



T.C.

ALANYA ALAADDİN KEKUBAT ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

FARKLI APİKAL ÇAPLARA SAHİP TEK KÖKLÜ
DİŞLERDE FARKLI KÖK SEVİYELERİNDE
UYGULANAN BİYOSERAMİK İÇERİKLİ KÖK
KANAL PATININ KÖK KANAL DOLUM
KALİTESİNE VE APİKAL EKSTRÜZYONA
ETKİSİ

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

Bircan KULOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA

2025-ALANYA

T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

FARKLI APİKAL ÇAPLARA SAHİP TEK KÖKLÜ
DİŞLERDE FARKLI KÖK SEVİYELERİNDE
UYGULANAN BİYOSERAMİK İÇERİKLİ KÖK
KANAL PATININ KÖK KANAL DOLUM
KALİTESİNE VE APİKAL EKSTRÜZYONA
ETKİSİ

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

Bircan KULOĞLU

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA

Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 2025-06-01-LTP01 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

2025- ALANYA

ONAY SAYFASI



ETİK BEYAN

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Bircan KULOĞLU

TEŐEKKÜR

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakóltesi'nde asistanlık eğitimim süresince birlikte çalışma fırsatı bulduğum, bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Hatice BÜYÜKÖZER ÖZKAN'a

Asistanlık dönemini beraber geçirdiğim değerli arkadaşlarım Dt. Seher CURAVCI, Dt. Tuğçe Esra GÜNEŐ ve Dt. Melek GÜNEL ÜSTÜN'e,

Beraber çalıőmaktan keyif aldığım Endodonti Anabilim Dalımızdaki asistan arkadaşlarıma,

Üzerimde sonsuz emek ve fedakarlıkları olan hayatıma ışık tutan sevgili annem, babam ve abime,

Sonsuz sevgi, sayđı ve teőekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Amaç: Farklı apikal çaplara sahip tek köklü dişlerde, farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patının kök kanal dolum yüzdesinin ve apikal ekstrüzyon miktarının mikro-bilgisayarlı tomografi (μ BT) ile değerlendirilmesidir.

Yöntem: Çalışmaya tek kök ve tek kanala sahip 60 adet alt premolar insan dişi dahil edildi. Standardizasyon için kök boyları 14 ± 1 mm olacak şekilde dişlerin kronları uzaklaştırıldı. Dişler apikal çapları 25/.04, 25/.06 ve 30/.04 olacak şekilde rastgele 3 ana gruba ayrıldı ($n=20$). Daha sonra her ana grup biyoseramik içerikli kök kanal patının uygulanma seviyesine (apikalden 4 ve 7 mm mesafede) göre kendi içinde rastgele 2 alt gruba ayrıldı ($n=10$). Dişlerin kök kanalları döner eğe ve endomotor kullanılarak şekillendirildi. Dişlerin apeksine, siyanoakrilat ile plastik küreler yerleştirilerek c tipi silikona gömüldü. Örneklerdeki küreler çıkartılarak oluşan boşluğa agar jel yerleştirildi. Kök kanalları biyoseramik içerikli kök kanal patı ve preparasyonlar ile uyumlu güta perka ile tek kon tekniği ile dolduruldu. Biyoseramik içerikli kök kanal patının uygulama ucu, her grupta test edilen kök seviyesine göre stoperi ayarlanarak kanala iletildi. Dişler kök kanal patlarının sertleşmesi için 7 gün boyunca etüvde bekletildi. Daha sonra apikalden ekstrüze olan pat miktarının hacmi ve kök kanal dolum yüzdesi için μ BT ile görüntü alındı. Her dişin kök kanal dolumu ve apikalden ekstrüze olan pat hacimsel bir analize tabi tutuldu. Görüntü edinimi ve iki boyutlu projeksiyondan sonra, kesitler NRecon yazılımı, v.1.7.4.2 kullanılarak yeniden oluşturuldu. Kök kanallarının dolum hacmini, boşluk hacmini ve apikalden ekstrüze olan patın hacmini mm^3 cinsinden ölçmek için CTAn yazılımı v.1.18.4.0 kullanıldı. Kök kanal dolum yüzdesi; kök kanal dolum hacminin, kök kanal dolum ve boşluk hacminin toplam değerine oranlanmasıyla hesaplandı. Kök kanal dolum yüzdesi verilerinin değerlendirilmesinde, One-Way ANOVA, Post Hoc Tukey ve bağımsız t-testi kullanıldı. Apikal ekstrüzyon verilerinin değerlendirilmesinde Ki-kare testi yapılarak, Bonferroni testi ile doğrulandı.

Bulgular: 4 mm kök seviyesinde kök kanal dolum yüzdesi açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. 7 mm kök seviyesinde ise, 25/.06 apikal

çapta 25/.04'e göre daha yüksek kök kanal dolum yüzdesi bulundu ($P < 0,05$). 4 mm kök seviyesinde uygulanan patın apikal ekstrüzyonunda gruplar arası değerlendirmede istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı. 7 mm kök seviyesinde ise 30/.04 apikal çapa sahip dişlerde apikal ekstrüzyon miktarı en düşük bulundu ($P < 0,05$).

Sonuç: 7 mm kök seviyesinde uygulanan kök kanal patı, 30/.04 apikal çapa sahip dişlerde yüksek kök kanal dolum yüzdesi ve minimal apikal ekstrüzyon ile en başarılı sonuçları göstermiştir. Kök kanal patının 7 mm kök seviyesinde uygulanması, 4 mm'ye kıyasla daha kontrollü bir dolum sağlayarak ekstrüzyon riskini azaltmıştır.

Anahtar Sözcükler: apikal ekstrüzyon, biyoseramik içerikli kök kanal patı, kök kanal dolum yüzdesi, kök kanal tedavisi, mikro-bilgisayarlı tomografi.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the apical extrusion amount and root canal filling percentage of bioceramic root canal sealer applied at different root levels in single-rooted teeth with different apical diameters by micro-computed tomography.

