır. Ultrasonik ve döner eğe sistemleri de diğer mekanik yöntemler arasında yer almaktadır.⁽⁹⁶⁾ Post yuvasını hazırlamak için fiber postların kendi özel drilleri mevcuttur ve son zamanlarda tercih edilmektedir.

Goodacre ve Spolnik ⁽⁹⁹⁾ tarafından yayınlanan bir derlemede, kök kanal uzunluğunun 3/4'üne veya en azından kronun uzunluğuna eşit post uzunluğunu önerilmektedir. Retrospektif bir çalışmada, Sorensen ve Martinoff ⁽¹⁰⁰⁾ post uzunluğunun en azından kron yüksekliğine eşit olduğunda %97 başarı bildirmiştir. Çiğneme işlevi sırasında kuvvetlerin kemik krestinde yoğunlaştığı gösterilmiştir. Metal postlu dişlerde kuvvetler postun sonunda da yoğunlaşır. Bu nedenle, bir post her zaman apikal olarak kemik kretinin ötesine uzanmalıdır.⁽¹⁰¹⁾ Abramovitz ve ark.,⁽⁷⁷⁾ apikaldeki 3 mm'lik GP'nin yeterli sızdırmazlığı sağlamadığını göstermiştir, bu nedenle apikalde 4 ila 5 mm GP varlığı önerilir.

Post yerleştirilirken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar şunlardır: (a) Postun uzunluğunun kron boyuyla eşit veya daha uzun olması gerekmektedir,⁽¹⁰²⁾ (b) Postun uzunluğu kanal uzunluğunun 2/3'ü kadar olmalıdır, (c) Post uzunluğu kökün kemik destekli bölümünün yarısı kadar olmalıdır, (d) Postun koronal uzunluğunun; kron boyunun ½ si kadar olması idealdir ama bu durum postun karşıt arktaki dişle mesafesi kontrol edilerek değerlendirilmelidir, (e) Apikal sızdırmazlığın devamı için apikalde 3-5 mm güta perkanın olması önemlidir.⁽¹⁰³⁾ Restorasyon kenarlarındaki dişin hacmi

dirençli bir form oluşturabilmek için en az 1,5-2 mm olmalıdır.⁽¹⁰⁴⁾ (f) Diş eti seviyesi üzerinde kronu çepeçevre saran 1,5-2 mm'lik bir dentin yapısı bulunmalıdır.

Fiber post restorasyonların yüksek başarı oranlarına rağmen, post drilleri, kök dentininden alarak kökü zayıflatma eğilimi gösterirler. Ayrıca, drillerin ucunda kanal preparasyon stresleri oluşur.⁽¹⁰⁵⁾ Bu stresler, dentin mikro çatlağına neden olabilecek gerinimi indükler ve dikey kök kırılmasının (VKK) önde gelen nedeni olduğunu düşündürür.⁽¹⁰⁵⁻¹⁰⁸⁾

Çalışmamızda Kullanılan Fiber Post Sistemleri

RelyX™ Fiber Post Sistemi (3M ESPE, Seefeld, Almanya)



Şekil 2.1. RelyX Fiber Post Sistemi Drilleri

RelyX fiber post sistemi, sırasıyla 0,7; 0,8 ve 0,9 mm apikal çaplara ve 1,3, 1,6 ve 1,9 mm koronal çaplara sahip 3 farklı boyutta drille sahiptir. Kök kanallarının anatomik formuna benzeyen konik bir şekle sahiptirler, bu da preparasyonun konservatif olarak yapılmasını sağlar. RelyX fiber post drilllerinin özellikleri Tablo 2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. RelyX Post Drillerinin Özellikleri

Post Renk Kodu	Sarı	Kırmızı	Mavi
Postun Apikal Çapı	0.70	0.80	0.90
Postun Koronal Çapı	1.30	1.60	1.90
Koniklik Açısı	3.44° (6%)	4.58° (8%)	5.72° (10%)
Uzunluk	20 mm	20 mm	20 mm

Rebilda Fiber Post Sistemi (VOCO, Cuxhaven, Almanya)



Şekil 2.2. Rebilda Fiber Post Sistemi Drilleri

Rebilda fiber post sistemi, sırasıyla 0,50; 0,65; 0,80 ve 1,00 mm apikal çaplara ve 1,0; 1,2; 1,50 ve 2,00 mm koronal çaplara sahip dört farklı boyutta drille sahiptir. Kök kanallarının anatomik formuna benzeyen konik bir şekle sahiptirler. Rebilda fiber post drillerinin özellikleri Tablo 2.3’de özetlenmiştir.

Tablo 2.3. Rebilda Post Drillerinin Özellikleri

Post Renk Kodu	Kırmızı	Yeşil	Siyah	Sarı
Postun Apikal Çapı	0,50	0,65	0,80	1,00
Postun Koronal Çapı	1,00	1,20	1,50	2,00
Uzunluk	20 mm	20 mm	20 mm	20 mm

2.3. Ferrule Etkisi

Ferrule dişin servikal marjından koronal yönde uzanan paralel dentin duvarlarıdır.^(109, 110) Ne kadar çok diş yapısı kalırsa, restorasyonun uzun vadeli prognozu o kadar iyi olur. Dişeti seviyesinin üzerinde bulunan koronal diş yapısı, ferrule oluşumunu sağlayacaktır.^(104, 111) Ferrule uzunluğu en az 2 ila 3 mm olmalıdır. Düzgün oluşturulan bir ferrule, dişi dış yüzeyinde güçlendirerek ve dişin en dar çevresinde yoğunlaşan kuvvetleri dağıtarak, KKT'li dişlerde kırılma insidansını önemli ölçüde azaltır.^(112, 113) Daha uzun bir ferrule, kırılma direncini önemli ölçüde artırır. Ayrıca ferrule, postlardan gelen lateral ve kurondan gelen kaldırma kuvvetlere karşı direnç gösterir ve restorasyonun tutuculuğunu ve direncini artırır.

Başarılı olmak için krun ve krun hazırlığının birlikte 4 gereksinimi karşılaması gerekir: ⁽¹⁷⁾ (a) Ferrule en az 2 ila 3 mm olmalıdır, (b) Aksiyal duvarları paralel olmalıdır, (c) Restorasyon dişi tamamen çevrelemelidir, (d) Protez kenarı sağlam diş yapısı üzerinde olmalıdır.

2.4. Kök Dentin Defektleri

Dentin, insan dişinin en büyük yapısal bileşenidir. Dentin, mineye destek sağlayarak oklüzal kuvvetler sırasında mine kırıklarını önler. Pulpayı zararlı uyaranlardan korur ve dentin-pulpa kompleksi olarak adlandırılan sert ve yumuşak doku devamlılığını sağlar.

Dentin, ağır oklüzal kuvvetler altında dişlere mekanik direnç sağlayan mineralize bağ dokusudur. Bileşenlerinin yaklaşık olarak ağırlıkça %70'i (hacimce %55'i) inorganik, %20'si (hacimce %30'u) organik ve geri kalanı sudan oluşmaktadır. Dentina organik matrisin yaklaşık %90'ı yüksek oranda çapraz bağlı tip I kollajendir, geri

kalanını proteoglikanlar ve diğer proteinler, büyüme faktörleri, enzimler ve az miktarda lipid oluşturmaktadır. Mineral içeriğini hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) oluşturur ve CO_3 , Mg, Na, K, Cl bulunur.⁽¹¹⁴⁾

Organik bileşenler, diş yapısının genel dirençliğini sağlarken, inorganik mineral dentin dayanıklılığı ve sertliği ile ilgilidir.^(115, 116)

Su, zayıf van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağları ile dentin matrisindeki kollajen liflerine ve hidroksiapatit bileşenlerine kimyasal olarak bağlı (%70) bulunabilir⁽¹¹⁷⁾ veya dentin tübüllerinde, gözeneklerde ve mineralize dentin içinde bağlı olmayan su olarak (serbest su; %30) bulunabilir.⁽¹¹⁸⁾ Lee ve ark.,⁽¹¹⁹⁾ kollajen ve proteoglikan matriks üzerindeki dehidrasyonun zararlı etkilerinin, dentin kontraksiyonu için bir uyarıcı olduğunu, stres konsantrasyonunda ve çatlak yayılımında bir artışa neden olduğunu ve bunun da kırılma direncinde önemli bir azalmaya sebep olabileceğini göstermişlerdir.

İntertübüler dentin ve peritübüler dentin olmak üzere 2 tip dentin bulunmaktadır. Dentinin büyük kısmını, intertübüler dentin oluşturmaktadır. Organik bileşenin neredeyse tamamı intertübüler dentinde bulunur. Az miktarda organik matriksi ve yoğun küçük apatit kristalleri olan peritübüler dentin, dentin tübüllerinin etrafını çevreleyen bir yapıya sahiptir.⁽¹¹⁷⁾ Dentin mikrosertliği ve elastisitesi peritübüler ve intertübüler dentin arasında farklılık gösterir ve dişin konumuna bağlı olarak değişir. Peritübüler dentinin elastik modülü 29.8 GPa iken, pulpaya yakın intertübüler dentinin 17.7 GPa ve kök yüzeyine yakın intertübüler dentinin 21.1 GPa'dır.^(120, 121) Pulpaya yaklaşıldığında dentin sertliğindeki azalma, intertübüler dentinin sertliğindeki değişimlere bağlanabilir.⁽¹²⁰⁾ Genel olarak dentinin elastik modülünün 16.5 ila 18.5 GPa aralığında olduğu kabul edilir.^(115, 122)

Dentin tübülleri, odontoblast uzantıları içeren, bütün dentin yüzeyi boyunca, mine-dentin ya da dentin-sement birleşiminden pulpaya kadar uzanan küçük kanallardır. Dentin tübüllerinin sayısına ve çapına bağlı olarak mineral yoğunluğundaki değişiklikler de dentin özelliklerinde değişime sebep olabilir. Dentin sertlik değerleri, dentin tübül yoğunluğu ile ters orantılıdır.⁽¹²³⁾

KKT'sinde kullanılan irrigasyon solüsyonlarının, dentinin inorganik ve organik yapısında değişikliklere neden olduğu belirtilmiştir.⁽¹²⁴⁾ NaOCl solüsyonu, esneme,

mikrosertlik, elastik modül ve kırılma direnci gibi dentinin özelliklerini etkilemektedir.⁽²⁵⁾ Sim ve ark. %5,25 oranında NaOCl' nin dentinin esneme direnci ve elastik modülünde azalmaya sebep olduğunu bildirmişlerdir.⁽⁴⁵⁾

Kök kanal dentinindeki tamamlanmış veya tamamlanmamış dentin çatlakları, vertikal kök kırığına (VKK'a) neden olabilirler ve VKK'lar sıklıkla dişin çekimine neden olur.^(10, 125) Dentin çatlağı ve kök kırıkları, kök kanallarının mekanik preparasyonu sonucu meydana gelebilen ve dişin kaybıyla sonuçlanabilen komplikasyonlar arasındadır.^(9, 126)

Pulpa boşluğuna ve kökün dış yüzeyine ulaşmayan dentin defektleri mikro çatlak olarak adlandırılır. Bu tür çatlakların, mekanik şekillendirme boyunca oluşan stresin, kollajen matriksin gerilme dayanımını aşması sonucu oluştuğu düşünülmüştür. Ayrıca, ortaya çıkan gerilme, kök dış yüzeyine iletilip, dentini bir arada tutan kuvveti aşarsa, dentinden başlayıp kökün dış yüzeyine uzanan çatlaklar oluşabilir. Mikro ve tamamlanmamış çatlaklar, post yuvası hazırlanması, KKT'sinin yenilenmesini takiben veya çiğneme esnasında meydana gelen oklüzal kuvvetler sonrası ilerleyip kırık şekline dönüşebilirler.⁽⁹⁾ Tamamlanmış çatlaklar, kök dış yüzeyinden kanal boşluğuna kadar uzanırlar.⁽¹²⁷⁾ KKT'si sırasında dentin dokusunda meydana gelen tamamlanmış veya tamamlanmamış mikro çatlaklar, dişlerde VKK oluşumuna neden olabilir.

2.5. Vertikal Kök Kırığı (VKK)

Amerikan Endodontistler Derneği'nin (AAE) endodontik terimler sözlüğünde dikey bir kök kırığı, *“kökte kırık segmentlerin tam olarak ayrılmadığı; bukkal-lingual veya mesial-distal oluşan; izole bir periodontal cebe veya sinüs yoluna neden olabilen; radyografik olarak izlenebilen kırık”* olarak tanımlanmıştır.

VKK'lar, KKT ve restoratif prosedürler gibi iyatrojenik dental prosedürlerden ya da kendiliğinden oluşabilir. VKK'ların en yaygın sebebi endodontik tedavilerdir.⁽¹²⁸⁾

VKK, kök dentinindeki defektlerin sebep olabildiği KKT'sinin yaygın bir sonucudur. Bu defektler genellikle döner eğeler ile kanal preparasyonu boyunca meydana gelmektedir. Preparasyon boyunca kök kanal duvarlarında oluşan stres çatlak oluşumuna, oluşan çatlaklar da çiğneme kuvvetleri altında VKK oluşumuna sebep olabilir.⁽¹²⁹⁾

Genellikle KKT'si sırasında değil, işlemin tamamlanmasından oldukça uzun bir süre sonra ortaya çıkar.⁽¹²⁶⁾ Bir veya daha fazla predispozan faktör, tekrarlanan fonksiyonel veya parafonksiyonel oklüzal yüklerin varlığında aylar hatta yıllar boyunca bir VKK gelişimine yol açabilir. Predispozan faktörler, kökün anatomisi gibi doğal sebepleri veya kök kanal şekillendirilmesi sırasındaki aşırı kuvvetler, diş yapısının gereksiz kaybı veya aşırı obturasyon basıncı gibi iyatrojenik nedenleri içerebilir.

VKK, endodontik tedavi sonrası diş çekimlerinin en büyük sebeplerinden birisidir.⁽¹¹⁾

Post yerleştirmenin VKK ihtimalini artırıp artırmadığı, çok tartışılan konulardan biridir. Bu konudaki bir çalışmada, KKT'li dişlerde kanal içi postların VKK prevalansını önemli derecede artırmadığı belirtilmiştir.⁽¹³⁰⁾ Diğer yandan, VKK'lı dişler arasında post yapılmış olanların yüzdesi 61,7 ile 92 arasında bulunmuştur.

Post uzunluğu ile VKK arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmalarda da farklı sonuçlara varılmıştır. Fuss ve ark.⁽¹¹⁾ tarafından yapılan bir araştırmada, VKK'lı dişlerde bulunan postların büyük çoğunluğunun kökün koronal ve orta üçlüsünde sonlandığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, post tasarımı, postun yerleştirilmesi ve simantasyonu sırasında uygulanan kuvvet gibi majör faktörlerin de etkili olduğunu ancak, elde ettikleri bulgular ışığında uzun postların kısa postlara tercih edilebileceğini belirtmiştir. Testori ve ark.⁽¹³¹⁾ da, postu kökün orta üçlüsünden daha derine yerleştirmenin kırık riskini artırmadığını belirtmiştir. Buna karşın, başka çalışmalarda kök boyunun yarısını geçen postların VKK'ya neden olabileceği belirtilmiş; incelenen VKK vakalarının çoğu çok uzun, çok geniş veya hem çok uzun hem çok geniş olacak şekilde hatalı post tasarımına bağlanmıştır.^(132, 133)

2.6. Dentin Defektlerini İnceleme Yöntemleri

2.6.1. Endoskopi

Endoskopik görüntüleme, X-ışını radyasyonu içermeyen güvenli bir büyütme ve inceleme tekniğidir. Endoskop, ışığı ve video kamerası olan esnek veya sert, ince ve uzun olan bir tüpten oluşan ve hastanın vücudunun iç kısmının görüntülerinin ekranda görülebilmesini sağlayan bir cihazdır. Endoskoplar, kök kanal konfigürasyonlarını görselleştirmek ve varyasyonları tespit etmek amacıyla *in vivo* kullanım için geliştirilmiştir.^(134, 135) Yakın zamanda yapılan bir çalışma, kök kanal endoskopunun ana kök kanallarından anatomozun dallanma noktalarını tespit edebildiğini göstermiştir.⁽¹³⁶⁾ Endoskop, endodontide ilk kez 1979'da dental kırıkların teşhisinde

kullanılmıştır.⁽¹³⁷⁾ Von Arx ve ark.,⁽¹³⁸⁾ yaptıkları bir çalışmada dentindeki defektleri görüntülemek için endoskopiye kullanmışlardır.

2.6.2. Optik Koherens Tomografi (OCT)

OCT, diş ve yumuşak dokunun detaylarını, kızılötesine yakın bir ışık kullanarak mikron düzeyde yüksek çözünürlüklü kesitsel görüntülerle sağlayan radyasyon içermeyen, non invaziv bir tekniktir.⁽¹³⁹⁾

Bu teknik; dokulardan yansıyan ışığın koherensini ölçüp, kesitsel görüntüler aldığı için OCT olarak isimlendirilmiştir. OCT, yansıyan ışığın görüntülenmesine dayanmaktadır. Bir kamera gibi yalnızca 2B görüntü değil, derinlik boyutunu da elde etmektedir. Cihaz, gerçek zamanlı olarak yüzeyden ~3 mm içeride yapının ayrıntılarını sağlayabilir.⁽¹⁴⁰⁾ Bunun sayesinde dokuya zarar vermeden, mikroskop altındaki görüntüye benzer kesitsel görüntüler elde edilir.

OCT diş hekimliğinde *ex-vivo* çalışmalarda kanal anatomisini, kök perforasyonlarını değerlendirmede,^(141, 142) kalan dentin kalınlığını ölçmede⁽¹⁴²⁾ ve kök çatlaklarını tespit etmede kullanılmış ve faydalı olduğu gösterilmiştir.^(10, 143, 144)

Chen ve ark.,⁽¹⁴⁵⁾ 2021 yılında yaptıkları *in vitro* çalışmada, döner eğelerin kök kanal preparasyonu sırasında oluşturdıkları kök defektlerini görüntülemek için OCT kullanmışlardır.

2.6.3. LED (Light Emitting Diode) Transillüminasyon

Amerikan Endodontistler Birliği'ne göre, transillüminasyon “*en fazla bilgiyi sağlayan ve bir çatlağın nerede olduğunu kolayca ve grafiksel olarak gösteren tespit yöntemidir*”.⁽¹⁴⁶⁾

LED transillüminasyon, dentin defektlerinin değerlendirmek için non invaziv, ucuz ve zaman almayan bir yöntemdir ve büyütme ile birlikte kullanımının, dentin defektlerinin *in vitro* görselleştirilmesini arttırdığı bulunmuştur. LED, bir elektrik akımı cihazdan geçtiğinde görünür ışık yayan bir yarı iletkenidir.⁽¹⁴⁷⁾

Coelho ve ark.,⁽¹⁴⁷⁾ yaptıkları bir çalışmada farklı döner ege sistemlerinin kök dentininde oluşturdıkları çatlakları değerlendirmek için LED yöntemini kullanmışlardır.