Method: 60 human mandibular premolar teeth with a single root and a single canal were included in the study. For standardization, crowns were cut and removed to obtain a root length of 14 ± 1 mm. The teeth were randomly divided into 3 main groups with apical diameters of 25/.04, 25/.06 and 30/.04 ($n=20$). Then, each main group was randomly divided into 2 subgroups according to the application level of bioceramic root canal sealer (4 and 7 mm from the apex) ($n=10$). The root canals of the teeth were shaped using rotary files and endomotors. Plastic spheres were placed with cyanoacrylate at the apex of the teeth and embedded in c-type silicone. The spheres in the samples were removed and agar gel was placed in the resulting space. The root canals were filled with bioceramic root canal sealer and gutta-percha compatible with the preparations using the single cone technique. The application tip of the bioceramic root canal sealer was delivered to the canal by adjusting the stopper according to the root level tested in each group. The teeth were kept in the oven for 7 days for the root canal sealer to harden. Then, micro-computed tomography images were taken for the volume of the sealer amount extruded from the apex and the root canal filling percentage. The root canal filling and the apically extruded material of each tooth were subjected to a volumetric analysis using microtomography. After image acquisition and two-dimensional projection, the sections were reconstructed using NRecon software, v.1.7.4.2. CTAn software, v.1.18.4.0 was used to measure the volume of the extruded material in mm^3 and to find the filling percentage of the root canals. The filling percentage of the root canals was calculated by dividing the root canal filling volume by the root canal filling and the empty volume in the root canals. In the evaluation of root canal filling percentage data, One-Way ANOVA, Post Hoc Tukey and independent t-test were used. In the evaluation of apical extrusion data, Chi-square test was performed and confirmed with Bonferroni test.

Results: No statistically significant difference was found between the groups in terms of root canal filling percentage at 4 mm root level. At 7 mm root level, higher root canal filling percentage was found in 25/.06 apical diameter compared to 25/.04 (P

<0.05). No statistically significant difference was found between the groups in the apical extrusion of the sealer applied at 4 mm root level. At 7 mm root level, the lowest amount of apical extrusion was found in teeth with 30/.04 apical diameter ($P < 0.05$).

Conclusion: Root canal sealer applied at 7 mm root level showed the most successful results with high root canal filling percentage and minimal apical extrusion in teeth with 30/.04 apical diameter. Application of root canal sealer at 7 mm root level provided a more controlled filling compared to 4 mm and reduced the risk of extrusion..

Keywords: apical extrusion, bioceramic based root canal sealer, root canal filling percentage, root canal treatment, micro-computed tomography.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER	ix
TABLolar	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kök Kanal Patları.....	4
2.1.1. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patları.....	4
2.1.2. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patlarının Sınıflandırılması.....	6
2.1.3. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patlarının Genel Özellikleri.....	9
2.2. Kök Kanal Dolum Teknikleri.....	13
2.2.1. Tek Kon Tekniği.....	15
2.3. Kök Kanal Dolum Kalitesinin Değerlendirilmesi.....	16
2.3.1. Dolum Kalitesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Görüntüleme Teknikleri.....	16
2.4. Apikal Ekstrüzyon.....	19
2.4.1. Apikal Ekstrüzyonu Etkileyen Faktörler.....	20
2.4.2. Apikal Ekstrüzyon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Teknikler	24
3. GEREÇ ve YÖNTEM	26
3.1. Çalışmada Kullanılacak Dişlerin Seçimi.....	28
3.2. Dişlerin Kök Kanallarının Şekillendirilmesi.....	29
3.3. Deney Düzenekinin Hazırlanması.....	30
3.4. Deney Gruplarının Oluşturulması.....	32
3.5. Kök Kanallarının Doldurulması.....	32

3.6. Dişlerin µBT ile Görüntülenmesi ve Analizi.....	34
3.7. İstatiksel Analiz.....	34
4. BULGULAR.....	36
4.1. Kök Kanal Dolum Yüzdesi Bulguları.....	36
4.2. Apikal Ekstrüzyon Bulguları.....	37
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR.....	52
EKLER.....	64
EK-1 Etik Kurul Kararı	
ÖZGEÇMİŞ.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μ BT	Mikro Bilgisayarlı Tomografi
pH	Hidrojen Potansiyeli
Mm	Milimetre
°	Derece
μ	Mikro
Al	Alüminyum
g/cm	Gram / Santimetreküp
mL	Mililitre
Dk	Dakika
Sn	Saniye
Cm	Santimetre
Mm ³	Milimetre Küp
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
Mm	Milimetre

Kısaltmalar

Ark.	Arkadaşları
BT	Bilgisayarlı Tomografi
KIBT	Konik Işın Demetli Bilgisayarlı Tomografi
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu (International Standards Organization)
G	Gauge
MTA	Mineral Trioksit Agregat
CTAn	Bilgisayarlı Tomografi Analiz yazılımı
Ni-Ti	Nikel Titanyum
FDA	Amerikan İlaç İdaresi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
CCD	Yük Bağlantılı Cihaz (Charge-Coupled Device)
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
EDTA	Etilendiamintetraasetik Asit
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Rpm	Dakika Devir Sayısı (Revolutions Per Minute)