2.6.4. Kızılötesi Termografi

Kızılötesi termografi basit, zararsız, non invaziv ve iyonlaştırıcı olmayan bir tekniktir. Yöntem, anormal sıcaklık modeli ölçümlerini vurgular ve üretilen görüntüler, termal modele ilişkin bilgi sağlamak için dijital olarak saklanabilir ve analiz edilebilir.⁽¹⁴⁸⁾

Termografi, sıcaklık farklılıklarının 2B bir görüntüde haritalanabildiği bir işlemdir. İşlem, bir vücut veya daha yüksek sıcaklıktaki sıvılar tarafından yayılan elektromanyetik radyasyonu algılar ve bir vücut tarafından yayılan termal radyasyonun, vücudun termodinamik sıcaklığının dördüncü gücüyle orantılı olduğunu belirten Stefan-Boltzmann yasasından yararlanır. Bu, termografiyi sıcaklıktaki en küçük farklılıkları bile tespit etmek için güçlü bir araç haline getirir.⁽¹⁴⁹⁾

2013 yılında yapılan bir *in vitro* çalışmada dentin defektlerinin görüntülemek için kullanılmıştır.⁽¹⁵⁰⁾

2.6.5. Stereomikroskop

Mikroskop, çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük olan nesnelerin büyütülmüş görüntülerini elde etmek için mercekler kullanan optik bir alettir. Nesneleri farklı büyütmeler altında görüntülenerek 2B analizlerine olanak tanır.⁽¹⁵¹⁾

Çalışmalarda örneklerden belirli seviyelerde kesitler alınır ve bu kesitler stereomikroskop altında incelenirler. Literatürde dentin defektlerini stereomikroskop ile gözlemleyen birçok çalışma vardır.⁽¹⁵²⁻¹⁵⁶⁾ Ancak, stereomikroskop ile inceleme için diştan kesit alma işlemlerinin dentinde ilave çatlaklara yol açabileceği rapor edilmiştir.⁽¹⁵⁵⁾

2.6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM’de görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin örnek yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron ve örnek atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Organ, doku ve hücrelerin topografik görüntülerini incelemek için kullanılır. SEM, elektron demetinin örnek yüzeyini taraması prensibiyle çalışır. Endodonti’de ilk olarak 1975 yılında smear tabakasının varlığını göstermek için kullanılmıştır.⁽¹²⁴⁾ Literatürde dentin dokusunda oluşan defektleri tespit etmek için SEM yöntemi kullanılmıştır.⁽¹⁵⁷⁾

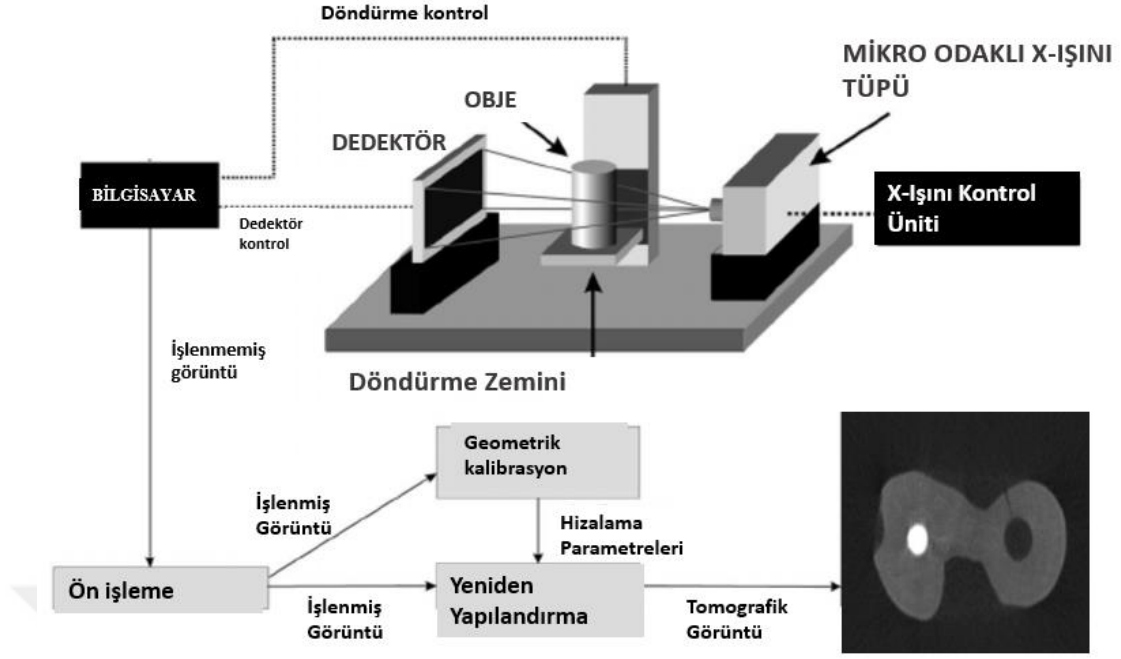
Ancak, diş gibi örneklerin SEM ile incelenmesi için fiksasyon ve dehidrasyon gibi aşamalardan geçmesi gerekir. Shemesh ve ark.,⁽¹⁵⁸⁾ dehidrasyon işleminin kök kanal preparasyonundan bağımsız olarak yeni dentinal defektlere neden olduğunu rapor etmişlerdir. Yapılan bir çalışmada,⁽¹⁵⁹⁾ SEM yönteminin preparasyon işlemlerinden bağımsız olarak yeni dentin defekti oluşturduğunu gözlemlemişlerdir.

2.6.7. Mikro-Bilgisayarlı Tomografi (μBT)

μBT, dişe zarar vermeden bir dişin iç yapısını görüntülemek için X-ışını ve dijital dedektörler kullanan invazif olmayan bir görüntüleme aracıdır.⁽¹⁶⁰⁾ Hedefin 2B kesitlerinden, 3B yüksek çözünürlüklü görüntülerin üretilmesini sağlamaktadır.

1982 yılında Elliott ve Dover ⁽¹⁶¹⁾ tarafından, küçük nesneleri daha yüksek bir çözünürlükte görüntüleyebilmek amacıyla ilk μBT cihazı geliştirilmiştir. Endodontide ilk defa Nielsen ve ark. ⁽¹⁶²⁾ tarafından kanal preparasyon ve obturasyon işlemlerinden sonra kök kanal sistemindeki morfolojik değişiklikleri değerlendirmek için kullanılmıştır.

μBT’de konik X-ışınları ve mikrofokal spot tüpler kullanır. Dijital X-ray dedektörleri öncelikle tarama işlemi sırasında oluşturulan 2B dijital X-ray görüntülerini hızlı bir şekilde almak için kullanılır. Bu görüntüler, tüm tarama görüntüleri çekildikten sonra işlenmek üzere bir bilgisayarda saklanır. Bir μBT sistemi esas olarak şu bileşenleri içermektedir ⁽¹⁶³⁾ (şekil 2.3): (a) Mikro odaklı X-ışını tüpü, (b) Dijital X-ışını dedektörü, (c) Radyasyon filtresi ve kolimatör, (d) Elektrikli döndürme tablası, (e) Cihaz kamerası, (f) Bilgisayar.



Şekil 2.3. µBT şematik diagramı

µBT’de 2 tür tarayıcı kullanılabilir. Birinci türde, X-ışını kaynağı ve dedektörü sabitken görüntülenmek istenen örnek tarama esnasında döner. İkinci tür, klinik BT’ye benzer şekilde görüntülenmek istenen örnek sabitken X-ışın kaynağı ve dedektörü tarama esnasında döner. µBT taramalarında, X-ışını tüpü ve dijital X-ışını dedektörü için örneğin dönüş miktarını hassas bir şekilde kontrol edebilmek için bir elektrikli döndürme zemini kullanılır.⁽¹⁶⁴⁾ µBT tarayıcının genel hareketini kontrol etmek ve 3B görüntüleri ‘yeniden yapılandırmak’ için bir bilgisayar kullanılır.

µBT prensibi, görüntülenen nesneden geçen x-ışınlarının atenüasyonuna dayanır. Bir X ışını dokudan geçerken, gelen x-ışını ışınının yoğunluğu denkleme göre azalır. X ışını dokudan geçerken, ışının yoğunluğu bu denkleme göre azalır.

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

I_0 : gelen ışının yoğunluğu,

x : kaynaktan olan uzaklık,

I_x : kaynaktan x mesafesindeki ışının yoğunluğu

μ : lineer atenüasyon katsayısıdır.⁽¹⁶⁵⁾

Doğru yerleştirilmiş bir örnekten bir süre boyunca yüzlerce açısal görüntü (izdüşüm) elde etmek için, yüksek oranda dönüş doğruluğu ve X-ışınının, filtre türünün, dönüş sayısının, dönüş açısının, çerçeve sayısının ve veri toplamanın özel bir yazılım tarafından kontrol edilmesi gerekir.⁽¹⁶⁶⁾ Veri kaydından sonra, toplam 180° veya 360° dönüş üzerinden elde edilen yüzlerce veya binlerce açısal görüntü birleştirilmek için yeniden yapılandırılır ⁽¹⁶⁷⁾ ve bunlar, görüntülenen örneğin 3B görüntüsünü oluşturur.⁽¹⁶⁸⁾ Bu nedenle ‘yeniden yapılandırma’, kaydedilen projeksiyonları, örneklerin 2B kesit görüntülerine dönüştüren matematiksel bir süreçtir ve görsel veri sağlamasına rağmen, tarama boyunca oluşabilen artefaktlar gerekli ayrıntıları gizleyebilir. Bu şekilde, yapılandırma sırasında, elde edilen görüntünün kalitesini arttırmak için genellikle bazı filtreler uygulanır; ancak filtreler uygun şekilde uygulanmazsa, özellik boyutlarında ve bileşen hacim fraksiyonlarında hatalı tespitler meydana gelebilir. ⁽¹⁶⁶⁾

Bu görüntüleme yöntemi, ultrason ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi tekniklere göre üstün çözünürlük sağlayarak, 1 µm'ye yaklaşan voksellerle 3B görüntüler üretebilir.⁽¹⁶⁹⁾ Genel olarak, µBT ‘de 50 µm'den daha düşük bir çözünürlük kullanılır. Şu anda, yaygın olarak küçük örnekleri (tek bir diş, hayvan kemiği vs.) taramak için 10–30 µm çözünürlük kullanılmaktadır.^(170, 171)

µBT kullanılarak diş, kemik gibi mineralize dokular ve farklı örnekler doğrudan incelenebilir.

Diş hekimliğinde endodonti alanında; (a) Kök kanal morfolojisinin analizi, (b) Kök kanal şekillendirmesinin değerlendirilmesi, (c) Kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi, (d) Tekrarlayan tedavi işlemlerinden sonra kök kanalında kalan dolgu materyalinin incelenmesi birçok alanda kullanılmaktadır.

Yapılan farklı çalışmalar ile µBT’nin endodontik prosedürlerdeki görüntüleme kalitesi değerlendirilmiştir.^(45, 149, 150) Peters ve ark.^(45, 149) yaptıkları çalışmalarda biyomekanik preparasyonun kanal hacmi üzerindeki etkisini ve NiTi eğelerin kök kanal yapısı üzerindeki performansını değerlendirmek için µBT’den yararlanmışlardır. Jung ve ark.⁽¹⁵⁰⁾ yaptıkları çalışma ile µBT’nin KKT’si yapılmış kök kanallarının değerlendirilmesi için oldukça doğru bir yöntem olduğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte µBT günümüzde bir araştırma aracı olup, insan üzerinde kullanılamamaktadır.

µBT Avantajları ⁽¹⁷²⁾

- Noninvaziv, doğru ve onaylanmış bir görüntüleme yöntemidir.
- Kök dentin veya kanal sistemi ile ilgili herhangi bir durumun tespiti için deneysel prosedürlerden önce örneklerin durumunun değerlendirilmesine izin verir.
- Aynı örnek, elde edilen verilerin birlikte kaydedilmesiyle endodontik işlemlerin farklı aşamalarında değerlendirilebilir.
- Kontrast madde kullanarak ya da kullanmadan defektlerin yerini gözlemlemek mümkündür.
- Dentin defektlerinin varlığı, mekanik preparasyonun diğer sonuçları ile ilişkilendirilebilir.
- Tüm kök uzunluğu boyunca yüzlerce veya binlerce kesitin sıralı bir şekilde analizini sağlar.
- İşlemden önce yapısal koşulların bilinmesinin mümkün olduğu düşünüldüğünde, her örneğin kendi kontrolü sağlanır.
- Kökün boylamsal eksenini boyunca kesitsel dilimlerin sıralı analizini gerçekleştirerek, görüntü alma veya rekonstrüksiyon sırasında tek bir dilimde oluşturulan artefakt veya gürültüden (yanlış pozitif) gerçek dentin defektleri arasında ayırım yapılmasına olanak tanır.

Dezavantajları ⁽¹⁷²⁾

- Teknik klinik kullanım için uygun değildir.
- Prosedürler zaman alıcıdır (tarama ve yeniden yapılandırma).
- Ekipman ve bakım çok pahalıdır.
- Teknik prosedürlerin karmaşıklığı ve özel yazılım hakkında detaylı bilgi gerektirir.
- Aşırı derecede gürültülü görüntüler, değerlendirme sürecini engelleyebilir, dentin defektinin oluşumu ve ilerleyişini doğru bir şekilde yorumlanmasını engelleyebilir, bu da defektin olduğundan az tespitine veya yanlış pozitif çatlakların saptanmasına neden olarak, insidansının olduğundan fazla tahmin edilmesine neden olabilir.

- Nem içeriği, dentin mikro çatlaklarının görünürlüğünü etkileyebilir ve bu da yanlış negatif sonuçlara ve çatlak insidansının eksik tespit edilmesine neden olabilir.
- Uygun olmayan tarama ve yeniden yapılandırma ayarlarından kaynaklanan artefaktlar, görüntülerin çıktı kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda ve Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir

Bu çalışma için Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 13.01.2021 tarih ve KAEK-13 karar numarası ile Etik Kurul Onayı alınmıştır.

3.1. Örneklerin Seçimi ve Hazırlanması

Çalışmamızda kullanılmak üzere 40 adet periodontal nedenlerle çekilmiş, çürüksüz, iki köklü ve kökleri düz üst çene birinci küçük azı dişi seçildi. Dişlerin dahil edilme kriterleri aşağıdaki gibidir: (a) Kök ucu gelişimi tamamlanmış olmalı, (b) Çift köklü olmalı ve furkasyon kökün apikal üçlünün daha koronalinde olmalı, (c) Kökte herhangi bir defekt veya rezorbsiyon belirtisi olmamalı, (d) Kanallar çok geniş veya çok dar olmamalı ve apikalde ilk olarak 10 numaralı eğe sıkışmalı, (e) Kök kanal anatomisi varyasyon göstermemeli, (f) Daha önceden KKT uygulanmamış olmalıdır.

Dişler, stereomikroskop (Zeiss Stemi, CarlZeiss/GmbH, Almanya) ile X15 büyütmeyle incelendi. Herhangi bir defekt, rezorbsiyon, kırık veya çatlağa sahip olan dişler çalışmaya dahil edilmedi. Dişlerden, dijital radyografiler de alınarak ikiden fazla kanala sahip olan dişler çalışma dışı bırakıldı.

Dişlerin üzerindeki sert ve yumuşak doku artıkları bir kretuar yardımıyla temizlendi ve çalışma süresince kurumalarını önlemek için dişler distile su içerisinde saklandı.

Tüm dişler koronalde ferrule etkisi için 2 mm diş yapısı bırakılarak çalışma boyu 18 mm olacak şekilde düz bir yüzey oluşturularak dekorone edildi (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Dişlerin 2mm ferrule oluşturulacak şekilde dekorone edilmesi

3.2. Kök Kanallarının Şekillendirilmesi ve Doldurulması

Dişlere standart giriş kavileri açıldı. Apikal açıklık #10 no K-tipi eğe ile kontrol edildi. Çalışma boyu (ÇB) tespiti için #10 no K-tipi eğe kök ucuna kadar ilerletildi. ÇB, eğenin kök ucundan çıktığı nokta tespit edilerek ölçülen değerden 1 mm çıkartılarak hesaplandı. Daha sonra periodontal ligamenti taklit etmek için dişler akrilik bloklara gömülmeden önce dişlerin tüm kök yüzeyleri 0,2 - 0,3 mm kalınlığında mum ile kaplandı. Mum soğuduktan sonra 1,5 X 1,5 cm boyutlarındaki silikon halka ile çevrili akrilik rezin içine koronaldeki 2 mm ferrule dışarda kalacak şekilde dişler gömüldü. Akrilik rezin sertleştikten sonra dişler çıkarıldı ve dişlerin üzerindeki ve soketteki mumlar temizlendi. Temizlenen kök yüzeyleri ince bir tabaka silikon esaslı ölçü maddesi (Zetaplus; Zhermack SpA, Badia Polesine, İtalya) ile kaplandı ve sonra dişler akrilik rezine tekrar yerleştirildi (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Örneğin akrilik blok içine gömülmesi

Dişler gömüldükten sonra, #15 no K-tipi eğe ile rehber yol oluşturuldu. Kök kanallarının şekillendirilmesi için ProTaper Next X1 ve X2 eğeleri (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) üretici firma önerileri doğrultusunda X-Smart Plus endodontik motoru (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile “Rotasyon” modunda kullanıldı (Şekil 3.3). Her eğe değişiminde 2 ml %1 konsantrasyonda NaOCl solüsyonu ile kanallar irrigate edildi. Kök kanal şekillendirmesi tamamlandıktan sonra sırasıyla 1 dk süreyle %17 EDTA, distile su, %1’lik NaOCl ve distile su kullanılarak son yıkama işlemleri tamamlandı. Kanallar kağıt konlar ile kurutuldu. Tek kon tekniği ile X2 ProTaper GP konu (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ve Dia-Proseal kanal patı (Diadent, Seoul, Kore) kullanılarak kök kanalları dolduruldu (Şekil 3.4).

Kök kanallarının doldurulması işlemi takiben kavite cam iyonomer siman ile geçici olarak kapatıldı ve distile su içerisinde, 37 °C’de %100 nemli ortamda kanal patının tam olarak sertleşmesi için 1 hafta süre ile bekletildi.



Şekil 3.3. ProTaper Next X1-X2 eğeleri ve kullanılan endodontik motor



Şekil 3.4. Dia-Proseal Kanal Patı ve ProTaper Next X2 güta perka

3.3. Birinci μ BT Taramasının Yapılması

Örnekler μ BT (Skyscan 1272, Bruker, Kontich, Belçika) ile tarandı (Şekil 3.5).



Şekil 3 5. Bruker Skyscan 1272 mikro bilgisayarlı tomografi cihazı

Taramalar aşağıdaki parametrelere göre yapıldı:

- Kamera piksel boyutu: 7,4 μm
- Kamera-kaynak mesafesi: 273 mm
- Obje-kaynak mesafesi: 199 mm
- Kaynak voltajı: 95 kV
- Kaynak akımı: 105 μA
- Görüntü piksel boyutu: 16 μm
- Işınlama süresi: 9000 ms
- Dönme adımı: 0,60
- Filtre: 0,11 mm Cu

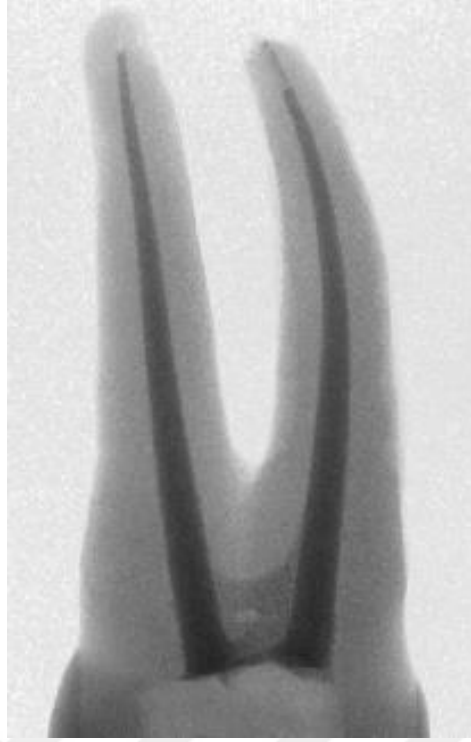
Taramalar sonucunda elde edilen ham görüntüler TIF formatında kaydedildi (Şekil 3.6). Ham tarama verilerinin rekonstrüksiyonu NRecon v.1.7.4.2 (SkyScan, Aartselaar, Belçika) yazılımıyla yapıldı.

Rekonstrüksiyon sonucunda 16 μm /piksel boyutuna sahip 43.320 adet aksiyal kesit görüntüsü elde edildi.

Birinci taramadan elde edilen görüntüler CTAn (SkyScan, Aartselaar, Belçika) programı ile incelendi.

3.4. Deney Gruplarının Belirlenmesi

Post yuvası preparasyonlarından önce dişlere 1'den 40'a kadar numara verildi. Dişlerin bukkolingual ve meziodistal boyutları dijital kumpas ile ölçülerek homojen olarak 10'lu 4 gruba ayrıldı (Tablo 3.1).



Şekil 3.6. TIF formatındaki ham görüntü

Tablo 3.1. Dişlerin rastgele 4 gruba ayrılması

Grup 1 (Rebilda-1/2) (n=10)	Rebilda Post drilleri ile çalışma boyunun 9 mm'sine post preparasyonunun yapıldığı dişler
Grup 2 (Rebilda-2/3) (n=10)	Rebilda Post drilleri ile çalışma boyunun 12 mm'sine post preparasyonunun yapıldığı dişler
Grup 3 (RelyX-1/2) (n=10)	RelyX Post drili ile çalışma boyunun 9 mm'sine post preparasyonunun yapıldığı dişler
Grup 4 (RelyX-2/3) (n=10)	RelyX Post drili ile çalışma boyunun 12 mm'sine post preparasyonunun yapıldığı dişler

3.5. Post Yuvası Hazırlanması

µBT taraması yapıldıktan sonra; tüm diş gruplarında palatinal köke post yuvaları hazırlandı. Kanaldaki GP'yı uzaklaştırmak için tüm gruplarda Rebilda sistemine ait başlangıç drili kullanıldı (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Rebilda sistemine ait başlangıç drili

Rebilda ve RelyX drilleri (Şekil 3.8-3.9) hız kontrollü bir anguldurva ile üretici firmaların kullanım talimatları doğrultusunda 2000 rpm hızda kullanıldı.



Şekil 3.8. Çalışmamızda kullanılan Rebilda Drilleri



Şekil 3.9. Çalışmamızda kullanılan RelyX Drili

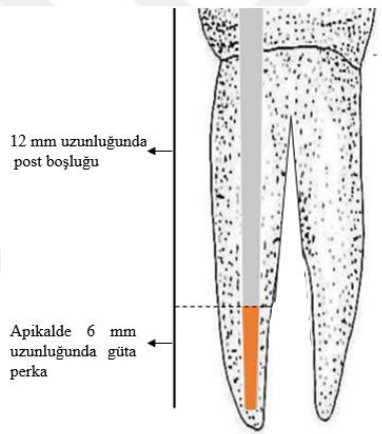
Grup 1'deki dişlere ÇB'nun 1/2'si olacak şekilde 9 mm uzunluğunda post yuvası hazırlandı. Rebilda başlangıç drili kullanılarak kök kanal dolgusu söküldü. Kırmızı ve yeşil renkli Rebilda post drilleri kullanılarak post yuvası hazırlandı.

Grup 2'deki dişlere ÇB'nun 2/3'ü olacak şekilde 12 mm uzunluğunda post yuvası kırmızı ve yeşil renkli Rebilda post drilleri kullanılarak hazırlandı.

Grup 3'deki dişlere ÇB'nin 1/2'si olacak şekilde 9 mm uzunluğunda post yuvası sarı renkli RelyX post drili kullanılarak hazırlandı.

Grup 4'deki dişlere ÇB'nun 2/3'ü olacak şekilde 12 mm uzunluğunda post yuvası sarı renkli RelyX post drili kullanılarak hazırlandı.

Şekil 3.10 ve 3.11'de gruplara göre oluşturulan post uzunlukları şematize edilmiştir.



Şekil 3.11. 2. ve 4. grupların post yuvası uzunluklarının şematize edilmesi



Şekil 3.10. 1 ve 3. grupların post yuvası uzunluklarının şematize edilmesi

3.6. İkinci µBT Taramasının Yapılması

Post yuvaları hazırlandıktan sonra dişler ikinci defa µBT cihazı ile birinci taramadaki parametrelere göre tarandı.

3.7. Örneklerin İncelenmesi

Ham tarama verileri NRecon v.1.7.4.2 (SkyScan, Aartselaar) yazılımıyla rekonstrükte edildi. Elde edilen görüntüler CTAn (SkyScan, Aartselaar) programı ile incelendi.

Çalışmada; kök kanal lümeninden dentine doğru uzanan ilk defa tespit edilen çatlaklar “yeni oluşan çatlak” olarak, birinci µBT taramalarında tespit edilen çatlakların

boyutunda artış olan çatlaklar “*ilerlemiş çatlak*” olarak, kök kanal lümeninden, kök yüzeyine kadar uzanan çatlaklar “*tamamlanmış çatlak*” olarak tanımlandı.

Yukarıda belirtilen 3 farklı çatlak sınıflamasına göre birinci μ BT taramalarından elde edilen görüntüler ile ikinci μ BT görüntüleri karşılaştırılarak örnekler incelendi ve kaydedildi.

Yeni oluşan, ilerlemiş veya tamamlanmış çatlağı olan örnekler “çatlak var” ve herhangi bir çatlağı olmayan örnekler “çatlak yok” şeklinde değerlendirildi.

3.8. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel değerlendirme SPSS 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, ABD) programı kullanılarak yapıldı. Tüm gruplar arasında anlamlı fark olup olmadığı ki-kare testi kullanılarak değerlendirildi.

4. BULGULAR

Çalışma sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analizi Akdeniz Üniversitesi İstatistiksel Danışmalık Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

İkinci μ BT taramaları sonrası tespit edilen çatlaklar, “*yeni oluşan çatlak*”, *ilerlemiş çatlak*” ve “*tamamlanmış çatlak*” olarak 3 kategoride incelendi.

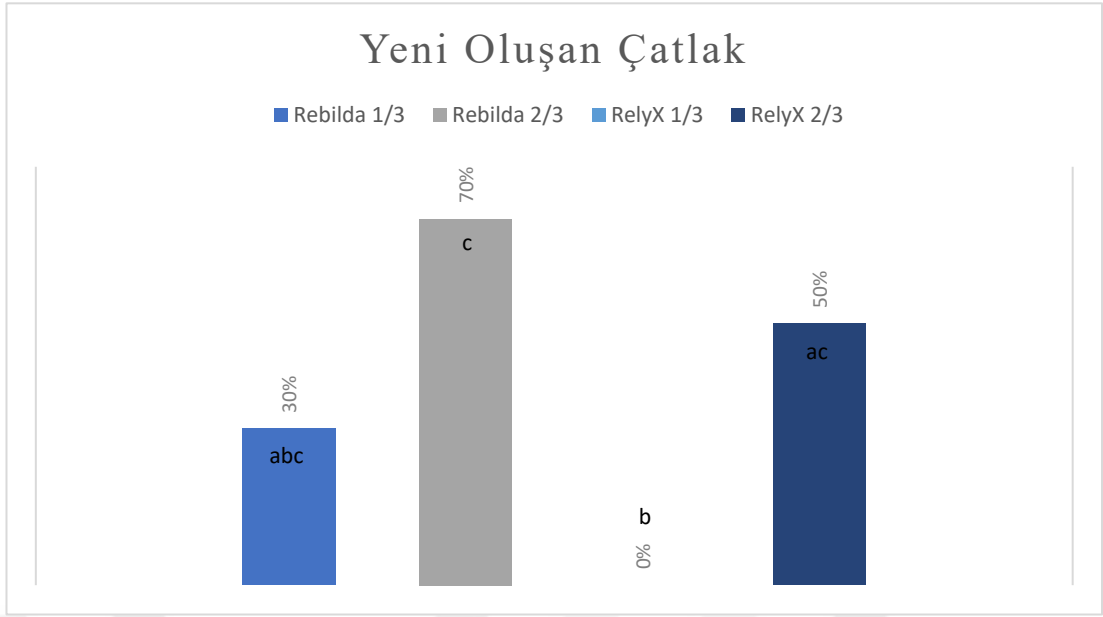
Tablo 4.1. Tespit edilen çatlak sayılarının gruplara göre dağılımı

Gruplar	Yeni oluşan çatlak sayısı	İlerlemiş çatlak sayısı	Tamamlanmış çatlak sayısı	Taranan kesit sayısı
Grup 1 (Rebilda- 1/2)	3	5	1	1596
Grup 2 (Rebilda-2/3)	10	5	5	2173
Grup 3 (RelyX-1/2)	0	3	1	1510
Grup 4 (RelyX-2/3)	5	4	3	2403

Tamamlanmış ve ilerlemiş çatlak açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmedi ($P>0.05$).

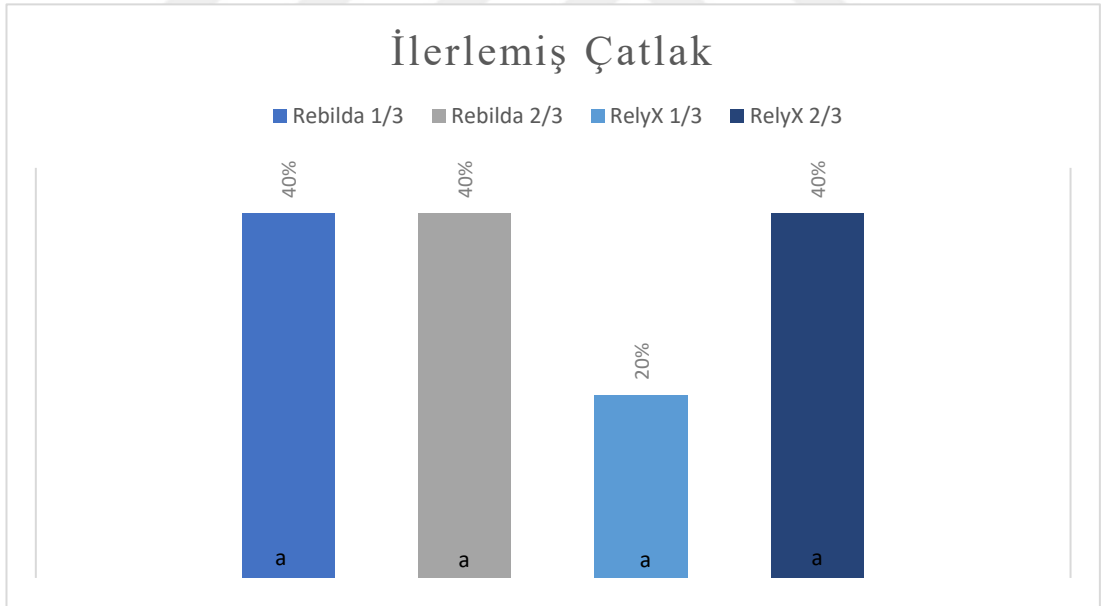
Yeni oluşan çatlak açısından Rebilda-2/3 grubu, RelyX-1/2 grubundan istatistiksel olarak anlamlı daha fazla çatlak oluşturduğu görüldü ($P<0.05$). RelyX-2/3 grubunun da, RelyX-1/2 grubundan istatistiksel olarak anlamlı daha fazla çatlak oluşturduğu görüldü ($P<0.05$). Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmedi ($P>0.05$).

Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 ‘de gruplara göre tespit edilen çatlak oranları gösterilmiştir.

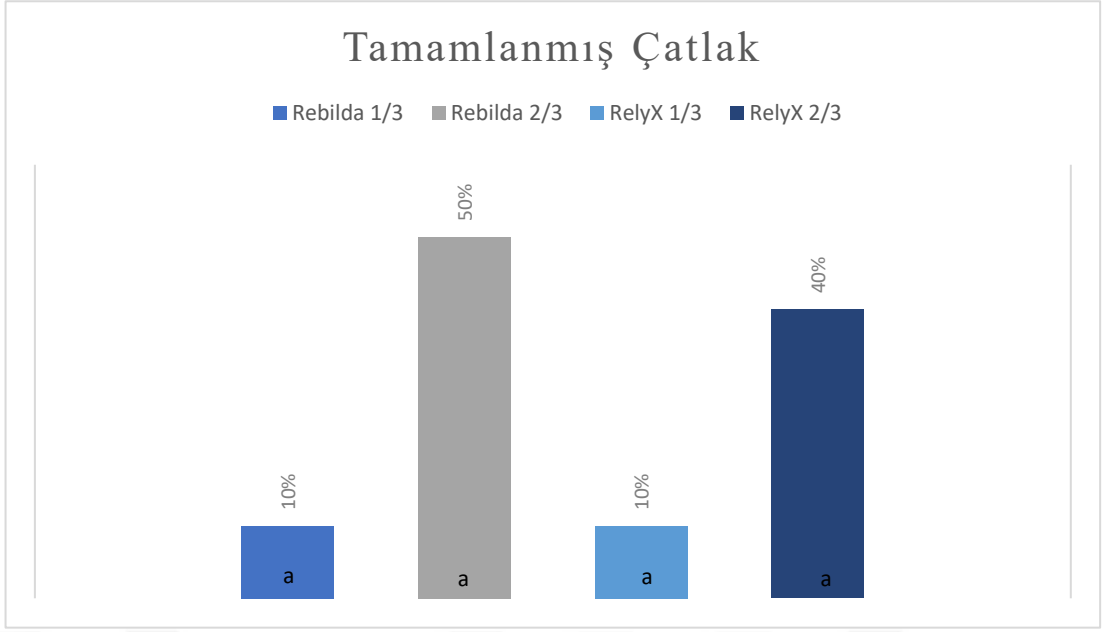


Şekil 4.1. Yeni oluşan çatlakların oranlarının gruplara göre dağılımı

Farklı küçük harflere sahip her sütun değeri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($P < 0,05$).

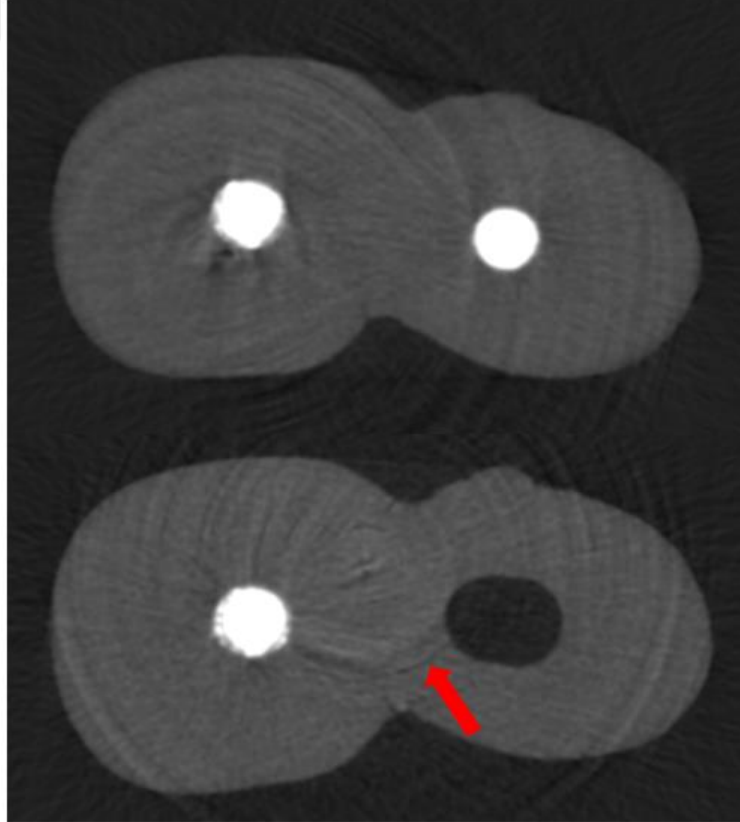


Şekil 4.2. İlerlemiş çatlakların oranlarının gruplara göre dağılımı

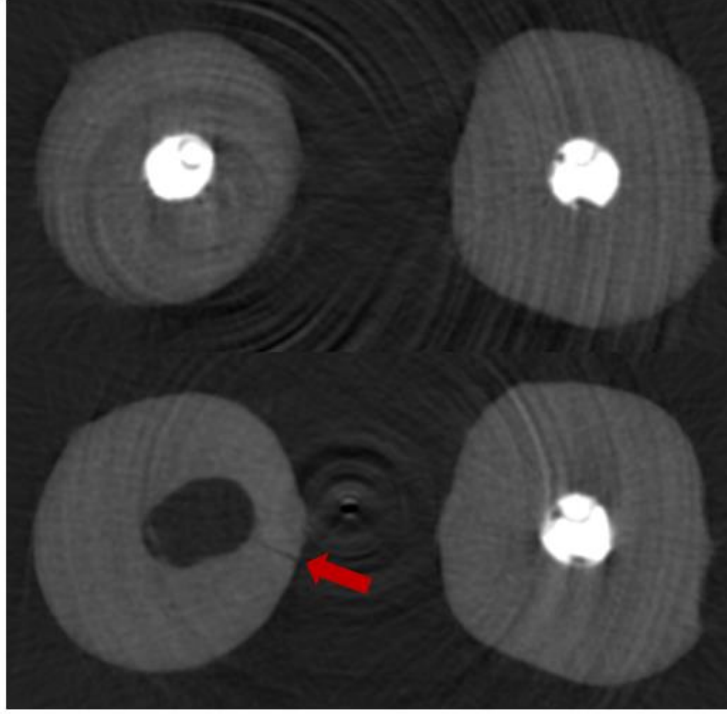


Şekil 4.3. Tamamlanmış çatlakların oranlarının gruplara göre dağılımı

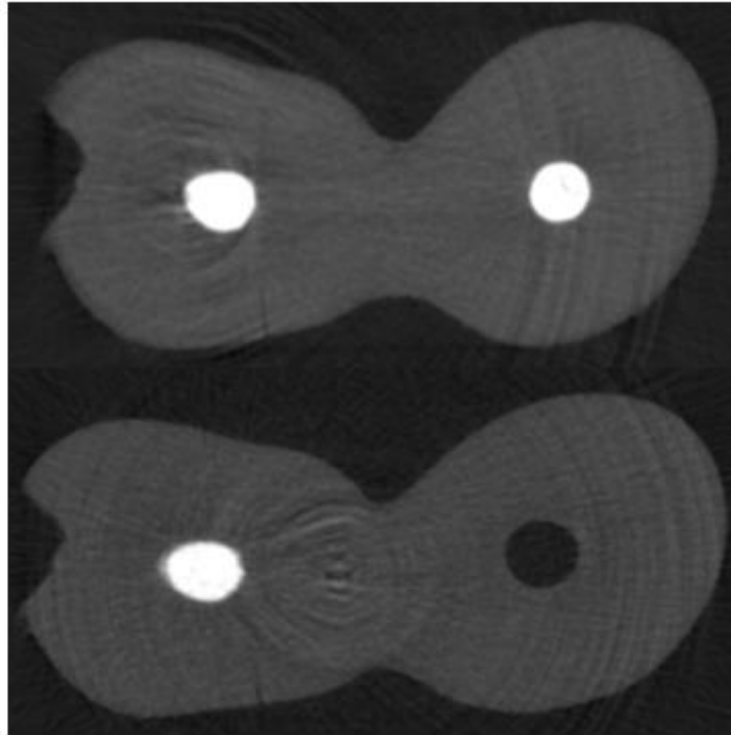
Post preparasyonu öncesinde alınan birinci μ BT ve post preparasyonu sonrasında alınan ikinci μ BT taramalarından elde edilen görüntülerin örnekleri Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7’de gösterilmiştir.