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. μ BT şematik diyagramı	18
Şekil 3.1. Deneysel tasarımı özetleyen diyagram	27
Şekil 3.2. Dekorone edilmiş dişler	28
Şekil 3.3. X-Smart Plus endomotor, Smart Gold ve Touch Gold döner eğe sistemi .	29
Şekil 3.4. Jel formdaki siyanoakrilat	30
Şekil 3.5. Kürelerin dişlerin apekslerine sabitlenmesi.....	31
Şekil 3.6. Yerleştirilen kürelerin periapikal radyografisi.....	31
Şekil 3.7. (a), (b) Hazırlanan silikon modellerin koronal kesitleri.....	32
Şekil 3.8. Biyoseramik içerikli kök kanal patı.....	33
Şekil 3.9. Plastik irrigasyon ucu	34
Şekil 4.1. Farklı apikal mesafelerde uygulanan patın, kök kanal dolum yüzdesinin (%) ortalama ve standart sapma değerleri (Ort \pm SS)	37
Şekil 4.2. Farklı apikal mesafelerde uygulanan kök kanal patının kategorikleştirilen apikal ekstrüzyon yüzdeleri.....	39
Şekil 4.3. Her gruptan 2 boyutlu μ BT görüntü örnekleri.....	40
Şekil 4.4. Her gruptan 3 boyutlu μ BT görüntü örnekleri.....	41

TABLÖLAR

Tablo 2.1. Tıbbi kullanım için tasarlanmış paslanmaz çelik iğnelerin çapları (ISO-9626/ 2001 şartnamesine göre)	21
Tablo 4.1. Farklı apikal mesafelerde uygulanan patın, kök kanal dolum yüzdesinin (%) ortalama ve standart sapma değerleri (Ort ± SS)	36
Tablo 4.2. Farklı apikal mesafelerde uygulanan kök kanal patının apikal ekstrüzyon miktarının (mm ³) ortalama değerleri.....	38
Tablo 4.3. Farklı apikal mesafelerde uygulanan kök kanal patının kategorikleştirilen apikal ekstrüzyon yüzdeleri.....	38



1.GİRİŞ

Endodontide kök kanal tedavisinin temel amacı kök kanallarının uygun bir şekilde genişletilip, dezenfekte edildikten sonra yeterli ve sıkı bir şekilde doldurulup dişin uzun vadeli başarılı bir prognozunun sağlanmasıdır. Üç boyutlu kök kanal dolumu mikroorganizmaların girişini ve periapikal sıvıların kök kanalına infiltrasyonunu önleyerek tedavinin başarısını artırmaktadır (1, 2).

Güta perka yıllardır kök kanal dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Güta perkanın dezavantajlarından biri, kök kanal duvarlarına bağlanmaması ve bu nedenle dolumda boşlukların kalmasına yol açmasıdır. Güta perka ve dentin arayüzünde oluşan boşluklar zamanla mikrosızıntıya yol açabilmekte ve mikroorganizmalar için bir üreme alanı oluşturarak kök kanal tedavisinin başarısızlığına sebep olabilmektedir (3). Bu nedenle kök kanal patları, güta perka-kök kanal duvarı birleşimindeki adhezyonu artırmak için formüle edilmiştir (4).

Günümüze kadar değişik içeriklerde kök kanal patları kullanılmıştır. Biyoseramik içerikli kök kanal patları son dönemde modern endodontik uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun nedeni biyoseramik içerikli kök kanal patlarının son derece alkali (pH 11'den fazla), güçlü antibakteriyel, biyoyumlu, polimerizasyon büzülmesi olmayan biyoaktif materyaller olmasıdır. Bununla birlikte suyla (dentin tübüllerindeki sıvı) reaksiyona girer, nem varlığında sertleşmesini tamamlar ve sertleştikten sonra periapikal sıvılara karşı yüksek sızdırmazlık sağlar. Araştırmacılar bu sızdırmazlık maddesinin antibakteriyel etkinliğini diğer sızdırmazlık maddeleri ile karşılaştırarak biyoseramik kalsiyum silikat içerikli materyallerin antibakteriyel özellikler açısından üstün olduğunu ve başarılı kök kanal tedavileri ile dişlerin yeterli klinik fonksiyonda olduğu sonucuna varmıştır (5). Biyoseramik içerikli kök kanal patları tek kon dolum tekniğiyle kullanılmak üzere tasarlanmış olup doğrudan karıştırılarak kanal içine direkt bir uçla uygulanabilirlik sağlayan şırıngada sunulmaktadır. Nazik bir pompalama hareketiyle karmaşık kanal sistemine yerleştirilir. Düşük viskoziteli olan bu patlar kök kanal sistemi uygun bir şekilde temizlenirse, kök kanalının prepare edilemeyen anatomik dar boşluklarına bile ulaşarak çok iyi bir apikal sızdırmazlık sağlar (6).

Kök kanal dolununun kök kanal sistemi içinde sınırlı tutulması gerekmektedir. Kök kanal patının periradiküler dokulara veya çevredeki anatomik yapılara ekstrüzyonu postoperatif ağrı, şişlik, sinir hasarı, periapikal iyileşme gecikmeleri ve akut alevlenmeler gibi çeşitli klinik komplikasyonlara yol açabilmektedir (7, 8). Biyoseramik içerikli kök kanal patları önemli ölçüde daha yüksek bir ekstrüzyon insidansı ile ilişkilendirilmiştir (6, 9). Her ne kadar biyoyoumlu olarak bilirse de biyoseramik içerikli kök kanal patlarının da ekstrüzyonu sonucu çevre anatomik yapılarda oluşan sinir hasarına bağlı uyuşukluk, karıncalanma ve postoperatif ağrı bildirilmiştir (9-11). Bu yüzden kök kanal dolusunda hangi madde kullanılırsa kullanılsın apikal foramen ile sınırlı kalması istenmektedir. Apikal ekstrüzyonda diğer önemli bir nokta da preparasyonun apikal çapıdır. Literatürde bazı çalışmalar daha büyük çapta yapılan apikal preparasyonun daha fazla irrigasyon solüsyonu ve debris ekstrüzyonuna sebep olduğunu rapor etmiştir (12-20).

Literatürde kök kanal dolularının kalitesinin değerlendirilmesinde farklı değerlendirme teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler arasında konvansiyonel radyografiler (21) ve ileri düzey görüntüleme teknikleri olan bilgisayarlı tomografi (BT), konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ve mikro-bilgisayarlı tomografi (μ BT) (22) yer almaktadır. Konvansiyonel radyografiler iki boyutlu olup görüntülerin üst üste binmesinden dolayı detaylı görüntü elde edilememektedir (21). BT ve KIBT her ikisi de üç boyutlu görüntü sağlayan cihazlardır ancak kullanım alanları farklıdır. Dental ve maksillofasiyal alanlar gibi daha spesifik bölgelerin görüntülenmesinde KIBT kullanılır. Bununla birlikte KIBT görüntüde X ışınına bağlı artefaktların oluşması sonucu hekimi yanlış yönlendirebilmektedir (23). Bu dezavantajların üstesinden gelmek için çok yüksek çözünürlük ile kök kanal konfigürasyonunun detaylı incelenmesine olanak sağlayan μ BT kullanılmaktadır (24). μ BT, X ışını ile otomatik ölçümler sağlayarak kök kanalının morfolojisi (25), kök kanal preparasyonu (26), kök kanal dolum materyalinin homojenliği (27) ve kök kanal dolum materyalinin ekstrüzyonu hakkında detaylı bilgiler sağlar (28).

Literatürde apikal ekstrüzyon çalışmalarında (2, 29-31) ekstrüze olan materyallerin ölçümü için genellikle hassas teraziler kullanılmıştır. Hassas terazi ile yapılan ölçümlerde ekstrüze olan materyalin miktarı sadece kantitatif olarak belirlenir. Ekstrüze edilmiş materyalin μ BT ile yapılan ölçümlerinde ise yüksek çözünürlüklü

görüntüler elde edilir, hacim ölçülerek hem niceliksel hem niteliksel veri sağlanır. Ayrıca, bu tekniğin invaziv olmaması avantajdır (28).

Yapılan literatür taramasında kök kanal tedavisi sırasında irrigasyon solüsyonlarının apikal ekstrüzyonu veya debris ekstrüzyonu hakkında çok fazla çalışma vardır (2, 15, 17, 29-44). Ancak, kullanımı giderek yaygınlaşan ve yüksek apikal ekstrüzyon ile ilişkilendirilen biyoseramik içerikli kök kanal patlarının (6, 9) farklı apikal çaplarda apikal ekstrüzyon miktarını değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte literatürde bu patların klinik kullanımında hangi kök seviyesinde uygulanması ile ilgili net bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı farklı apikal çaplara sahip tek köklü dişlerde farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patının apikal ekstrüzyon miktarı ve kök kanal dolum yüzdesini μ BT ile değerlendirmektir. Çalışmanın sıfır hipotezi farklı apikal çaplara sahip tek köklü dişlerde, farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patının apikal ekstrüzyon miktarı ve kök kanal dolum kalitesine etkisi yoktur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanal Patları

Kök kanal patları üç boyutlu sızdırmaz bir kök kanal dolumu sağlamak için kor materyalleri ile birlikte kullanılır. Kök kanal patları dentin tübülüne nüfuz ederek kor materyali ile dentin arasındaki bağlantıyı artırır ve böylece kök kanal dolumunun adaptasyonunun sağlanmasına ve sızdırmazlık kabiliyetinin artmasına yardımcı olur (2). Kök kanal patı kullanılarak yapılan kök kanal dolumlarının pat kullanılmayanlara kıyasla daha az sızıntı gösterdiği bildirilmiştir (45). İdeal kök kanal patı özellikleri Grossman (46) tarafından aşağıdaki gibi bildirilmiştir.

- Sertleştiğinde kök kanal duvarları ile iyi adezyon sağlamalıdır.
- Hermetik olarak sızdırmazlık sağlamalıdır.
- Radyografide görülebilecek kadar radyopak olmalıdır.
- Toz ve likit formdaysa kolayca karıştırılabilmelidir.
- Sertleştikten sonra büzülmemelidir.
- Dişte ve yumuşak dokularda renklenmeye sebep vermemelidir.
- Bakteriyostatik olmalı veya en azından bakteri büyümesini teşvik etmemelidir.
- Yavaş sertleşmelidir.
- Doku sıvılarında çözünmemelidir.
- Periapikal doku açısından tolerasyonu iyi olmalıdır.
- Kök kanal dolumunun sökülmesi gerekiyorsa yaygın çözücülerde çözünebilmelidir.

En bilinen kök kanal patları çinko oksit öjenol içerikli, kalsiyum hidroksit içerikli, cam iyonomer içerikli, rezin içerikli ve son dönemde oldukça popüler olan biyoseramik içerikli kök kanal patlarıdır.

2.1.1. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patları

Biyoseramikler tıp ve diş hekimliğinde kullanım için geliştirilmiş sızdırmazlık kabiliyeti olan antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahip biyoyumlu seramik malzemeler veya metal oksitlerdir. İnsan dokularını taklit etme veya doğal dokuların

rejenerasyonu gibi yeteneklere sahiptir. Biyoseramiklerin yapısında alümina ve zirkonyum, biyoaktif cam, cam seramikler, kalsiyum silikatlar, hidroksi apatit ve rezorbe olabilen kalsiyum fosfatlar ve radyoterapi camları bulunur (47). Biyoseramik materyaller etki mekanizmalarına göre üç sınıfa ayrılır.