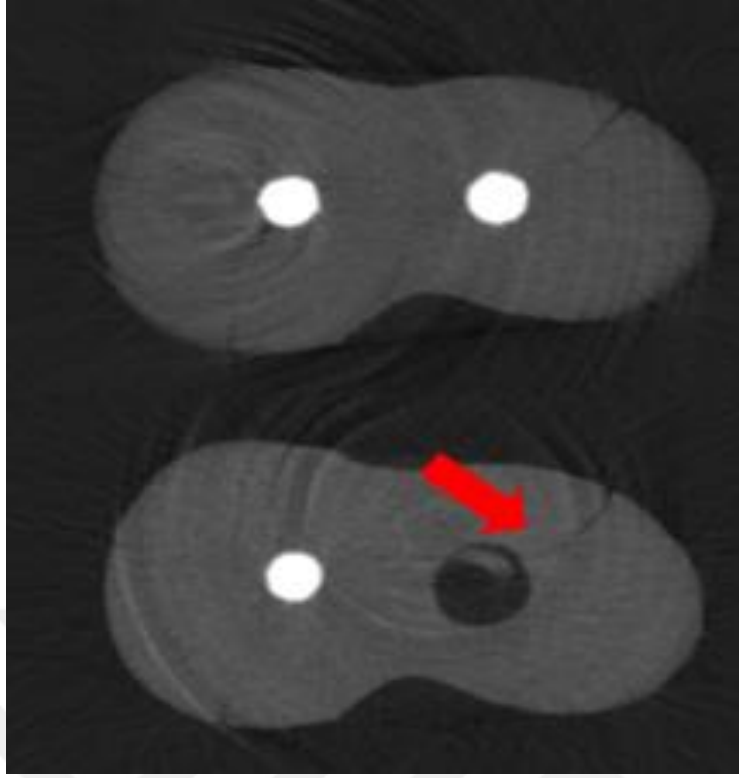
Şekil 4.4. RelyX-2/3 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait μ BT tarama görüntüleri izlenmektedir. Yeni oluşan bir çatlak görülmektedir.



Şekil 4.5. Rebuilda-2/3 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait μ BT tarama görüntüleri izlenmektedir. Tamamlanmış çatlak görülmektedir.



Şekil 4.6. RelyX-1/2 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait μ BT tarama görüntüleri izlenmektedir. Herhangi bir çatlak oluşumu görülmemektedir.



Şekil 4.7. Rebilda-2/3 grubuna ait bir örneğin post preparasyonu öncesi ve sonrasına ait μ BT tarama görüntüleri izlenmektedir. İlerlemiş çatlak görülmektedir.

5. TARTIŞMA

Klinik başarı için KKT sonrası uygulanan restorasyon da en az KKT sürecindeki uygulamalar kadar önemlidir. Restorasyon kalitesi ile KKT'li dişin klinik başarısı arasında doğrudan bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur.⁽⁵⁴⁾ Yapısal olarak zayıflamış KKT'li dişlerin restorasyonda post ve kor sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Post-kor restorasyonlarında post tutuculuğunun kaybı, postun kırılması, kök perforasyonu, kök kırığı ve kromda tutuculuk kaybı gibi komplikasyonlar meydana gelebilir.^(6, 173) Goodacre ve ark.⁽¹⁷³⁾ postlu dişlerdeki kök kırığı görülme sıklığının %0-10 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Kök kırıkları, kök dentinindeki çatlakların ilerlemesiyle oluşur ve bu kırıklar sıklıkla dişin çekimine neden olmaktadır.^(10, 125) Post preparasyonu sırasında kök dentininde çatlak oluşumunu gösteren çalışmalar mevcuttur.^(108, 174) Çalışmamızda post preparasyonlarını farklı uzunluklarda ve farklı post drilleriyle hazırlayarak, preparasyon öncesi ve sonrası kök dentininde μ BT ile tespit edilen mikro çatlakların karşılaştırılmasını amaçladık.

KKT'li dişlerin restorasyon sonrası kırılma direncini değerlendiren laboratuvar çalışmalarında, post ile restore edilen dişler, post olmadan restore edilen dişlerle karşılaştırıldığında, kırılma dirençlerinde artış olduğu gösterilmiştir.^(76, 175-178) Fiber postların geleneksel döküm postlara kıyasla kök kırıklarındaki düşük insidansı çeşitli *in vitro* çalışmalarda gösterilmiştir.⁽¹⁷⁹⁻¹⁸¹⁾ Cam fiber postlarla restore edilen dişlerin kırılma direncinin, döküm postlarla restore edilen dişlerin kırılma direncine eşit veya daha fazla olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur.^(182, 183) Çeşitli çalışmalarda, döküm postlarla restore edilen dişlerin daha yüksek katastrofik kırık prevalansı gösterdiği ve fiber postlarla, özellikle de cam fiber postlar kullanıldığında, restore edilen dişlerin tamir edilebilir bir kırık paterni gösterdiği bildirilmiştir.⁽¹⁸⁴⁾ Döküm metal postlar yüksek bir elastisite modülüne sahiptir ve oklüzal kuvvetler altında, daha düşük elastisite modülüne sahip olan kök dentin duvarlarına karşı kuvvet iletirler, böylece kök kırılma olasılığını artırırlar. Cam fiber postların ise dentine benzer bir elastisite modülü vardır, böylece köke iletilen stresi azaltır ve kökün kırılma olasılığını azaltır. Bu, metal postlarla restore edilmiş dişlerle karşılaştırıldığında, cam fiber postlarla restore edilmiş dişlerde kök kırıklarının insidansının daha düşük olmasını açıklayabilmektedir⁽¹⁸⁵⁾. Santos-Filho ve ark., döküm metal postların ve cam fiber postların kırılma dirençlerini karşılaştırdıklarında, daha uzun döküm metal postların

daha kısa döküm metal postlara göre daha fazla kırılma direnci gösterdiğini; fakat farklı uzunluklardaki cam fiber postların benzer bir kırılma direnci gösterdiklerini bildirmiştir.⁽¹⁸⁶⁾

Çeşitli *in vitro* çalışmalarda, dentin defektlerinin oluşumunda mekanik streslerin ve diş yapısının gereksiz çıkarılmasının etkili olabileceği gösterilmiştir.^(152, 187) KKT'li dişlerde dentin mikro çatlaklarının oluşumunda kemomekanik preparasyon, kanal dolum yöntemleri, post yuvası hazırlığı ve restoratif uygulamalar potansiyel nedenler olarak kabul edilir.^(10, 174, 188) Döner sistem eğelerinin kinematiği, kanalların şekillendirilmesi sonrasında gözlemlenen mikro çatlakların çoğunun sebebi olabilir.⁽¹⁸⁹⁾ Bu mikro çatlaklar, obturasyon sırasında veya tedavi sonrası restoratif uygulamalarla oluşan ilave stres sebebiyle ilerleyebilir ve VKK'ya neden olabilir. Yan ve ark. VKK'nın, mikro çatlaklar veya çatlak çizgileri gibi mevcut bir dentin defektinin, stres altında ilerlemesiyle ortaya çıkma olasılığının daha yüksek olduğunu bildirmiştir.⁽¹⁹⁰⁾

Bu konuyla ilgili çok sayıda yayın olmasına rağmen, diş çekimine yol açan VKK'larının yaygınlığı tam olarak belirlenememiştir.⁽¹⁹¹⁾ Zadik ve ark.,⁽¹³⁰⁾ çekilen KKT'li dişlerde %8,8 oranında VKK olduğunu bildirirken, Fuss ve ark.⁽¹⁾ %11, Vire ve ark.⁽¹⁹²⁾ %13 ve Touré ve ark.⁽¹⁹³⁾ %13.4 oranlarını bildirmişlerdir. Buna karşılık, Sjögren ve ark.⁽¹⁹⁴⁾ tarafından daha yüksek bir prevalans (%31) bildirilmiştir.

Üst çene küçük azı dişleri, servikal kalınlıklarının az olması ve kökün mezial yönündeki içbükeyliği nedeniyle yüksek bir kırık insidansına sahiptir ⁽¹⁹⁵⁾. Bu dişler, büyük azı dişlerine göre daha az miktarda diş yapısına sahiptirler ve çiğneme sırasında daha fazla lateral kuvvetlere maruz kalırlar.⁽¹⁹⁶⁾ Üst çene küçük azı dişleri bukkolingual çapına kıyasla daha dar meziodistal çapa sahip olan kökleri nedeniyle VKK'ya daha yatkın dişlerdir.⁽¹⁹⁷⁾ Bu özelliklerinden dolayı üst çene küçük azı dişlerini restore etmek için kanal içi postlar yaygın olarak kullanılır. Bu yüzden çalışmamızda üst çene birinci küçük azı dişlerini tercih ettik.

Dentinin mekanik özelliklerinin araştırıldığı çalışmalarda; saklanma koşullarının sonuçları etkileyebileceği, dehidratasyonun dentinde çatlaklara yol açabileceği bildirilmiştir.⁽¹⁵⁸⁾ Dentini ilgilendiren çalışmalar için en uygun saklama koşulları tartışmalıdır.⁽¹⁹⁸⁾ Dişleri distile suda bekletmenin dentin üzerinde etkisinin olmadığı

düşünülerek dentini ilgilendiren çalışmalarda tavsiye edilmektedir.⁽¹⁹⁹⁾ Biz de çalışmamızda örneklerimizi distile suda saklayarak beklettik.

Çekilmiş dişlerin boyut farklılıklarının yüksek standart sapmalara sebep olmaması için çalışmamızda kontrol edilebilen tüm faktörler standardize edildi. Dişlerin boyutlarını dijital kumpas ile ölçerek kron ve kök uzunlukları benzer olan, benzer meziodistal ve bukkolingual genişliğe sahip dişleri çalışmaya dahil ettik. Çalışmaya dahil olan dişler, 18 mm uzunluğunda kök yapıları elde edilecek şekilde elmas separe kullanılarak dekorone edildi.

Fiber post ile restore edilecek dişlerde ferrule etkisinin sağlanması hem dişlerin kırılma dayanıklılığını artırır hem de restorasyona yeterli direnci sağlayarak uzun ömürlü olmalarını sağlar.^(200, 201) Stankiewicz ve Wilson,⁽²⁰⁰⁾ 1 mm dikey yüksekliğe sahip bir ferrulenin, ferrule olmadan restore edilen dişlere kıyasla kırılma direncini iki katına çıkardığını göstermişlerdir.⁽²⁰¹⁾ Diğer çalışmalar, 1,5 ila 2 mm dikey yüksekliğe sahip bir ferrulenin maksimum olumlu etkilerini göstermiştir.^(112, 200) Ferrulenin dikey yüksekliğini araştıran birçok çalışmada,^(112, 201, 202) çevresel ve 2 mm yüksekliğinde ferrule sağlanmasının, KKT'li dişlerin kırılma dayanıklılığını en etkili şekilde attırdığı bildirilmiştir.⁽²⁰²⁻²⁰⁴⁾ Bir sonlu element analizinde, Santos Filho ve ark.⁽²⁰⁵⁾ ferrule varlığının köklerde daha kabul edilebilir bir stres dağılımını desteklediğini göstermiştir. Ferrule yüksekliği ile ilgili bu çalışmalara dayanarak, çalışmamızdaki dişlere 2 mm dikey yüksekliğinde ferrule oluşturduk.

In vitro çalışmalarda, dişlere gelen kuvvetleri dağıtan periodontal ligamentin yokluğu sonuçları etkileyebilir. Çapar ve ark.⁽¹⁵³⁾ kırılma direnci veya dentinde çatlak oluşumu üzerine yapılan çalışmalarda periodontal ligament simülasyonunun gerekli olduğunu belirtmiştir. Periodontal ligament viskoelastik özelliğe sahip olduğundan, dişlere gelen yük ile oluşan stres dağılımında önemli bir rol oynar.⁽²⁰⁶⁾ Lertchirakarn ve ark.⁽²⁰⁷⁾ periodontal ligamenti taklit etmek amacıyla diş köklerini silikon ile kaplamışlardır. Wilcox ve ark.⁽⁹⁾ ise periodontal ligamenti taklit etme amacıyla dişleri tek tabaka alüminyum kâğıdı ile kaplamış ve kemiği taklit etmek için ise bu örnekleri akrilik rezin içerisine gömmüşlerdir. Son zamanlarda kemik ve periodontal ligamentin yerinde kaldığı ve dişin çekim travması görmediği kadavra modelleri dentinde çatlak araştırılan çalışmalarda kullanılmıştır.^(208, 209) Biz çalışmamızda periodontal

ligamentin taklit edilebilmek için polieter ölçü maddesi kullandık. Bu ölçü maddesi periodontal ligamentinkine benzer viskoelastik özelliklere sahiptir.⁽²¹⁰⁾

Literatürde, kök kanal preparasyonu ile kök dentin defektlerinin gelişimi arasında bir ilişki olduğu gösterilmiştir.^(147, 211-214) Eğelerin bu zararlı etkileri eğenin yatay kesitine, alaşımına, ısıl işlemine, kesme etkinliğine, boyutuna, uç şekline, konikliğine, kinematığına ve kullanılan eğe sayısına bağlanabilir.^(212, 215) Merkezi olmayan dikdörtgen enine kesiti, eğe ve kök kanal duvarı arasındaki teması en aza indirerek vida etkisini azaltır.⁽²¹⁵⁾ Ege sisteminin bu özellikleri, kök kanalı içinde daha az stres oluşturarak kök dentinine daha az zarar verilmesini sağlar.⁽²¹⁶⁾ ProTaper Next eğe sisteminde; X1-X5 olmak üzere 5 adet eğe bulunmaktadır. Çalışmamızda X1 ve X2 eğeleri sırayla kullanılarak şekillendirme yapılmıştır.

KKT'sinin amacı, kimyasal ve mekanik temizlik ile steril kök kanalları elde edildikten sonra, kanalların apikal ve koronal olarak tamamen sızdırmaz hale getirilmesiyle bunun devamlılığını sağlamaktır.⁽²¹⁷⁾ Kanalların şekillendirilmesi gibi kanal obturasyon uygulamalarının da kök dentininde mikro çatlaklar oluşturduğu ile ilgili literatürde çalışmalar mevcuttur.^(211, 218, 219) Obturasyon sırasında iyi bir sızdırmazlık sağlamak için uygulanan kompaksiyon kuvvetleri, çekme gerilmeleri oluşturarak kök kanallarını etkileyebilir.

Soğuk lateral kondensasyon, kök kanal dolumunda yıllardır kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte, lateral konlar için boşluk yaratmak amacıyla kullanılan spreader tarafından oluşturulan kuvvetler, kök dentininde çekme gerilmesi uygulayarak mikro çatlakların gelişmesine yol açabilir.^(164, 220) Sıcak vertikal kondensasyon, GP'nın kondensasyonunu arttırmak amacıyla kullanılan bir tekniktir. GP'nın vertikal kondensasyonu sırasında pluger kullanılarak oluşturulan kuvvetler, kök dentininde çatlakların yayılmasına yol açan kama kuvvetleri oluşturabilir.⁽²²¹⁾ 2021 yılında Chellapilla ve ark.⁽²²²⁾, soğuk lateral kondensasyon, sıcak vertikal kondensasyon ve enjekte edilebilir GP dolum tekniklerinin kök dentininde oluşturduğu çatlakları değerlendirmek için µBT kullanmışlardır. Çalışmada, lateral kondensasyon tekniğinin bir yeni çatlak oluşturduğunu, diğer tekniklerin ise herhangi bir çatlak oluşturmadığını göstermişlerdir. De-Deus ve ark.,⁽²¹³⁾ lateral kondensasyon, sıcak vertikal kondensasyon ve kor taşıyıcılı GP tekniklerinin kök dentininde oluşturduğu çatlakları µBT kullanarak değerlendirdikleri çalışmalarında, herhangi bir çatlak oluşumu

gözlemlememişlerdir. GP'nin enjekte edildiği teknikler, minimum kuvvetlerin kullanıldığı pasif bir kompaksiyon tekniği olduğu için; mikro çatlaklarda bir artış ile ilişkili bulunmamıştır.⁽²²²⁾ Kumaran ve ark.⁽²²³⁾ soğuk lateral kondensasyon ve sıcak vertikal kondensasyonun pasif dolum tekniklerinden daha fazla dentin çatlağı ile sonuçlandığını göstermiştir. Benzer şekilde, Çapar ve ark.⁽²¹⁸⁾ yaptıkları çalışmada, dolum tekniklerinin çatlak oluşumu ile doğrudan ilişkisi olduğunu gözlemlemişler ve soğuk lateral kondensasyon ve devamlı ısıyla dolum yöntemlerinin, tek kon tekniğine göre daha fazla çatlak oluşumuna yol açtığını bulmuşlardır. Bunun nedeni olarak, kanal duvarlarında kompaksiyon kuvvetleri oluşturan dolum tekniklerine göre, tek kon tekniğinin minimal oranda kuvvet uygulaması olarak göstermişlerdir.⁽²²⁴⁾ Çalışmamızda kanal duvarlarına gelebilecek zararlı kuvvetlerin engellenmesi amacıyla kanal dolum yöntemi olarak tek kon yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmamızda post yuvası hazırlığının oluşturduğu çatlakları değerlendirmek istediğimiz için şekillendirme öncesi ve sonrası µBT görüntülerinin alınmasına ihtiyaç olmamıştır. Kanal dolum aşamasından sonra birinci µBT görüntüleri alınmıştır.