Biyoinert: Biyolojik sistemler ile etkileşime girmeyen materyaller (alümina, zirkonyum)

Biyoaktif: Çevresindeki temas ettiği dokularla etkileşime giren ancak doku sıvılarında az derecede çözünerek stabilliğini koruyan materyaller. Bu materyaller temas ettikleri dış sert dokularında mineralizasyonu arttırarak pulpa ile materyal arasında bir bariyer tabaka oluşturma yeteneğine sahiptir (biyoaktif camlar, biyoaktif cam seramikler, hidroksi apatit, kalsiyum silikatlar)

Biyočözünür: Zaman içerisinde çözünerek yerini çevre dokuların aldığı materyaller (trikalsiyum fosfat, biyoaktif camlar) (48).

Biyoseramik materyaller, üstün fiziksel ve biyolojik özellikleri sayesinde biyouyumlu ve osteokondüktif özellikler gösterir. Dış dokusuyla kimyasal bağ kurma yeteneğine sahip olmaları, hermetik kapama sağlamaları, doku sıvılarında çözünmemeleri, radyopak olmaları ve kolayca şekillendirilebilmeleri gibi avantajları nedeniyle endodonti pratiğinde giderek daha fazla kullanılmaktadır (11). Bu materyaller sertleşirken genleşme eğilimindedir ve kimyasal olarak stabil özelliklere sahiptir. Yapısındaki hidroksi apatit sayesinde dentin yüzeyi ile sağlam bir adezyon kurarlar. Akut ağrılı vakalarda ağrının azalmasına katkıda bulunurlar. Hidrofilik özellikleri yüksektir ve yüzey gerilimleri düşüktür (49). Biyoseramikler kalsiyum silikat içerikli materyallerin tamamını içeren geniş bir tanımdır. Trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat ve kalsiyum oksit kalsiyum silikat içerikli materyallerin ana bileşenleridir. Ayrıca, radyopaklaştırıcı ajan olarak kalsiyum tungstat, radyokontrast ajan olarak baryum sülfat ve taşıyıcı ajan olarak polietilen glikol eklenir (50-56).

Kalsiyum silikat içerikli materyaller kalsiyum hidroksit içermezler fakat doku sıvılarıyla temas ettiklerinde içeriklerindeki trikalsiyum silikat ve doku sıvısındaki fosfatın hidrasyonu sonucunda kalsiyum hidroksit üretilir (57, 58) ve bu sayede

materyal biyoaktivite özelliği kazanır (59). Kalsiyum hidroksit hücre bağlanması ve çoğalması için uygun ortam yaratır (60). Kalsiyum silikat içerikli materyaller doku sıvılarıyla temas ederek ortamın pH'ını yükseltir ve hidroksi apatit üretimini aktive eder. Bu alkali pH antibakteriyel bir ortam oluştururken, üretilen hidroksi apatit iyileşmeyi, sert doku farklılaşmasını ve rejenerasyonu destekler (61, 62).

Kalsiyum silikat içerikli materyaller endodontide vital pulpa tedavilerinde, apeksogenezis ve apeksifikasyon tedavilerinde, perforasyon tamirinde, rejeneratif pulpa tedavilerinde, retrograt olarak kök ucu dolgu materyali ve kök kanal dolgu materyali olarak kullanılmaktadır (63).

2.1.2. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patlarının Sınıflandırılması

Endodontide kullanılan kök kanal patının özelliğinin bilinmesi ve vakaya göre uygun pat seçiminin yapılması tedavi başarısına olumlu katkı sağlayacaktır. Biyoseramik içerikli kök kanal patları nem varlığında sertleşebilmesi, antibakteriyel etkinliğinin uzunluğu, sızdırmazlığı, çalışma süresinin uzun olması, sertleşme genişmesi göstererek kök kanalını boşluksuz doldurması ve tek kon tekniğini kolaylaştırması gibi nedenlerle son dönemde oldukça popülerdir. Bununla birlikte özellikle periapikal bölgeye ekstrüzyonu durumunda minimal iltihabi yanıt göstermeleri, toksik ve karsinogenik etkiye sebep olmaması da tercih edilme sebeplerindedir.

Biyoseramik içerikli kök kanal patları içeriklerine göre kalsiyum-silikat-fosfat içerenler ve mineral trioksit agregat (MTA) içerenler olarak temelde ikiye ayrılır (64).

Kalsiyum-Silikat-Fosfat İçerenler:

iRoot SP (Verio Dental Co. Ltd. Vacour, Kanada)

iRoot SP kök kanal patı içeriğinde zirkonyum oksit, kalsiyum silikat, kalsiyum fosfat, kalsiyum hidroksit, doldurucu ve kıvam vericiler bulunmaktadır (64). Bu şırınga formundaki materyal, doğrudan kök kanalına uygulanabilir ve kök kanalındaki nem ile sertleşir (65). Bu nedenle uygulama öncesinde kök kanalının kurutulmasına gerek yoktur. Aşırı kurutulmuş kök kanallarında bağlanma dayanımı düşmektedir (66). Sertleşme sırasında büzülme meydana gelmez ve yaklaşık olarak dört saatte sertleşir (64). Dentine güçlü bir bağlanma sağlarken toksisitesi son derece düşüktür ve aynı

zamanda antimikrobiyal özellikler gösterir. Bu avantajları sayesinde kök kanal tedavisinde tercih edilen bir malzemedir (67, 68).

Bioseal (Ogna, Milan, İtalya)

Toz ve likit olmak üzere iki bileşenden oluşan Bioseal kök kanal patının toz içeriğinde hidroksi apatit, baryum sülfat, diiyodotimol, doğal rezin, çinko oksit, kalsiyum hidroksit ve çinko asetat yer alırken, likit içeriğinde öjenol ve oleorezin bulunmaktadır. Hidroksi apatit patın biyoyumluluğunu artırarak boyutsal değişikliklere karşı dayanıklılığını sağlar (67, 68).