Kök kanalı irrigasyonu, kök kanal sisteminin dezenfeksiyonunda ve debrislerin uzaklaştırılmasında önemli bir role sahiptir. Kök kanal şekillendirmesi sırasında kullanılan irrigasyon solüsyonları kök dentininde defekt oluşumuna sebep olabilir.⁽²²⁵⁾ NaOCl ve EDTA, KKT sırasında rutin olarak kullanılan irrigasyon solüsyonlarıdır. Ari ve ark.,⁽²²⁶⁾ NaOCl'in %2.5 ve %5.25 konsantrasyonlarında kullanıldığında kök dentin mikro sertliğini azalttığını, ancak düşük konsantrasyonlarda böyle bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Başka çalışmalarda da yüksek NaOCl konsantrasyonlarının kök dentininin elastik modülünü ve bükülme dirençlerini değiştirdiği gösterilmiştir.^(25, 226) Kök dentininde çatlak oluşumunu inceleyen birçok çalışma kanal şekillendirmesi sırasında %1'lik NaOCl kullanmıştır.^(153, 227-230) Bizim çalışmamızda da, kanal içi işlemler sırasında dentinin mekanik özelliklerinde olası değişiklikleri azaltmak için irrigasyon sırasında %1.0'lik NaOCl solüsyonu kullanılmıştır. Ribeiro ve ark.⁽²³¹⁾ tarafından yapılan bir çalışmada, EDTA'nın, hidroksiapatit yapısındaki fosfat ve kalsiyum iyonlarını bağladığını ve böylece akma dayanımını azaltıp kırık eğilimini arttırdığı bildirilmiştir. Calt ve Serper,⁽²³²⁾ EDTA'nın, 1 dk'dan uzun süre uygulandığında peritübüler ve intertübüler dentinde erozyona neden olduğunu

bildirmiştir. Çalışmamızda EDTA, kanalda 1 dakikadan daha uzun süre kullanılmamıştır.

Post yuvası, GP'nın çıkarılmasından sonra kanal temizlenip şekillendirilerek hazırlanır. Bunun için kimyasal çözücü, ısıtılmış aletler ve Largo-Peeso reamer'lar, Gates-Glidden frezler veya diğer tip döner driller dahil olmak üzere farklı teknikler kullanılmıştır.⁽⁹⁶⁾ GP, ısı veya kimyasalların yardımıyla çıkarılabilir, ancak çoğu zaman en kolay ve en etkili yöntem döner aletleri kullanmaktır.⁽¹⁸⁰⁾ Post yuvası oluşturulurken, kök kanalından hiç dentin uzaklaştırılmamalı ya da çok az dentin uzaklaştırılmalıdır. Post yuvasının KKT'sini yapan hekim tarafından hazırlanması kanal anatomisine daha hakim olduğu için daha uygundur. Gates Glidden frezlerini kullanarak koronal genişletme yapan bir çalışma kök dentininde çatlak oluşturduğunu bildirmiştir.⁽¹⁵⁴⁾ Post yuvasını hazırlamak için fiber postların kendi özel drilleri mevcuttur. Fiber post sistemlerinin kendi postlarıyla uyumlu olan drilleri son zamanlarda tercih edilmektedir. Bu şekilde post yuvası daha kontrollü bir şekilde hazırlanıp, postun adaptasyonu daha hızlı bir şekilde ayarlanabilir. Bu yüzden biz çalışmamızda daha önce dentinde çatlak etkisinin araştırılmadığı farklı fiber post sistemlerine ait Rebilda (VOCO, Cuxhaven, Almanya) ve RelyX (3M ESPE, Seefeld, Almanya) drillerini tercih ettik.

Yapılan bir çalışmada⁽¹⁷⁴⁾ post drillerinin kök dentininde çatlak oluşumu üzerinde drill hızın etkili olabileceği öne sürülmüştür. Bu yüzden çalışmada kullandığımız her iki drill de üretici firmalarının kullanım talimatlarına uygun olarak hız kontrollü bir anguldurva ile aynı hızda ve 2000 rpm'de kullanılmıştır.

Literatürde post uzunluğuyla ilgili çeşitli görüşler mevcuttur. Weine,⁽²³³⁾ post uzunluğunun klinik kron boyuna eşit ya da daha uzun olması gerektiğini önermiştir. Burnell ve ark.⁽²³⁴⁾ post uzunluğunun, kök uzunluğunun 1/2'si, 2/3'ü veya 4/5'i kadar olması gerektiğini belirtmiştir. Hirshfeld ve ark.⁽²³⁵⁾ postun krestal kemik ile kök ucunun ortasında sonlanması gerektiğini ve postun apikal kapamayı bozmayacak kadar uzun olması gerektiğini belirtmiştir. Goodacre ve ark.⁽²³⁶⁾ yaptıkları çalışmada ideal post uzunluğunun kök uzunluğunun 3/4'ü kadar olması gerektiğini açıklamıştır.⁽²³⁶⁾ Ancak, post kök uzunluğunun 2/3'ünden daha apikale yerleştirildiğinde, apikal bölgedeki stres seviyesi artmaktadır.⁽¹⁸⁵⁾ Braga ve

arkadaşlarına göre,⁽²³⁷⁾ post kök uzunluğunun 2/3'üne kadar ilerletilemiyorsa, kök uzunluğunun en az yarısına kadar uzanmalıdır.

Bir post sistemi ideal olarak ortalama çiğneme kuvvetlerinden daha yüksek bir kırılma direnci göstermelidir. Bazı araştırmalarda post uzunluğundaki artışın, dişin retansiyonunda ve kırılma direncinde önemli bir artış oluşturduğu bildirilmiştir. ⁽²³⁸⁻²⁴¹⁾ 2009 yılında farklı uzunluktaki fiber post restorasyonlarının kırılma dayanımlarını maksiller kanin dişlerini kullanarak değerlendiren bir çalışma, kökün 2/3'üne yapılan postların, kökün 1/2'sine yapılan postlar ile benzer kırılma dayanımı gösterdiğini bildirmiştir. ⁽²⁴²⁾ Amarnath ve ark. ⁽²⁴³⁾ alt çene küçük azı dişlerinde yaptıkları çalışmada kök kanalı içindeki postun uzunluğu arttırıldığında tutuculukta artışın ve post boyunca daha iyi bir stres dağılımının olduğunu göstermiştir. Fakat Chaung ve ark. ⁽²⁴⁴⁾ kesici dişlerle yaptıkları çalışmada post uzunluğundaki artışın kök dayanıklılığını azaltabileceğini göstermişlerdir. Adanir ve ark. ⁽²⁴⁵⁾ yaptıkları çalışmada üst çene santral kesici dişlerdeki kanal içi post uzunluğunun, klinik kron boyundan daha kısa olduğunda kırılma dirençlerinin önemli miktarda daha az olduğunu göstermişlerdir. 2010 yılında yapılan bir çalışmada kısa post ile restorasyon yapılan dişler ile uzun post ile restorasyon yapılan dişlerin kırılma dirençleri benzer bulunmuştur. ⁽²⁴⁶⁾ 2011 yılında yapılan bir *in vitro* çalışmada, ⁽²⁴⁷⁾ KKT'li 30 adet üst çene birinci küçük azı dişleri, daha uzun boyda tek post ve daha kısa boyda 2 post ile restore edildiğinde kırılma direnci arasında önemli bir fark olmadığı bildirilmiştir. Schiavetti ve ark. ⁽²⁴⁸⁾ ferrulenin ve farklı fiber post uzunluklarının KKT'li dişlerin kırılma dayanıklılığına etkisini değerlendirdikleri çalışmada küçük azı dişlerini kullanmışlardır ve farklı fiber post uzunluklarının (5-, 7-, 9 mm) devital dişlerin kırılma dayanıklılığına bir etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşmışlardır. 2013 yılında yapılan bir çalışma, ⁽²⁴⁹⁾ mandibular ikinci küçük azı dişlerini kullanarak post uzunluklarının kırılma dayanımına etkisini araştırmıştır. Çalışmada kron uzunluğunun post uzunluğuna oranlarının 1:2, 1:1, 2:1 olduğu 3 farklı post preparasyonu ParaPost (Whaledent, Cuyahoga Falls, OH, ABD) ile yapılmıştır ve kırılma dayanımı testi sonucunda gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.

Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, farklı post uzunluklarının tutuculuk ve kırılma dayanımlarını araştıran çok sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Fakat, farklı post preparasyon uzunluklarının kök dentininde çatlak oluşumunu değerlendiren

çalışmalar yetersizdir. Literatürde bu konuyla ilgili bir yayın mevcut değilken, bir tez çalışmasında kök boyunun 1/2'sine ve 2/3'üne uzanan post preparasyon uzunluklarının kök dentininde oluşturduğu çatlaklar incelenmiştir.⁽²⁵⁰⁾ Bu yüzden yapılan çalışmalardan da referans alınarak, çalışmamızda çalışma boyunun 1/2 ve 2/3 uzunluklarına post preparasyonları yapıldı.

Post çapı seçilirken diş yapısının korunması önemli bir kriterdir. Kalan diş yapısı miktarı, kök kırılmasına karşı dayanıklılık ve direnç göstermesi açısından önemli bir rol oynar.⁽²⁵¹⁾ Post çapı, kök çapının 1/3'ünden daha fazla olmamalıdır ve post çevresinde en az 1 mm sağlam kök dentin yapısı bulunmalıdır.^(84, 127, 241) Retansiyonda post çapının, post uzunluğundan daha az etkili olduğu, küçük çaplı postların, kök kanalından dentin çıkarılmasını en aza indirirken yeterli retansiyonu sağladığı gösterilmiştir.⁽²⁵²⁾ KKT'li dişin kırılma direnci postun çapındaki artışla artmamaktadır.⁽²⁵³⁾ Bu nedenle perforasyon riskini azaltmak ve dişin kırılmaya direnç göstermesine izin vermek için post çapı kontrol edilerek kök dentini korunmalıdır. Trope ve ark.⁽⁷¹⁾ post yuvası hazırlıklarının dişi zayıflattığını bildirmişlerdir. Sorensen ve ark.⁽⁹²⁾ postun kanal duvarlarına yakın şekilde adaptasyonu sağlandığında kırılma direncinin arttığını göstermiştir.

Kök dentinin kaldırılma miktarı ile çatlak oluşma arasında doğrudan bir ilişki vardır ve post preparasyonu genişliği ne kadar fazla olursa dentin çatlakları insidansı o kadar yüksek olmaktadır.⁽⁹⁾ Bu yüzden çalışmamızda kullanılan farklı markalara ait benzer çaplarda üretilen fiber post drillerinin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan Rebilda post sisteminin kırmızı renkli drilli 0,50 mm apikal ve 1,00 mm koronal çapa; yeşil renkli drilli 0,65 mm apikal ve 1,20 mm koronal çapa sahiptir. RelyX post sisteminin sarı renkli drili ise #0,70 mm apikal çapa ve #1,30 mm koronal çapa sahiptir. Bu yüzden çalışmamızda Rebilda post sisteminin kırmızı ve yeşil drilleri sırasıyla kullanılırken RelyX sisteminin sarı drili kullanılmıştır.

İki köklü üst çene birinci küçük azı dişlerinin bukkal kökünde “*palatinal oluk*” bulunur. Bu oluk, “*gelişimsel çöküntü*”,⁽²⁵⁴⁾ “*bukkal furkasyon oluğu*”⁽²⁵⁵⁾ veya “*furkal iç bükeylik*”⁽²⁵⁶⁾ olarak da tanımlanmıştır. Palatinal oluğun prevalansı %62 ile %100 arasında değişmektedir.⁽²⁵⁴⁻²⁵⁶⁾ Tamse ve ark.⁽²⁵³⁾ bukkal kökteki palatinal oluğun en derin invajinasyonunun apekten ortalama mesafesinin $5,38 \pm 1,51$ mm olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle, post yerleştirmek için bukkal kökün kullanılması

gerektiği durumlarda, strip perforasyonu önlemek için apikalde 7 mm güta perka bırakılmasını önermişlerdir. Katz ve ark.,⁽²⁵⁷⁾ 2 köklü üst çene küçük azılarda ParaPost drilleri ile post yuvası hazırladıklarında bukkal köklerin palatinal yönünde 1 mm'den daha az kalan dentin miktarını göstermişlerdir. Shivani ve ark.⁽²⁵⁸⁾ 2 köklü üst çene birinci küçük azıların bukkal kökündeki derin palatinal oluk sebebiyle, postun palatinal köke yerleştirilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda post yuvaları tüm dişlerin palatinal köklerine hazırlanmıştır.

Çalışmamızın sonuçlarına göre; Rebilda drilleri tüm gruplarda çatlak oluşumuna sebep oldu. Rebilda drillerinin preparasyon öncesine göre kökün 2/3'üne uzanan post yuvalarında RelyX-1/2 grubuna göre anlamlı olarak yeni mikro çatlak oluşturduğu tespit edildi. İlerlemiş ve tamamlanmış çatlak gruplarında ise anlamlı düzeyde bir farklılık görülmedi. Rebilda drillerinin daha fazla çatlak oluşturmasının sebebi, RelyX drillerine göre daha fazla kesici kenara sahip olması ve yatay kesitlerinin farklı olmasına bağlı olabilir.

Çapar ve ark.,⁽¹⁰⁸⁾ çalışmalarında alt çene küçük azı dişlerine post preparasyonlarını Rebilda drillerini kullanarak yapmışlar ve dentinde oluşan çatlakları stereomikroskop yöntemi ile incelemişlerdir. Preparasyon sonrası Rebilda drillinin yeni çatlak oluşturduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızın sonuçlarında, Rebilda drillinin bütün gruplarda çatlak oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu sonucumuz Çapar ve ark.'larının sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

Literatür tarandığında, yalnızca bir çalışmanın⁽¹⁷⁴⁾ µBT kullanarak post yuvası hazırlığının kök dentininde oluşturduğu mikro çatlakları değerlendirdiği görülmüştür. Bu çalışmada Singh ve ark.⁽¹⁷⁴⁾ alt çene küçük azı dişlerini kullanarak aynı uzunluklarda farklı yöntemlerle post yuvalarını hazırlamışlardır. Kök uzunluğunun 2/3 uzunluğundaki post yuvalarını #50 - #110 K-tipi el eğeleri; #1, #2 ve #3 numaralı Peeso reamer frezlerini ve apikal çapı 1,1 mm olan ParaPost XT drillini kullanarak hazırlamışlardır. Değerlendirme sonucunda, kök dentinindeki mikro çatlakların, post yuvası hazırlanması ile önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir ve ParaPost XT drillinin diğer gruplara göre anlamlı derecede daha fazla mikro çatlak oluşturduğunu göstermişlerdir. Bunun sebebi olarak drillin kesiti, dakikadaki devir sayısı, yiv formu olabileceğini belirtmişlerdir. Döner sistem ile kullanılan drill ve frezlerin el eğesinden daha fazla çatlak oluşturduğu sonucuna ulaşmışlardır.⁽¹⁷⁴⁾

Zuli ve ark.⁽¹²⁷⁾ post yuvası hazırlığının kök dentininde oluşturduğu çatlakları stereomikroskop kullanarak incelemişlerdir. Alt çene kesici dişlerde, 14 mm olan kök boyunun 9 mm'sine post yuvasını #1, #2, #3 ve #4 numaralı Gates-Glidden frezlerini; #1, #2 ve 3# numaralı Largo Peeso reamer frezlerini; apikal çapı 1,1 mm olan #3 numaralı Exacto drillini ve apikal çapı 1,05 mm olan #2 numaralı WhitePost drillini kullanarak hazırlamışlardır. Exacto drillinin ve Largo Peeso reamer'ların Gates-Glidden'e göre daha fazla çatlak oluşturduğunu ve sadece Exacto ve WhitePost drilllerinin kök kırığına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Bunun sebebi olarak, drillerin konikliğinin fazla oluşu sebebiyle daha fazla dentin kaldırmasını göstermişlerdir. Köklerin farklı seviyelerinden aldıkları kesitlerde koronal seviyede daha fazla çatlak oluştuğunu tespit etmişlerdir.⁽¹²⁷⁾

Yapılan bir tez çalışmasında,⁽²⁵⁰⁾ alt çene küçük azı dişlerinde kanalın ½ ve 2/3'ünde hazırlanan post yuvalarında kök dentininde çatlak oluşumu açısından anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Bizim çalışmamızda yeni oluşan çatlak grubunda kanalın 2/3'ündeki post preparasyonları anlamlı olarak daha fazla çatlak oluşturdu. Bu farklı sonuçların sebebi farklı bir diş grubunun kullanılması olabilir. Çalışmamızda kullandığımız üst çene küçük azı dişlerinde bukkolingual çapına kıyasla daha dar meziodistal çapa sahip olan kökleri nedeniyle⁽¹⁹⁷⁾ daha fazla çatlak oluşmuş olabilir.

Döner eğelerin kanal şekillendirmesi sırasında kök dentininde çatlak oluşumuna sebep olduğu birçok çalışmada gösterilmiştir. Bu oluşan çatlakların, kanal dolumu, post preparasyonu gibi aşamalarda gelen ilave stres sebebiyle ilerlemesi ile VKK gelişebilir.⁽¹⁹⁰⁾ Çalışmamızda mevcut çatlağın ilerlemesine en az kökün 1/2'sine ulaşan post preparasyonları sebep olmuştur. Çatlakların ilerlemesi sebebiyle tamamlanmış kırık oluşumu en fazla Rebilda-2/3 grubunda görülmüştür.

Literatürdeki post sistemlerinin kırılma dayanımlarını araştıran çalışmalar incelendiğinde, post preparasyonlarının kökün yarısında kadar yapıldığında yeterli dayanımı gösterdiği bildirilmiştir.^(242, 246-249) Retansiyon için kök kanal preparasyonunun uzunluğu önemli olmakla birlikte, kalan dentin yapısının miktarı ile doğrudan ilgisi olan yeterli direncin de sağlanması gereklidir. Bu nedenle post preparasyonu hem üst restorasyonu tutacak kadar yeterli hem de dişin zayıflamasını önlemek için mümkün olduğunca az olmalıdır.⁽¹⁸⁾

KKT prosedürlerinin dentin üzerindeki etkilerini incelemek için birçok metot uygulanmıştır. Stres dağılımı, dişin farklı bölümlerindeki defekt varlığının gözlemlenmesi ve dişlerin kırılma direncinin ölçülmesi bu metotlardandır.^(207, 259) Kırılma direnci çalışmalarında diş kırılana kadar dışarıdan kuvvet uygulanır. Bizim çalışmamızda post preparasyonu öncesi ve sonrası dentin defektleri varlığını saptamak amacıyla µBT kullanıldı. Bu metotta dışarıdan kuvvet uygulanmadan ve diştten kesitler alınmadan post yuvası hazırlığının kök kanal duvarı ve dentin üzerindeki etkileri direkt olarak gözlemlenebilirken kırılma direnci çalışmalarında dentin çatlağı tespit edilemez.

Daha önceki çalışmalarda; stereomikroskop,^(153, 156) SEM,^(260, 261) CBCT,^(262, 263) µBT^(215, 264) ve OKT⁽²⁶⁵⁾ dentin mikro çatlaklarının ve VKK'ların değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Stringheta ve ark.,⁽¹⁵⁵⁾ kanal preparasyonundan sonra dentin defektleri açısından µBT'yi ve stereomikroskobu karşılaştırmış ve stereomikroskopta yeni defekt oluşumunun kesit alma prosedürünün kendisinden kaynaklandığını bildirmiştir. Kökten kesit alma tekniği, kanalın farklı seviyelerinden elden edilen kesitlerdeki defektlerin optik mikroskop ile direkt gözlenmesine izin verir.⁽²¹³⁾ Bununla birlikte, kesit alma tekniğinin destrukatif olması⁽²¹⁴⁾ ve diş başına sadece birkaç kesitin 2 boyutlu görüntülenmesi gibi bazı sınırlamaları vardır, bu da kök boyunca bazı defektlerin gözden kaçmasına sebep olabilir.⁽²¹³⁾ Ayrıca, defektin oluştuğu zamanı değerlendirmek mümkün olmamaktadır. Dentindeki mikro çatlaklar, kök kesitlerini kesme prosedürleri sırasında üretilen stres tarafından oluşturulabilir veya ilerleyebilir. Ayrıca, örneklerin kesilmesinden sonra gözlenen mikro çatlakların kök kanal preparasyonu sonucu mu?, dentinin kesimi sonucu mu? yoksa önceden var olan defektler mi? olduğunu belirlemek mümkün değildir. µBT, noninvaziv doğası nedeniyle örnekler üzerinde herhangi bir endodontik prosedürden önce taramaya izin vererek bu dezavantajın üstesinden gelir. µBT, yüksek çözünürlüklü görüntülerle sonuçlanan oldukça hassas bir yöntemdir ve mikro çatlaklar, kesit alma yöntemi gibi yalnızca diş başına birkaç dilimde değil, kökün tüm uzunlamasına ekseninde analiz edilebilir.⁽¹⁶⁴⁾

Mikro çatlak değerlendirmek için SEM kullanan çalışmalar mevcuttur.^(157, 260) Örnekleri dehidrasyon ve kaplama işlemlerinden sonra yüksek çözünürlük altında

daha büyük büyütmelemlerle tarar.⁽²⁶⁶⁾ Fakat, dehidrasyon dentinde çatlak oluşumuna sebep olabilir ve çalışmanın sonuçlarını etkileyebilir.⁽²⁶⁷⁾ SEM yöntemi ayrıca nesnelerin 2B analizine olanak sağlar ve stereomikroskop gibi bir kesit alma prosedürü gerektirir, bu nedenle bu yöntemler yıkıcıdır ve nesnenin toplam morfolojisini yansıtamaz.⁽²⁶⁸⁾

CBCT taramaları, tek tek dişlerin 3B görüntülerini üretebilir ve *in vivo* koşullarda görüntüler elde edilebilir.⁽²⁶⁹⁾ CBCT ile kök kırıklarını değerlendiren çalışmalar^(270, 271) olmasına rağmen kök dentini değerlendiren çalışmalar yetersizdir. Çapar ve ark., yaptıkları bir çalışmada CBCT ile dentindeki mikro çatlakların doğru bir şekilde tespit edilemediğini göstermişlerdir.⁽¹⁵⁹⁾

µBT, 3B herhangi bir kanal işlemi öncesi ve sonrasında örneklerin nitel ve nicel hacimsel değerlendirilmesine izin veren yıkıcı olmayan bir metottur.⁽¹⁴⁷⁾ Yüzlerce dentin dilimi her bir örnek için analiz edilebilir, böylece her örneğin kendi kontrolü yapılabilir.⁽²¹²⁾ µBT, endodontik prosedürlerden önce ve sonra mikro çatlağın yeri, boyutu ve ilerlemesi hakkında bilgi sağlar.⁽¹⁶⁾

Ancak, küçük alanlarda sadece çekilmiş dişler veya çene parçaları üzerinde çalışmak⁽²⁷²⁾ ve uzun bir rekonstrüksiyon süreci gerektirmesi gibi bazı sınırlamaları da vardır.⁽²⁷³⁾ Lim ve ark.,⁽²⁷⁴⁾ µBT 'nin sinyal-gürültü oranı sebebiyle, kontrast ve çözünürlüğünün tüm kök defektlerini tanımlamak için yeterli olmadığını bildirmiştir.

Görüntü kalitesinden ödün verebilecek artefaktlara neden olmadan görüntü alımı sırasında örnekleri düzgün bir şekilde ıslak tutmak kolay bir iş değildir. Bazı durumlarda, tarama prosedürleri 30 dk'yı aşabilir ve örneğin aşırı ıslak koşulları çatlak kusurlarını gizleyebilir. µBT görüntülerinde dentin mikro çatlaklarının saptanmasında nem içeriğinin etkisi Rödiger ve ark.⁽²⁷⁵⁾ tarafından değerlendirilmiştir. Mikro çatlaklı ve mikro çatlaksız kökler 10,5 µm piksel boyutunda altı farklı nem koşulunda taranmış ve her tarama 2 saat sürmüştür. Tarama prosedürleri sırasındaki çevresel koşullar, yeni mikro çatlaklara neden olmamış veya işlem öncesi çatlakları ilerletmemiştir; bununla birlikte, dentin dokusunun aşırı ıslak olmasının, kesitsel görüntülerde mikro çatlakların görünümünü karartma ihtimali vardır. Bizim çalışmamızda da bu durum dikkate alınıp tüm dişlere sırasıyla işlem yapılmıştır, µBT dışındaki deneysel prosedürler 30 dk'yı geçmeyip µBT tarama işlemleri 2 saati geçmemiştir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

In vitro olarak gerçekleştirilen çalışmamızda gereç ve yöntem sınırları içerisinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Fiber post yuvası hazırlığı sırasında tüm gruplar mevcut çatlağın ilerlemesine ve tamamlanmış kırığa sebep olmuştur.
2. Kanal boyunun ½'sine post yuvası hazırlanan dişlerde, her iki sistem de en az oranda yeni oluşan çatlak ve tamamlanmış kırık oluşturmuştur. Mevcut çatlağın ilerlemesi açısından fark oluşturmamıştır.
3. Çalışmamızda RelyX- ½ grubunda yeni oluşan çatlak tespit edilmemiştir.
4. Yeni oluşan çatlak en çok Rebilda-2/3 grubunda tespit edilmiştir.

Post yuvası hazırlığı sırasında oluşan dentindeki çatlak riskini azaltmak için, post drilli seçimine dikkat edilmelidir. Çalışma boyunun ½'sine hazırlanan post yuvaları klinik kullanımda daha güvenilirdir.

Post yuvası hazırlığının kök dentininde oluşturabileceği defektleri ve bu defektlerin sebep olabileceği komplikasyonları araştıran daha fazla *in-vitro* ve klinik çalışmaya ihtiyaç vardır. Diğer taraftan bu defektleri azaltmaya yönelik yapılacak çalışmalar klinik komplikasyonların önlenmesinde yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Fuss Z, Lustig J, Tamse A. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int Endod J.* 1999;32(4):283-6.
2. Keyf F. Aşırı Madde Kaybına Uğramış Dişlerin Protetik Onarımı: Post-Core Sistemlerinin Retantif Özellikleri. *G Ü Dişhek Fak Der.* 1992:209-21.
3. Hudis SI, Goldstein GR. Restoration of endodontically treated teeth: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 1986;55(1):33-8.
4. Plasmans PJ, Welle PR, Vrijhoef MM. In vitro resistance of composite resin dowel and cores. *J Endod.* 1988;14(6):300-4.
5. Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1994;71(6):565-7.
6. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent.* 1999;27(4):275-8.
7. Goracci C, Ferrari M. Current perspectives on post systems: a literature review. *Aust Dent J.* 2011;56 Suppl 1:77-83.
8. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature, Part II (Evaluation of fatigue behavior, interfaces, and in vivo studies). *Quintessence Int.* 2008;39(2):117-29.
9. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod.* 1997;23(8):533-4.
10. Shemesh H, van Soest G, Wu MK, Wesselink PR. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod.* 2008;34(6):739-42.
11. Fuss Z, Lustig J, Katz A, Tamse A. An evaluation of endodontically treated vertical root fractured teeth: impact of operative procedures. *J Endod.* 2001;27(1):46-8.
12. Versluis A, Messer HH, Pintado MR. Changes in compaction stress distributions in roots resulting from canal preparation. *Int Endod J.* 2006;39(12):931-9.
13. Chai H, Tamse A. Fracture mechanics analysis of vertical root fracture from condensation of gutta-percha. *J Biomech.* 2012;45(9):1673-8.
14. Meister F, Jr., Lommel TJ, Gerstein H. Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980;49(3):243-53.

15. Llana-Puy MC, Forner-Navarro L, Barbero-Navarro I. Vertical root fracture in endodontically treated teeth: a review of 25 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001;92(5):553-5.
16. Keles A, Alcin H, Kamalak A, Versiani MA. Oval-shaped canal retreatment with self-adjusting file: a micro-computed tomography study. *Clin Oral Investig.* 2014;18(4):1147-53.
17. Cohen's Pathways of the Pulp 10. ed. 778 p.
18. Trabert KC, Caput AA, Abou-Rass M. Tooth fracture--a comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endod.* 1978;4(11):341-5.
19. Mondelli J, Steagall L, Ishikiriyama A, de Lima Navarro MF, Soares FB. Fracture strength of human teeth with cavity preparations. *J Prosthet Dent.* 1980;43(4):419-22.
20. Pitts DL, Matheny HE, Nicholls JJ. An in vitro study of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. *J Endod.* 1983;9(12):544-50.
21. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod.* 1989;15(11):512-6.
22. Trope M, Ray HL, Jr. Resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1992;73(1):99-102.
23. Hansen EK, Asmussen E. Cusp fracture of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam. Teeth restored in Denmark before 1975 versus after 1979. *Acta Odontol Scand.* 1993;51(2):73-7.
24. Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *Int Endod J.* 2002;35(11):934-9.
25. Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine--mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J.* 2007;40(10):786-93.
26. Qian W, Shen Y, Haapasalo M. Quantitative analysis of the effect of irrigant solution sequences on dentin erosion. *J Endod.* 2011;37(10):1437-41.
27. Uzunoglu E, Aktemur S, Uyanik MO, Durmaz V, Nagas E. Effect of ethylenediaminetetraacetic acid on root fracture with respect to concentration at different time exposures. *J Endod.* 2012;38(8):1110-3.
28. Kinney JH, Nalla RK, Pople JA, Breunig TM, Ritchie RO. Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. *Biomaterials.* 2005;26(16):3363-76.

29. Porter AE, Nalla RK, Minor A, Jinschek JR, Kisielowski C, Radmilovic V, Kinney JH, Tomsia AP, Ritchie RO. A transmission electron microscopy study of mineralization in age-induced transparent dentin. *Biomaterials*. 2005;26(36):7650-60.
30. Bajaj D, Sundaram N, Nazari A, Arola D. Age, dehydration and fatigue crack growth in dentin. *Biomaterials*. 2006;27(11):2507-17.
31. Bakland LK, Andreasen JO. Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dent Traumatol*. 2012;28(1):25-32.
32. Loewenstein WR, Rathkamp R. A study on the pressoreceptive sensibility of the tooth. *J Dent Res*. 1955;34(2):287-94.
33. Randow K, Glantz PO. On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. *Acta Odontol Scand*. 1986;44(5):271-7.
34. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. A survey of failed post-retained restorations. *Clin Oral Investig*. 2008;12(1):37-44.
35. Dias MCR, Martins JNR, Chen A, Quaresma SA, Luis H, Carames J. Prognosis of Indirect Composite Resin Cuspal Coverage on Endodontically Treated Premolars and Molars: An In Vivo Prospective Study. *J Prosthodont*. 2018;27(7):598-604.
36. Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1992;67(4):458-67.
37. Helfer AR, Melnick S, Schilder H. Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1972;34(4):661-70.
38. Huang TJ, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endod*. 1992;18(5):209-15.
39. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol*. 1994;10(2):91-3.
40. Dimitriu B, Varlan C, Suci I, Varlan V, Bodnar D. Current considerations concerning endodontically treated teeth: alteration of hard dental tissues and biomechanical properties following endodontic therapy. *J Med Life*. 2009;2(1):60-5.
41. Hulsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*. 2003;36(12):810-30.
42. T ODPF. Essential endodontology: prevention and treatment of apical periodontitis. Munksgaard Blackwell. 2008.

43. Rosentritt M, Plein T, Kolbeck C, Behr M, Handel G. In vitro fracture force and marginal adaptation of ceramic crowns fixed on natural and artificial teeth. *Int J Prosthodont.* 2000;13(5):387-91.
44. Grigoratos D, Knowles J, Ng YL, Gulabivala K. Effect of exposing dentine to sodium hypochlorite and calcium hydroxide on its flexural strength and elastic modulus. *Int Endod J.* 2001;34(2):113-9.
45. Sim TP, Knowles JC, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J.* 2001;34(2):120-32.
46. Hulsmann M, Heckendorff M, Schafers F. Comparative in-vitro evaluation of three chelator pastes. *Int Endod J.* 2002;35(8):668-79.
47. Chia-Yu Chang J-SK, Yang-Sung Lin, Yen-Hsiang Chang. Fracture resistance and failure modes of CEREC endo-crowns and conventional post and core-supported CEREC crowns. 2009:110-7.
48. Lang H, Korkmaz Y, Schneider K, Raab WH. Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *J Dent Res.* 2006;85(4):364-8.
49. Khera SC, Goel VK, Chen RC, Gurusami SA. Parameters of MOD cavity preparations: a 3-D FEM study, Part II. *Oper Dent.* 1991;16(2):42-54.
50. Panitvisai P, Messer HH. Cuspal deflection in molars in relation to endodontic and restorative procedures. *J Endod.* 1995;21(2):57-61.
51. Fennis WM, Kuijs RH, Kreulen CM, Roeters FJ, Creugers NH, Burgersdijk RC. A survey of cusp fractures in a population of general dental practices. *Int J Prosthodont.* 2002;15(6):559-63.
52. Iglesia-Puig MA, Arellano-Cabornero A. Fiber-reinforced post and core adapted to a previous metal ceramic crown. *J Prosthet Dent.* 2004;91(2):191-4.
53. Ng CC, Dumbrigue HB, Al-Bayat MI, Griggs JA, Wakefield CW. Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance of restored endodontically treated anterior teeth. *J Prosthet Dent.* 2006;95(4):290-6.
54. Ray HA, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J.* 1995;28(1):12-8.
55. Robbins JW. Restoration of the endodontically treated tooth. *Dent Clin North Am.* 2002;46(2):367-84.

56. Tait CM, Ricketts DN, Higgins AJ. Restoration of the root-filled tooth: pre-operative assessment. *Br Dent J.* 2005;198(7):395-404.
57. Pilo R, Tamse A. Residual dentin thickness in mandibular premolars prepared with gates glidden and ParaPost drills. *J Prosthet Dent.* 2000;83(6):617-23.
58. Strub JR, Pontius O, Koutayas S. Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems after exposure in the artificial mouth. *J Oral Rehabil.* 2001;28(2):120-4.
59. Burke FJ, Shaglouf AG, Combe EC, Wilson NH. Fracture resistance of five pin-retained core build-up materials on teeth with and without extracoronal preparation. *Oper Dent.* 2000;25(5):388-94.
60. Roberson TM HH, Edward J, JE S. Sturdevant's Art&Science of Operative Dentistry. 5th ed2010.
61. Pashley DH, Carvalho RM. Dentine permeability and dentine adhesion. *J Dent.* 1997;25(5):355-72.
62. Scotti N, Rota R, Scansetti M, Paolino DS, Chiandussi G, Pasqualini D, Berutti E. Influence of adhesive techniques on fracture resistance of endodontically treated premolars with various residual wall thicknesses. *J Prosthet Dent.* 2013;110(5):376-82.
63. Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod.* 1992;18(7):332-5.
64. Hansen EK, Asmussen E, Christiansen NC. In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam. *Endod Dent Traumatol.* 1990;6(2):49-55.
65. Nagasiri R, Chitmongkolsuk S. Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage: a retrospective cohort study. *J Prosthet Dent.* 2005;93(2):164-70.
66. Serin Kalay T, Yildirim T, Ulker M. Effects of different cusp coverage restorations on the fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars. *J Prosthet Dent.* 2016;116(3):404-10.
67. Isidor F, Brondum K. Intermittent loading of teeth with tapered, individually cast or prefabricated, parallel-sided posts. *Int J Prosthodont.* 1992;5(3):257-61.
68. Jacobi R, Shillingburg HT, Jr. Pins, dowels, and other retentive devices in posterior teeth. *Dent Clin North Am.* 1993;37(3):367-90.