EndoSequence BC Sealer (Brasseler, Sanannah, Geoergia, ABD)

EndoSequence BC sealer kök kanal patı zirkonyum oksit, kalsiyum silikat, kalsiyum fosfat monobazik, kalsiyum hidroksit, doldurucu ve kıvam verici maddeler içermektedir (64). Önceden karıştırılmış enjekte edilebilir şırınga formundadır. Sertleşme reaksiyonu dentin tübüllerinden gelen nem ile sağlanır (4). Yüksek oranda radyoopasite gösterir. Kök kanal duvarlarına sıkı adezyon gösterir bu şekilde mikrosızıntının önüne geçer. Sertleşme süresi dört saattir. pH'nın 12,9 olması antibakteriyel özellik kazandırır. Partikül boyutunun küçük olması ve yüksek akışkanlık göstermesi sayesinde lateral kanallara ve dentin tübüllerine penetre olur (64, 67, 68).

Smartpaste Bio (Smart Seal DRFP Ltd, Stamford, İngiltere)

Smartpaste Bio kök kanal patı rezorbe olmayan, boyutsal değişim göstermeyen ve hidrofilik özelliklere sahiptir ve biyoyumludur. Kök kanalındaki nem ile sertleşirken kalsiyum hidroksit ile hidroksi apatit açığa çıkarır. Bu bileşenler, patın güçlü antibakteriyel özellikler göstermesini sağlar. Doğrudan kök kanalına enjekte edilebilir formdadır (67, 68).

Appetite (Dentsply-Sankin Trading Co., Tokyo, Japonya)

Hidroksi apatit, trikalsiyum fosfat ve poliakrilik asit içeren Appetite kök kanal patının üç tipi mevcuttur. Tip 1 antibakteriyel değildir ve bu patın antibakteriyel özelliklerini

geliştirmek amacıyla Tip 2 ve Tip 3'ün tozuna değişik oranlarda iyodoform eklenmiştir (64, 67, 68).

Dia-Root Bio Sealer (Diadent, Cheongju, Kore)

Dia-Root Bio Sealer hidrofilik bir kök kanal patıdır ve sertleşme reaksiyonu sırasında dentinden gelen nemi kullanmaktadır. Kalsiyum alüminat da içeren bu kök kanal patının kalsiyum silikat içeren diğer patlara göre daha yüksek bağlanma dayanıma sahip olduğu ve daha iyi intratübüler biyomineralizasyon gösterdiği bildirilmiştir (69).

Bioserra (Dentac, İstanbul, Türkiye)

Bioserra kök kanal patının pH değeri 12'dir ve direkt kök kanalına enjekte edebilir formda üretilmiştir. İçeriğindeki kalsiyum silikat kök kanalında bulunan nemi emerek kalsiyum hidroksitin bir miktar kristalleşmesini sağlar. Bu da kalsiyum alüminat ve kalsiyum silikat jeli üretilmesine neden olur. Bu üretilen bileşenler iyileşmeye katkı sağlar. Biyoaktif ve biyouyumlu bir kök kanal patıdır (70).

MTA İçerenler:

ProRoot Endo Sealer (Dentsply, Tulsa Dental, Tulsa, ABD)

Toz ve likitten oluşan ProRoot kök kanal patının toz içeriğinde trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum sülfat, bizmut oksit ve az miktarda trikalsiyum alüminat bulunurken, likitinde suda çözünen polimer bulunmaktadır (64). Kök kanallarındaki nem ile birlikte kalsiyum hidroksit açığa çıkmakta ve hidroksi apatit stimülasyonunu başlatmaktadır (71).

MTA Angelus (Angelus, Londrina, Brezilya)

MTA Angelus; trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat, tetrakalsiyum alüminoferrit, bizmut oksit, demir oksit, kalsiyum karbonat, magnezyum oksit, kristalin silika ve çözülmemiş artıklardan oluşur (64). Viskozitesi yüksek olduğu için kök kanal sistemindeki ulaşılması zor alanların doldurulması zordur.

Endo CPM Sealer (EGEO S.R.L. Buenos Aires, Arjantin)

Endo CPM Sealer kök kanal patı silisyum dioksit, kalsiyum karbonat, bizmut trioksit, baryum sülfat, propilen glikol aljinat, sodyum sitrat, kalsiyum klorür ve aktif bileşenlerden oluşur (64). Kalsiyum karbonat sayesinde sertleştikten sonra pH değeri 12,5'ten 10'a düşmektedir. Bu pH değişikliği çevre dokularda nekrozun önlenmesine ve alkalen fosfataz aktivitesinin sürdürülebilmesine yardımcı olur (72).

MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Brezilya)

Salisilat rezin, seyreltici rezin, doğal rezin, bizmut trioksit, silika, MTA ve pigmentler içeren MTA Fillapex pasta formunda bir pattır (64). İyi radyoopasite gösterir. Alkali pH'a (pH:11), yeterli çalışma süresine ve düşük çözünürlüğe sahiptir (73). Biyouyumluluğu mükemmeldir, biyoaktiftir ve osteokondüktiftir (74). İlk karıştırıldığında ve sertleşme sırasında sitotoksik bulunsa da sertleşme tamamlanınca sitotoksik etki göstermemektedir (75).

2.1.3. Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patlarının Genel Özellikleri

Biyouyumluluk

Bir materyal dokuyla temas ettiğinde toksisite, irritasyon, iltihaplanma, alerjik reaksiyon veya kanserojenite gibi olumsuz bir etki oluşturmazsa bu materyalin biyouyumlu olduğu kabul edilir (76). Kök kanal tedavisinde kullanılan materyaller çevre dokular ile direkt ilişkilidir. Bu nedenle bu materyallerin biyouyumlu olması önem arz etmektedir. İdeal bir kök kanal patının, çevre periapikal dokular tarafından tolerasyonun iyi olması, bu dokularda irritasyona yol açmaması ve iyileşme sürecini engellemeyen bir özellik göstermesi beklenir. Ayrıca bu tür bir materyalin iyileşmeyi uyarıcı etkiler sunması da önemlidir. Günümüze kadar bu gereksinimlerin tümünü karşılayan tek bir kök kanal patının bulunamaması nedeniyle sürekli olarak yenileri piyasaya sürülmektedir. Son yıllarda biyoseramik içerikli kök kanal patlarının geliştirilmesi de bu ihtiyaç doğrultusunda gerçekleşmiştir (72).