69. Cheung W. A review of the management of endodontically treated teeth. Post, core and the final restoration. *J Am Dent Assoc.* 2005;136(5):611-9.
70. Hargreaves KM BL, Rotstein I. Cohen's Pathways of the Pulp Cohen's Pathways of the Pulp 2016. 823 p.
71. Trope M, Maltz DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol.* 1985;1(3):108-11.
72. Naumann M, Kiessling S, Seemann R. Treatment concepts for restoration of endodontically treated teeth: A nationwide survey of dentists in Germany. *J Prosthet Dent.* 2006;96(5):332-8.
73. Meyenberg K. The ideal restoration of endodontically treated teeth - structural and esthetic considerations: a review of the literature and clinical guidelines for the restorative clinician. *Eur J Esthet Dent.* 2013;8(2):238-68.
74. Guldener KA, Lanzrein CL, Siegrist Guldener BE, Lang NP, Ramseier CA, Salvi GE. Long-term Clinical Outcomes of Endodontically Treated Teeth Restored with or without Fiber Post-retained Single-unit Restorations. *J Endod.* 2017;43(2):188-93.
75. Ferrari M, Vichi A, Fadda GM, Cagidiaco MC, Tay FR, Breschi L, Polimeni A, Goracci C. A randomized controlled trial of endodontically treated and restored premolars. *J Dent Res.* 2012;91(7 Suppl):72S-8S.
76. Sorrentino R, Salameh Z, Zarone F, Tay FR, Ferrari M. Effect of post-retained composite restoration of MOD preparations on the fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Adhes Dent.* 2007;9(1):49-56.
77. Abramovitz L, Lev R, Fuss Z, Metzger Z. The unpredictability of seal after post space preparation: a fluid transport study. *J Endod.* 2001;27(4):292-5.
78. Heydecke G, Butz F, Strub JR. Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study. *J Dent.* 2001;29(6):427-33.
79. Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent.* 2000;13(Spec No):15B-8B.
80. Strassler HE, Cloutier PC. A new fiber post for esthetic dentistry. *Compend Contin Educ Dent.* 2003;24(10):742-4, 6, 8 passim.
81. Bergman B, Lundquist P, Sjogren U, Sundquist G. Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores. *J Prosthet Dent.* 1989;61(1):10-5.
82. Creugers NH, Mentink AG, Kayser AF. An analysis of durability data on post and core restorations. *J Dent.* 1993;21(5):281-4.

83. Sarkis-Onofre R, Amaral Pinheiro H, Poletto-Neto V, Bergoli CD, Cenci MS, Pereira-Cenci T. Randomized controlled trial comparing glass fiber posts and cast metal posts. *J Dent*. 2020;96:103334.
84. Haralur SB, Al Ahmari MA, AlQarni SA, Althobati MK. The Effect of Intraradicular Multiple Fiber and Cast Posts on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth with Wide Root Canals. *Biomed Res Int*. 2018;2018:1671498.
85. Wang X, Shu X, Zhang Y, Yang B, Jian Y, Zhao K. Evaluation of fiber posts vs metal posts for restoring severely damaged endodontically treated teeth: a systematic review and meta-analysis. *Quintessence Int*. 2019;50(1):8-20.
86. Godas AGL, Suzuki TYU, Oliveira-Reis B, Briso ALF, Assuncao WG, Dos Santos PH. Effect of glass fiber post customization on the mechanical properties of resin cement and underlying dentin. *Gen Dent*. 2020;68(1):72-7.
87. Figueiredo FE, Martins-Filho PR, Faria ESAL. Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? A systematic review and meta-analysis. *J Endod*. 2015;41(3):309-16.
88. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater*. 2005;21(2):75-82.
89. Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent*. 2000;13(Spec No):9B-13B.
90. Signore A, Benedicenti S, Kaitsas V, Barone M, Angiero F, Ravera G. Long-term survival of endodontically treated, maxillary anterior teeth restored with either tapered or parallel-sided glass-fiber posts and full-ceramic crown coverage. *J Dent*. 2009;37(2):115-21.
91. King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. *J Oral Rehabil*. 1990;17(6):599-609.
92. Sorensen JA, Engelman MJ. Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1990;64(4):419-24.
93. Purton DG, Love RM. Rigidity and retention of carbon fibre versus stainless steel root canal posts. *Int Endod J*. 1996;29(4):262-5.
94. Ferrari M, Vichi A, Grandini S. Efficacy of different adhesive techniques on bonding to root canal walls: an SEM investigation. *Dent Mater*. 2001;17(5):422-9.

95. Kalkan M, Usumez A, Ozturk AN, Belli S, Eskitascioglu G. Bond strength between root dentin and three glass-fiber post systems. *J Prosthet Dent*. 2006;96(1):41-6.
96. Çalışkan MK. Endodontide Tanı ve Tedaviler. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi. Ed 2006. 463-506 p.
97. Bourgeois RS, Lemon RR. Dowel space preparation and apical leakage. *J Endod*. 1981;7(2):66-9.
98. Ricketts DN, Tait CM, Higgins AJ. Tooth preparation for post-retained restorations. *Br Dent J*. 2005;198(8):463-71.
99. Fan B, Wu MK, Wesselink PR. Coronal leakage along apical root fillings after immediate and delayed post space preparation. *Endod Dent Traumatol*. 1999;15(3):124-6.
100. Sorensen JA, Martinoff JT. Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent*. 1984;52(1):28-35.
101. Hunter AJ, Feiglin B, Williams JF. Effects of post placement on endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1989;62(2):166-72.
102. Lloyd PM, Palik JF. The philosophies of dowel diameter preparation: a literature review. *J Prosthet Dent*. 1993;69(1):32-6.
103. Mattison GD, Delivanis PD, Thacker RW, Jr., Hassell KJ. Effect of post preparation on the apical seal. *J Prosthet Dent*. 1984;51(6):785-9.
104. Barkhordar RA, Radke R, Abbasi J. Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *J Prosthet Dent*. 1989;61(6):676-8.
105. Nalla RK, Kinney JH, Ritchie RO. On the fracture of human dentin: is it stress- or strain-controlled? *J Biomed Mater Res A*. 2003;67(2):484-95.
106. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths. *J Endod*. 2011;37(4):522-5.
107. Jamleh A, Komabayashi T, Ebihara A, Nassar M, Watanabe S, Yoshioka T, Miyara K, Suda H. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. *Int Endod J*. 2015;48(12):1103-11.
108. Capar ID, Uysal B, Ok E, Arslan H. Effect of the size of the apical enlargement with rotary instruments, single-cone filling, post space preparation with drills, fiber

post removal, and root canal filling removal on apical crack initiation and propagation. *J Endod*. 2015;41(2):253-6.

109. Ree M, Schwartz RS. The endo-restorative interface: current concepts. *Dent Clin North Am*. 2010;54(2):345-74.

110. Zhang YY, Peng MD, Wang YN, Li Q. The effects of ferrule configuration on the anti-fracture ability of fiber post-restored teeth. *J Dent*. 2015;43(1):117-25.

111. Pierrisnard L, Bohin F, Renault P, Barquins M. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis. *J Prosthet Dent*. 2002;88(4):442-8.

112. Libman WJ, Nicholls JJ. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. *Int J Prosthodont*. 1995;8(2):155-61.

113. Wu MK, Pehlivan Y, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Microleakage along apical root fillings and cemented posts. *J Prosthet Dent*. 1998;79(3):264-9.

114. Siqueira JF, Jr. Microbial causes of endodontic flare-ups. *Int Endod J*. 2003;36(7):453-63.

115. Kinney JH, Marshall SJ, Marshall GW. The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature. *Crit Rev Oral Biol Med*. 2003;14(1):13-29.

116. Nanci ATC, A.R. Ten Cate's oral histology: development, structure and function 8ed 2013.

117. Raton B. Dentin and dentinogenesis. CRC Press.

118. Agee KA, Prakki A, Abu-Haimed T, Naguib GH, Nawareg MA, Tezvergil-Mutluay A, Scheffel DL, Chen C, Jang SS, Hwang H, Brackett M, Grégoire G, Tay FR, Breschi L, Pashley DH. Water distribution in dentin matrices: bound vs. unbound water. *Dent Mater*. 2015;31(3):205-16.

119. Lee BS, Hsieh TT, Chi DC, Lan WH, Lin CP. The role of organic tissue on the punch shear strength of human dentin. *J Dent*. 2004;32(2):101-7.

120. Kinney JH, Balooch M, Marshall SJ, Marshall GW, Jr., Weihs TP. Hardness and Young's modulus of human peritubular and intertubular dentine. *Arch Oral Biol*. 1996;41(1):9-13.

121. Meredith N, Sherriff M, Setchell DJ, Swanson SA. Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. *Arch Oral Biol*. 1996;41(6):539-45.

122. Palamara JE, Wilson PR, Thomas CD, Messer HH. A new imaging technique for measuring the surface strains applied to dentine. *J Dent*. 2000;28(2):141-6.
123. Pashley D, Okabe A, Parham P. The relationship between dentin microhardness and tubule density. *Endod Dent Traumatol*. 1985;1(5):176-9.
124. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod*. 1975;1(7):238-42.
125. Tsesis I, Rosen E, Tamse A, Taschieri S, Kfir A. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: a systematic review. *J Endod*. 2010;36(9):1455-8.
126. Tamse A, Fuss Z, Lustig J, Kaplavi J. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *J Endod*. 1999;25(7):506-8.
127. Zuli TAB, Guedes OA, Goncalves G, da Silva Junior AR, Borges AH, Aranha AMF. Effect of post space preparation drills on the incidence of root dentin defects. *Restor Dent Endod*. 2020;45(4):e53.
128. Bender IB, Freedland JB. Adult root fracture. *J Am Dent Assoc*. 1983;107(3):413-9.
129. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod*. 2003;29(8):523-8.
130. Zadik Y, Sandler V, Bechor R, Salehrabi R. Analysis of factors related to extraction of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008;106(5):e31-5.
131. Testori T, Badino M, Castagnola M. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *J Endod*. 1993;19(2):87-91.
132. Cohen S, Blanco L, Berman L. Vertical root fractures: clinical and radiographic diagnosis. *J Am Dent Assoc*. 2003;134(4):434-41.
133. Morfis AS. Vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1990;69(5):631-5.
134. Engelke W, Leiva C, Wagner G, Beltran V. In vitro visualization of human endodontic structures using different endoscope systems. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(3):3234-40.
135. Moshonov J, Michaeli E, Nahlieli O. Endoscopic root canal treatment. *Quintessence Int*. 2009;40(9):739-44.

136. Keles A, Keskin C, Alqawasmi R, Aydemir H. Accuracy of an endoscope to detect root canal anastomoses in mandibular molar teeth: a comparative study with micro-computed tomography. *Acta Odontol Scand.* 2020;78(6):433-7.
137. Detsch SG, Cunningham WT, Langloss JM. Endoscopy as an aid to endodontic diagnosis. *J Endod.* 1979;5(2):60-2.
138. von Arx T, Kunz R, Schneider AC, Burgin W, Lussi A. Detection of dentinal cracks after root-end resection: an ex vivo study comparing microscopy and endoscopy with scanning electron microscopy. *J Endod.* 2010;36(9):1563-8.
139. Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Application of Optical Coherence Tomography (OCT) for Diagnosis of Caries, Cracks, and Defects of Restorations. *Curr Oral Health Rep.* 2015;2(2):73-80.
140. Minamino T, Mine A, Omiya K, Matsumoto M, Nakatani H, Iwashita T, Ohmi M, Awazu K, Yatani H. Nondestructive observation of teeth post core space using optical coherence tomography: a pilot study. *J Biomed Opt.* 2014;19(4):046004.
141. Shemesh H, van Soest G, Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR. The ability of optical coherence tomography to characterize the root canal walls. *J Endod.* 2007;33(11):1369-73.
142. Rashed B, Iino Y, Komatsu K, Nishijo M, Hanada T, Ebihara A, Sunakawa M, Sumi Y, Okiji T. Evaluation of Root Canal Anatomy of Maxillary Premolars Using Swept-Source Optical Coherence Tomography in Comparison with Dental Operating Microscope and Cone Beam Computed Tomography. *Photomed Laser Surg.* 2018;36(9):487-92.
143. Rashed B, Iino Y, Ebihara A, Okiji T. Evaluation of Crack Formation and Propagation with Ultrasonic Root-End Preparation and Obturation Using a Digital Microscope and Optical Coherence Tomography. *Scanning.* 2019;2019:5240430.
144. Yoshioka T, Sakaue H, Ishimura H, Ebihara A, Suda H, Sumi Y. Detection of root surface fractures with swept-source optical coherence tomography (SS-OCT). *Photomed Laser Surg.* 2013;31(1):23-7.
145. Chen WZ, Yuhong Liang. Evaluation of apical root defects during canal instrumentation with two different nickel-titanium (NiTi) systems by optical coherence tomography (OCT) scan. *Journal of Dental Sciences.* 2021.
146. American Association of Endodontists. 2008. Transillumination the “light detector”. *AAE* 2008;1:1–2.

147. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Light-emitting Diode Assessment of Dentinal Defects after Root Canal Preparation with Profile, TRUShape, and WaveOne Gold Systems. *J Endod*. 2016;42(9):1393-6.
148. Sanchis-Sanchez E, Salvador-Palmer R, Codoner-Franch P, Martin J, Vergara-Hernandez C, Blasco J, Ballester E, Sanchis E, González-Peña R, Cibrián R. Infrared thermography is useful for ruling out fractures in paediatric emergencies. *Eur J Pediatr*. 2015;174(4):493-9.
149. Saxena AK, Willital GH. Infrared thermography: experience from a decade of pediatric imaging. *Eur J Pediatr*. 2008;167(7):757-64.
150. Matsushita-Tokugawa M, Miura J, Iwami Y, Sakagami T, Izumi Y, Mori N, Hayashi M, Imazato S, Takeshige F, Ebisu S. Detection of dentinal microcracks using infrared thermography. *J Endod*. 2013;39(1):88-91.
151. Marco A, Versiani ES, Gustavo De-Deus. Critical appraisal of studies on dentinal radicular microcracks in endodontics: methodological issues, contemporary concepts, and future perspectives. *Endodontic Topics*. 2015;33:87-156.
152. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod*. 2009;35(2):236-8.
153. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Uysal B. Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *J Endod*. 2014;40(9):1482-4.
154. Karatas E, Gunduz HA, Kirici DO, Arslan H. Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with ProTaper Gold, Profile Vortex, F360, Reciproc and ProTaper Universal instruments. *Int Endod J*. 2016;49(9):905-10.
155. Stringheta CP, Pelegriane RA, Kato AS, Freire LG, Iglecias EF, Gavini G, Bueno CEDS. Micro-computed Tomography versus the Cross-sectioning Method to Evaluate Dentin Defects Induced by Different Mechanized Instrumentation Techniques. *J Endod*. 2017;43(12):2102-7.
156. Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, Kuden C, Kasan Z. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod*. 2012;38(2):232-5.
157. Cicek E, Kocak MM, Saglam BC, Kocak S. Evaluation of microcrack formation in root canals after instrumentation with different NiTi rotary file systems: a scanning electron microscopy study. *Scanning*. 2015;37(1):49-53.

158. Shemesh H, Lindtner T, Portoles CA, Zaslansky P. Dehydration Induces Cracking in Root Dentin Irrespective of Instrumentation: A Two-dimensional and Three-dimensional Study. *J Endod.* 2018;44(1):120-5.
159. İsmail Davut Çapar TG, Banu Uysal, Ali Keleş. Comparison of microcomputed tomography, cone beam tomography, stereomicroscopy, and scanning electron microscopy techniques for detection of microcracks on root dentin and effect of different apical sizes on microcrack formation. *Microscopy Research and Technique.* 2019;1(8).
160. Ford NL, Thornton MM, Holdsworth DW. Fundamental image quality limits for microcomputed tomography in small animals. *Med Phys.* 2003;30(11):2869-77.
161. Stock SR. Microcomputed tomography: methodology and application. CRC Press. 2009.
162. Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J Endod.* 1995;21(11):561-8.
163. Liao CW, Fuh LJ, Shen YW, Huang HL, Kuo CW, Tsai MT, Hsu JT. Self-assembled micro-computed tomography for dental education. *PLoS One.* 2018;13(12):e0209698.
164. Versiani MA SE, De-Deus G. Critical appraisal of studies on dentinal radicular microcracks in endodontics: Methodological issues, contemporary concepts, and future perspectives. *Endodontic Topics.* 2015;33:87–156.
165. Stauber M, Muller R. Micro-computed tomography: a method for the non-destructive evaluation of the three-dimensional structure of biological specimens. *Methods Mol Biol.* 2008;455:273-92.
166. Ketcham RAC, W.D. . Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: Applications to the geosciences. *Computers & Geosciences.* 2001;27:381– 4000.
167. Feldkamp LA, Davis, L.C. & Kress, J.W. Practical cone- beam algorithm. *Journal of the Optical Society of America* 1984;1:612– 9.
168. Peyrin F, Dong P, Pacureanu A, Langer M. Micro- and nano-CT for the study of bone ultrastructure. *Curr Osteoporos Rep.* 2014;12(4):465-74.
169. Muller R. Hierarchical microimaging of bone structure and function. *Nat Rev Rheumatol.* 2009;5(7):373-81.

170. Paulus MJ, Gleason SS, Kennel SJ, Hunsicker PR, Johnson DK. High resolution X-ray computed tomography: an emerging tool for small animal cancer research. *Neoplasia*. 2000;2(1-2):62-70.
171. Zhou H, Rodriguez M, van den Haak F, Nelson G, Jogani R, Xu J, Zhu X, Xian Y, Tran PT, Felsher DW, Keall PJ, Graves EE. Development of a micro-computed tomography-based image-guided conformal radiotherapy system for small animals. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010;78(1):297-305.
172. Versiani MA, Cavalcante DM, Belladonna FG, Silva E, Souza EM, De-Deus G. A critical analysis of research methods and experimental models to study dentinal microcracks. *Int Endod J*. 2022;55 Suppl 1:178-226.
173. Goodacre CJ, Bernal G, Rungcharassaeng K, Kan JY. Clinical complications with implants and implant prostheses. *J Prosthet Dent*. 2003;90(2):121-32.
174. Singh V, Nikhil V, Bansal P. Induction of dentinal microcracks during postspace preparation: A comparative microcomputed tomography study. *J Conserv Dent*. 2018;21(6):646-50.
175. Fokkinga WA, Le Bell AM, Kreulen CM, Lassila LV, Vallittu PK, Creugers NH. Ex vivo fracture resistance of direct resin composite complete crowns with and without posts on maxillary premolars. *Int Endod J*. 2005;38(4):230-7.
176. Salameh Z, Sorrentino R, Papacchini F, Ounsi HF, Tashkandi E, Goracci C, Ferrari M. Fracture resistance and failure patterns of endodontically treated mandibular molars restored using resin composite with or without translucent glass fiber posts. *J Endod*. 2006;32(8):752-5.
177. Salameh Z, Sorrentino R, Ounsi HF, Goracci C, Tashkandi E, Tay FR, Ferrari M. Effect of different all-ceramic crown system on fracture resistance and failure pattern of endodontically treated maxillary premolars restored with and without glass fiber posts. *J Endod*. 2007;33(7):848-51.
178. Sorrentino R, Monticelli F, Goracci C, Zarone F, Tay FR, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Effect of post-retained composite restorations and amount of coronal residual structure on the fracture resistance of endodontically-treated teeth. *Am J Dent*. 2007;20(4):269-74.
179. Akkayan B, Gulmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent*. 2002;87(4):431-7.
180. Schwartz RS, Robbins JW. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod*. 2004;30(5):289-301.

181. Fokkinga WA, Kreulen CM, Vallittu PK, Creugers NH. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. *Int J Prosthodont*. 2004;17(4):476-82.
182. Teixeira EC, Teixeira FB, Piasick JR, Thompson JY. An in vitro assessment of prefabricated fiber post systems. *J Am Dent Assoc*. 2006;137(7):1006-12.
183. Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater*. 2007;23(3):265-71.
184. Franco EB, Lins do Valle A, Pompeia Fraga de Almeida AL, Rubo JH, Pereira JR. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with glass fiber posts of different lengths. *J Prosthet Dent*. 2014;111(1):30-4.
185. Cecchin D, Farina AP, Guerreiro CA, Carlini-Junior B. Fracture resistance of roots prosthetically restored with intra-radicular posts of different lengths. *J Oral Rehabil*. 2010;37(2):116-22.
186. Santos-Filho PC, Castro CG, Silva GR, Campos RE, Soares CJ. Effects of post system and length on the strain and fracture resistance of root filled bovine teeth. *Int Endod J*. 2008;41(6):493-501.
187. Hin ES, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod*. 2013;39(2):262-4.
188. Tawil PZ, Saraiya VM, Galicia JC, Duggan DJ. Periapical microsurgery: the effect of root dentinal defects on short- and long-term outcome. *J Endod*. 2015;41(1):22-7.
189. Mandava J, Yelisela RK, Arikatla SK, Ravi RC. Micro-computed tomographic evaluation of dentinal defects after root canal preparation with hyflex edm and vortex blue rotary systems. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(9):e844-e51.
190. Yan W, Montoya C, Oilo M, Ossa A, Paranjpe A, Zhang H, Arola D. Reduction in Fracture Resistance of the Root with Aging. *J Endod*. 2017;43(9):1494-8.
191. Tamse A. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: diagnostic signs and clinical management. *Endodontic Topics*. 2006;13:84-94.
192. Vire DE. Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. *J Endod*. 1991;17(7):338-42.
193. Toure B, Faye B, Kane AW, Lo CM, Niang B, Boucher Y. Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study. *J Endod*. 2011;37(11):1512-5.

194. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod.* 1990;16(10):498-504.
195. Iaculli F, Rengo C, Lodato V, Patini R, Spagnuolo G, Rengo S. Fracture resistance of endodontically-treated maxillary premolars restored with different type of posts and direct composite reconstructions: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Dent Mater.* 2021;37(9):e455-e84.
196. Abe Y, Nogami K, Mizumachi W, Tsuka H, Hiasa K. Occlusal-supporting ability of individual maxillary and mandibular teeth. *J Oral Rehabil.* 2012;39(12):923-30.
197. Kfir A, Elkes D, Pawar A, Weissman A, Tsesis I. Incidence of microcracks in maxillary first premolars after instrumentation with three different mechanized file systems: a comparative ex vivo study. *Clin Oral Investig.* 2017;21(1):405-11.
198. Mitchem JC, Gronas DG. Effects of time after extraction and depth of dentin on resin dentin adhesives. *J Am Dent Assoc.* 1986;113(2):285-7.
199. Strawn SE, White JM, Marshall GW, Gee L, Goodis HE, Marshall SJ. Spectroscopic changes in human dentine exposed to various storage solutions--short term. *J Dent.* 1996;24(6):417-23.
200. Stankiewicz NR, Wilson PR. The ferrule effect: a literature review. *Int Endod J.* 2002;35(7):575-81.
201. Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1990;63(5):529-36.
202. Akkayan B. An in vitro study evaluating the effect of ferrule length on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced and zirconia dowel systems. *J Prosthet Dent.* 2004;92(2):155-62.
203. Tan PL, Aquilino SA, Gratton DG, Stanford CM, Tan SC, Johnson WT, Dawson D. In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations. *J Prosthet Dent.* 2005;93(4):331-6.
204. Santos Pantaleon D, Morrow BR, Cagna DR, Pameijer CH, Garcia-Godoy F. Influence of remaining coronal tooth structure on fracture resistance and failure mode of restored endodontically treated maxillary incisors. *J Prosthet Dent.* 2018;119(3):390-6.
205. Santos-Filho PC, Verissimo C, Raposo LH, Noritomi MecEng PY, Marcondes Martins LR. Influence of ferrule, post system, and length on stress distribution of weakened root-filled teeth. *J Endod.* 2014;40(11):1874-8.

206. Milani AS, Froughreyhani M, Rahimi S, Jafarabadi MA, Paksefat S. The effect of root canal preparation on the development of dentin cracks. *Iran Endod J.* 2012;7(4):177-82.
207. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *J Endod.* 1999;25(2):99-104.
208. De-Deus G, Cesar de Azevedo Carvalhal J, Belladonna FG, Silva E, Lopes RT, Moreira Filho RE, Souza EM, Provenzano JC, Versiani MA . Dentinal Microcrack Development after Canal Preparation: A Longitudinal in Situ Micro-computed Tomography Study Using a Cadaver Model. *J Endod.* 2017;43(9):1553-8.
209. Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod.* 2014;40(7):982-5.
210. Yoshida N, Koga Y, Peng CL, Tanaka E, Kobayashi K. In vivo measurement of the elastic modulus of the human periodontal ligament. *Med Eng Phys.* 2001;23(8):567-72.
211. Shemesh H, Bier CA, Wu MK, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR. The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *Int Endod J.* 2009;42(3):208-13.
212. Aksoy C, Keris EY, Yaman SD, Ocak M, Geneci F, Celik HH. Evaluation of XP-endo Shaper, Reciproc Blue, and ProTaper Universal NiTi Systems on Dentinal Microcrack Formation Using Micro-Computed Tomography. *J Endod.* 2019;45(3):338-42.
213. De-Deus G, Belladonna FG, Silva E, Souza EM, Carvalhal JCA, Perez R, Lopes RT, Versiani MA. Micro-CT assessment of dentinal micro-cracks after root canal filling procedures. *Int Endod J.* 2017;50(9):895-901.
214. Pedulla E, Genovesi F, Rapisarda S, La Rosa GR, Grande NM, Plotino G, Adorno CG . Effects of 6 Single-File Systems on Dentinal Crack Formation. *J Endod.* 2017;43(3):456-61.
215. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H, Lopes RT, Versiani MA . Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod.* 2015;41(7):1116-9.

216. Shori DD, Shenoi PR, Baig AR, Kubde R, Makade C, Pandey S. Stereomicroscopic evaluation of dentinal defects induced by new rotary system: "ProTaper NEXT". *J Conserv Dent*. 2015;18(3):210-3.
217. Kumar NS, Prabu PS, Prabu N, Rathinasamy S. Sealing ability of lateral condensation, thermoplasticized gutta-percha and flowable gutta-percha obturation techniques: A comparative in vitro study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2012;4(Suppl 2):S131-5.
218. Capar ID, Saygili G, Ergun H, Gok T, Arslan H, Ertas H. Effects of root canal preparation, various filling techniques and retreatment after filling on vertical root fracture and crack formation. *Dent Traumatol*. 2015;31(4):302-7.
219. Shemesh H, Wesselink PR, Wu MK. Incidence of dentinal defects after root canal filling procedures. *Int Endod J*. 2010;43(11):995-1000.
220. Ho ES, Chang JW, Cheung GS. Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. *Restor Dent Endod*. 2016;41(1):22-8.
221. Shemesh H, Roeleveld AC, Wesselink PR, Wu MK. Damage to root dentin during retreatment procedures. *J Endod*. 2011;37(1):63-6.
222. Chellapilla PK, Boddada MR, Jyothi M, Uppalapati LV, Konagala RK, Dasari L. Influence of obturating techniques on root dentin crack propagation: A micro-computed tomography assessment. *J Conserv Dent*. 2021;24(1):72-6.
223. Kumaran P, Sivapriya E, Indhramohan J, Gopikrishna V, Savadamoorthi KS, Pradeepkumar AR. Dentinal defects before and after rotary root canal instrumentation with three different obturation techniques and two obturating materials. *J Conserv Dent*. 2013;16(6):522-6.
224. Barreto MS, Moraes Rdo A, Rosa RA, Moreira CH, So MV, Bier CA. Vertical root fractures and dentin defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling. *J Endod*. 2012;38(8):1135-9.
225. Adl A, Sedigh-Shams M, Majd M. The effect of using RC prep during root canal preparation on the incidence of dentinal defects. *J Endod*. 2015;41(3):376-9.
226. Ari H, Erdemir A, Belli S. Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. *J Endod*. 2004;30(11):792-5.
227. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of working length and root canal preparation technique on crack development in the apical root canal wall. *Int Endod J*. 2010;43(4):321-7.

228. Das S, Pradhan PK, Lata S, Sinha SP. Comparative evaluation of dentinal crack formation after root canal preparation using ProTaper Next, OneShape, and Hyflex EDM. *J Conserv Dent*. 2018;21(2):153-6.
229. Kansal R, Rajput A, Talwar S, Roongta R, Verma M. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod*. 2014;40(9):1443-6.
230. Nishad SV, Shivamurthy GB. Comparative Analysis of Apical Root Crack Propagation after Root Canal Preparation at Different Instrumentation Lengths Using ProTaper Universal, ProTaper Next and ProTaper Gold Rotary Files: An In vitro Study. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(Suppl 1):S34-S8.
231. Ribeiro MRG, Thomaz E, Lima DM, Leitaó TJ, Bauer J, Souza SFC. Chlorhexidine Prevents Root Dentine Mineral Loss and Fracture Caused by Calcium Hydroxide over Time. *Int J Dent*. 2017;2017:1579652.
232. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*. 2002;28(1):17-9.
233. FS. W. *Endodontic Therapy*. 5 ed: Mosby; 1996.
234. S. B. Improved cast dowell and base for restoring endodontically treated teeth. . *The Journal of the American Dental Association*. 1964:39-45.
235. Hirschfeld Z, Stern N. Post and core--the biomechanical aspect. *Aust Dent J*. 1972;17(6):467-8.
236. Goodacre CJ, Spolnik KJ. The prosthodontic management of endodontically treated teeth: a literature review. Part I. Success and failure data, treatment concepts. *J Prosthodont*. 1994;3(4):243-50.
237. Braga NM, Paulino SM, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Vansan LP. Removal resistance of glass-fiber and metallic cast posts with different lengths. *J Oral Sci*. 2006;48(1):15-20.
238. Aleisa K, Habib SR, Ansari AS, Altayyar R, Alharbi S, Alanazi SAS, Alduaiji KT . Effect of Luting Cement Film Thickness on the Pull-Out Bond Strength of Endodontic Post Systems. *Polymers (Basel)*. 2021;13(18).
239. do Valle AL, Pereira JR, Shiratori FK, Pegoraro LF, Bonfante G. Comparison of the fracture resistance of endodontically treated teeth restored with prefabricated posts and composite resin cores with different post lengths. *J Appl Oral Sci*. 2007;15(1):29-32.

240. Leary JM, Aquilino SA, Svare CW. An evaluation of post length within the elastic limits of dentin. *J Prosthet Dent*. 1987;57(3):277-81.
241. Nergiz I, Schmage P, Ozcan M, Platzer U. Effect of length and diameter of tapered posts on the retention. *J Oral Rehabil*. 2002;29(1):28-34.
242. Giovani AR, Vansan LP, de Sousa Neto MD, Paulino SM. In vitro fracture resistance of glass-fiber and cast metal posts with different lengths. *J Prosthet Dent*. 2009;101(3):183-8.
243. Amarnath GS, Swetha MU, Muddugangadhar BC, Sonika R, Garg A, Rao TR. Effect of Post Material and Length on Fracture Resistance of Endodontically Treated Premolars: An In-Vitro Study. *J Int Oral Health*. 2015;7(7):22-8.
244. Chuang SF, Yaman P, Herrero A, Dennison JB, Chang CH. Influence of post material and length on endodontically treated incisors: an in vitro and finite element study. *J Prosthet Dent*. 2010;104(6):379-88.
245. Adanir N, Belli S. Evaluation of Different Post Lengths' Effect on Fracture Resistance of a Glass Fiber Post System. *European Journal of Dentistry*. 2008.
246. Scotti N, Scansetti M, Rota R, Pera F, Pasqualini D, Berutti E. The effect of the post length and cusp coverage on the cycling and static load of endodontically treated maxillary premolars. *Clin Oral Investig*. 2011;15(6):923-9.
247. Mayya A, Naik R, Mayya SS, Paul MP. Fracture Resistance of Endodontically Treated Maxillary Premolars with a Longer Single Post and Shorter Double Posts of Different Sizes: An In Vitro Study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2020;10(2):183-4.
248. Schiavetti R, Sannino G. In vitro evaluation of ferrule effect and depth of post insertion on fracture resistance of fiber posts. *Comput Math Methods Med*. 2012;2012:816481.
249. Jiangkongkho P, Kamonkhantikul K, Takahashi H, Arksornnukit M. Fracture resistance of endodontically treated teeth using fiber post with an elastic modulus similar to dentin. *Dent Mater J*. 2013;32(5):781-6.
250. Şener İ. Farklı uzunluklarda post boşluğu hazırlanmasından sonra kök dentinindeki çatlakların ve dişlerin kırılma direncinin belirlenmesi: bir mikro bilgisayarlı tomografi çalışması. Erciyes Üniversitesi, Uzmanlık Tezi, 2019, Kayseri (Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Sinan TOPÇUOĞLU)
251. Stockton LW. Factors affecting retention of post systems: a literature review. *J Prosthet Dent*. 1999;81(4):380-5.

252. Izadi A, Azarsina M, Kasraei S. Effect of eugenol-containing sealer and post diameter on the retention of fiber reinforced composite posts. *J Conserv Dent*. 2013;16(1):61-4.
253. Tamse A, Zilburg I, Halpern J. Vertical root fractures in adjacent maxillary premolars: an endodontic-prosthetic perplexity. *Int Endod J*. 1998;31(2):127-32.
254. Booker BW, 3rd, Loughlin DM. A morphologic study of the mesial root surface of the adolescent maxillary first bicuspid. *J Periodontol*. 1985;56(11):666-70.
255. Gher ME, Vernino AR. Root morphology--clinical significance in pathogenesis and treatment of periodontal disease. *J Am Dent Assoc*. 1980;101(4):627-33.
256. Joseph I, Varma BR, Bhat KM. Clinical significance of furcation anatomy of the maxillary first premolar: a biometric study on extracted teeth. *J Periodontol*. 1996;67(4):386-9.
257. Katz A, Wasenstein-Kohn S, Tamse A, Zuckerman O. Residual dentin thickness in bifurcated maxillary premolars after root canal and dowel space preparation. *J Endod*. 2006;32(3):202-5.
258. Mangal S, Mathew S, Sreenivasa Murthy BV, Nagaraja S, Dinesh K, Ramesh P. Cone-beam computed tomographic evaluation of remaining dentin thickness in bifurcated roots of maxillary first premolars after rotary instrumentation and post space preparation: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2018;21(1):63-7.
259. Mayhew JT, Eleazer PD, Hnat WP. Stress analysis of human tooth root using various root canal instruments. *J Endod*. 2000;26(9):523-4.
260. Ashwinkumar V, Krithikadatta J, Surendran S, Velmurugan N. Effect of reciprocating file motion on microcrack formation in root canals: an SEM study. *Int Endod J*. 2014;47(7):622-7.
261. Saha SG, Vijaywargiya N, Dubey S, Saxena D, Kala S. Retracted: Evaluation of the incidence of microcracks caused by Mtwo and ProTaper NEXT rotary file systems versus the Self Adjusting File: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*. 2016;49(9):911.
262. Elsaltani MH, Farid MM, Eldin Ashmawy MS. Detection of Simulated Vertical Root Fractures: Which Cone-beam Computed Tomographic System Is the Most Accurate? *J Endod*. 2016;42(6):972-7.
263. Metska ME, Aartman IH, Wesselink PR, Ozok AR. Detection of vertical root fractures in vivo in endodontically treated teeth by cone-beam computed tomography scans. *J Endod*. 2012;38(10):1344-7.

264. De-Deus G, Silva EJ, Marins J, Souza E, Neves Ade A, Goncalves Belladonna F, Alves H, Lopes RT, Versiani MA. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod.* 2014;40(9):1447-50.
265. de Oliveira BP, Camara AC, Duarte DA, Gomes ASL, Heck RJ, Antonino ACD, Aguiar CM. Detection of Apical Root Cracks Using Spectral Domain and Swept-source Optical Coherence Tomography. *J Endod.* 2017;43(7):1148-51.
266. Peters LB, Peterson, B., Jaramillo, D. E., & van der Sluis, L. In The root canal biofilm. Heidelberg B, editor 2015. 87-101 p.
267. Aydemir S, Cimilli H, Yoruc ABH, Kartal N. Evaluation of two different root-end cavity preparation techniques: A scanning electron microscope study. *Eur J Dent.* 2013;7(2):186-90.
268. Fan B, Yang J, Gutmann JL, Fan M. Root canal systems in mandibular first premolars with C-shaped root configurations. Part I: Microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. *J Endod.* 2008;34(11):1337-41.
269. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J.* 2007;40(10):818-30.
270. da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS, da Silveira HL, Montagner F, da Silveira HE. Detection of vertical root fractures by conventional radiographic examination and cone beam computed tomography - an in vitro analysis. *Dent Traumatol.* 2013;29(1):41-6.
271. Wanderley VA, Neves FS, Nascimento MCC, Monteiro GQM, Lobo NS, Oliveira ML, Nascimento Neto JBS, Araujo LF. Detection of Incomplete Root Fractures in Endodontically Treated Teeth Using Different High-resolution Cone-beam Computed Tomographic Imaging Protocols. *J Endod.* 2017;43(10):1720-4.
272. Park JW, Lee JK, Ha BH, Choi JH, Perinpanayagam H. Three-dimensional analysis of maxillary first molar mesiobuccal root canal configuration and curvature using micro-computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(3):437-42.
273. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J.* 1999;32(3):165-70.

274. Lim H, Li FC, Friedman S, Kishen A. Residual Microstrain in Root Dentin after Canal Instrumentation Measured with Digital Moire Interferometry. J Endod. 2016;42(9):1397-402.
275. Rodig T, Muller C, Hoch M, Haupt F, Schulz X, Wiegand A, Rizk M. Moisture content of root canal dentine affects detection of microcracks using micro-computed tomography. Int Endod J. 2018;51(3):357-63.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı	
Doğum Tarihi	
Doğum Yeri	
Uyruğu	
Adres	
Tel	
E-mail	
EĞİTİM	
Lise	
Lisans	
Uzmanlık	
YABANCI DİL BİLGİSİ	
ÜYE OLUNAN MESLEKİ KURULUŞLAR	