Literatürdeki pek çok çalışma (75, 77-79) biyouyumluluğu değerlendirirken materyalin hücre sağkalımı üzerindeki etkisini inceleyen sitotoksisite araştırmalarına odaklanmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmında (75, 78, 79) biyoseramik içerikli

kök kanal patının biyouyumluluk gösterdiği bulunmuştur. Bu biyouyumluluğun kök kanal patındaki kalsiyum fosfat içeriğine bağlı olduğu öne sürülmektedir. Kalsiyum fosfat, dişler ve kemik gibi sert dokuların ana inorganik bileşeni olarak bilinir. Bu bağlamda biyoseramik içerikli kök kanal patlarının kök kanal dolumu veya perforasyonlarının onarımı esnasında apikal foramenden istemeden ekstrüze edildiğinde kemik rejenerasyonunu destekleme potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir (79, 80). Başka bir çalışmada (81) ise biyoseramik içerikli kök kanal patının kalsiyum hidroksit içerikli patlara kıyasla daha az proinflatuar mediatörler meydana getirdiği ayrıca osteojenik potansiyelinin daha fazla olduğu bildirilmiştir. Bununla beraber Loushine ve ark. (78) AH Plus'ın sitotoksitenin zamanla azalmasına karşın, biyoseramik içerikli kök kanal patının nontoksik olduğunu ve biyouyumluluğunun daha yüksek olduğunu rapor etmiştir. De-Deus ve ark. (82) iRoot BP Plus ve MTA'nın sitotoksik etkisinin önemli düzeyde olmadığını ve biyouyumlu olduklarını bildirmiştir. Buna karşın MTA Fillapex'in yeni karıştırıldığında fibroblast hücreleri üzerinde ciddi bir sitotoksositeye sahip olduğu, zamanla azalmadığı ve sitotoksosite seviyesinin karıştırmadan beş hafta sonra bile orta düzeyde kaldığı bildirilmiştir (83).

Sertleşme

İdeal kök kanal patının sertleşme süresi yeterli çalışma süresine sahip olmalıdır ve sertleşme reaksiyonu boyunca çevre dokularla uyumlu olmalıdır. Ancak, yavaş bir sertleşme süresi doku irritasyonuna neden olabilir ve birçok kök kanal patı sertleşene kadar bir miktar toksisite üretir. Biyoseramik içerikli kök kanal patlarının çalışma süresi ideal olmakla birlikte yaklaşık olarak 4 saat kadar bir sürede sertleşmesini tamamlar (84). Biyoseramik içerikli kök kanal patının sertleşme reaksiyonu dentin tübüllerindeki nemin varlığıyla katalize edilir. Su, kan, tükürük gibi sıvıların varlığı sertleşmesini engellemektedir (85). Hatta kök kanalları kuru olan hastalarda sertleşme süresi daha uzun olmaktadır. Dentin tübüllerinin nem miktarı kağıt konlarla kurutma (86), smear tıkaçlarının varlığı veya tübüler skleroz (87) gibi bir çok faktörden etkilenmektedir. Ayrıca, biyoseramik içerikli kök kanal patları sertleşme reaksiyonu gösterirken %0,2-6 civarında genişleme meydana gelmektedir (67). Bu durum kök kanal dolumunda avantaj sağlamaktadır.

Akıcılık

Kök kanal patlarında akıcılık istmus, aksesuar ve lateral kanallar gibi erişilmesi zor alanların doldurulmasını sağladığı için oldukça önemlidir (88). Kök kanal patı akıcı olmadığına bu alanlara erişmesi zorlaşırken fazla akışkan kıvamda olduğunda ise apikal ekstrüzyon olasılığı artar. Kök kanal patının akış hızını parçacık boyutu, sıcaklık, kayma hızı ve karıştırma süresi gibi faktörler etkiler (89). Akış hızı Reometre yöntemi ile değerlendirilirken tüplerin iç çapı ve yerleştirme hızı dikkate alınır. Candeiro ve ark. (88) biyoseramik içerikli kök kanal patların akıcılığının sahip olması gereken minimum miktardan fazla olduğunu tespit etmişlerdir. EndoSequence BC kök kanal patının akış hızı farklı çalışmalarda 23,1 mm ve 26,96 mm olarak bildirmiştir (88, 90). Benzer şekilde MTA Fillapex'in akış hızı farklı çalışmalarda 22 mm, 24,9 mm ve 29,04 mm olarak bildirilmiştir (73, 90, 91). Bu nedenle vakaya uygun patı seçmek önemlidir.

Çözünürlük

Bir maddenin sıvı içinde moleküllerine ayrılabilme özelliğine çözünürlük denir. Kök kanal patlarının çözünür olması, pat ile kök kanal duvarları arasında veya pat ile güta perka arasında boşlukların oluşmasına sebebiyet verebilir ve bu boşluklar da kök kanal tedavisini sızdırmazlık açısından tehliye atar. Kök kanal patları dolun işleminden sonra çözünmemeli veya yalnızca çok az çözünürlük göstermelidir. Ayrıca, periapikal dokularla temas ettiklerinde, yabancı cisim reaksiyonu oluşturmadan çözünmeleri gerekmektedir. Biyoseramik içerikli kök kanal patlarının rezin içerikli ve silikon içerikli kök kanal patlarına kıyasla daha çözünür olduğu bulunmuştur (90). Bununla birlikte, biyoseramik içerikli kök kanal patlarının kök kanallarından sökülmesinin zor olması nedeniyle kök kanal yenilenmesi tedavisinde daha uğraştırıcı olduğu bildirilmiştir (92).

Renklenme

Estetik gereksinimlerden dolayı kök kanal patı dişi renklendirmemelidir. Partovi ve ark. (93) Sankin apatit tip III'ün, AH26, Endofill, Tubli-Seal ve çinko oksit öjenol kök kanal patlarına kıyasla uygulamadan 9 ay sonra en az renk değişimine neden olduğunu ve en büyük renk değişiminin kronun servikal üçte birinde oluştuğunu bildirmiştir.

Ayrıca, MTA Fillapex'in çinko oksit öjenol içerikli Roth-811'e kıyasla klinik olarak algılanamayacak düzeyde minimal kron renk değişimine neden olduğu rapor etmiştir (94).

Radyoopasite

Kök kanal patları bitişik anatomik yapılardan ayırt edilebilecek kadar radyoopak olmalıdır (95). Bu sayede kök kanal dolum kalitesinin radyografik olarak incelemesine olanak sağlar. Ayrıca, kök kanal dolum kalitesinin değerlendirilebilmesi için kök kanal patının dentinden daha fazla radyoopasitesiye sahip olması gerekmektedir (96). Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu'nun (ISO) belirlediği yönergeye göre, kök kanal patlarının radyoopasitesinin en az 3 mm Alüminyum (Al) olması gerekmektedir. Günümüzde piyasada farklı radyoopasiteye sahip biyoseramik içerikli kök kanal patları bulunmaktadır. Bunlardan EndoSequence BC kök kanal patının radyoopasitesinin 3,83 mm (88), Endo CPM kök kanal patının bizmut trioksit ve baryum sülfatın varlığı nedeniyle radyoopasitesinin 6 mm (97), benzer şekilde MTA Fillapex'te bulunan bizmut trioksitin varlığı nedeniyle radyoopasitesinin 7 mm olduğu bildirilmiştir (91, 98).

Antimikrobiyal Özellik

Kök kanal patlarının antimikrobiyal aktivitesi, kök kanal tedavisinden sağ kalan veya daha sonra mikrosızıntı yoluyla kök kanalına girmiş olabilecek intradiküler mikroorganizmaları ortadan kaldırarak kök kanal tedavilerinin başarı oranını arttırmayı amaçlar (99, 100). Biyoseramik içerikli kök kanal patlarının temel antimikrobiyal özellikleri yüksek pH ve kalsiyum iyonlarının salınımı ile sağlanmaktadır (89) bu da mineralize doku birikimi yoluyla onarımı teşvik etmektedir (101).

EndoSequence BC kök kanal patının yüksek pH'a (>11) sahip olduğu ve kalsiyum iyonları salma eğiliminin yüksek olduğu bildirilmiştir (88). Zhang ve ark. (102) ise iRoot SP kök kanal patının sertleşme gerçekleştikten sonra bile yüksek bir pH değerine (pH:11,5) sahip olduğunu ancak antibakteriyel etkisinin yedi gün sonra büyük oranda azaldığını rapor etmiştir.

Adezyon

Kök kanal patı adezyonu patın kök kanal duvarlarına bağlanma, güta perkaların birbirlerine ve kök kanal duvarlarına bağlanma kapasitesi olarak tanımlanır (103). Kök kanal patının adezyonunu değerlendirmek için kullanılan standart bir yöntem yoktur. Bu sebeple kök kanal patlarının adezyon potansiyeli genellikle mikrosızıntı ve bağlanma dayanımı (push-out) testleri kullanılarak değerlendirilir (104). Bağlanma dayanımı, kök kanal patını kök kanal duvarlarından ayırmak için gereken birim alan başına uygulanan kuvvettir (104). Kullanılan farklı metodolojilere bakılmaksızın, biyoseramik içerikli kök kanal patlarının tatmin edici sızdırmazlık yeteneğinin olduğu ve piyasadaki diğer kök kanal patlarıyla karşılaştırılabilir olduğu rapor edilmiştir (105). Literatürde sızıntı ile bağlanma dayanımı arasında doğrudan bir ilişki tespit edilmemiş olsa da (106) bir kök kanal patının hem kor materyal olan güta perkaya hem de kök kanal duvarlarına bağlanarak sızdırmazlığı artıran ve kök kanal tedavili dişi kırılmaya karşı güçlendiren tek bir ünite oluşturduğu "*monoblok*" konseptinin geliştirilmesi nedeniyle bağlanma dayanımı testi önemli ölçüde ilgi görmüştür (107). Kök kanal patı ile kök kanal duvarları arasında oluşan güçlü adezyon, post boşluklarının hazırlanması ve dişin esnemesi sırasında kök kanal patı dentin arayüzünün bütünlüğünün korunması için önemlidir (108). Biyoseramik içerikli kök kanal patları, kök kanal duvarları ve güta perka arasında iyi bir adezyon oluşturma yeteneğine sahiptir.

Örtücülük Özelliği

Biyoseramik içerikli kök kanal patları düşük yüzey gerilimi ve yüksek hidrofilik özelliği sayesinde ulaşılması zor alanlara kolayca yayılarak örtücülüğü ile yüksek bir tıkama sağlar. Smear tabakasının varlığı/yokluğu patların örtücülüğünü etkilemektedir. Bidar ve ark. (109) iRoot SP ve MTA Fillapex kök kanal patlarının kullanıldığı kök kanal dolumlarında smear tabakasının mevcudiyetinin veya uzaklaştırılmasının apikal örtücülüğü etkilemediğini bildirmiştir.

2.2. Kök Kanal Dolum Teknikleri

Endodontide kök kanal tedavisi mikroorganizmaları ortadan kaldırmayı, sızdırmaz bir kök kanal dolumunu ve iyi yapılmış koronal restorasyon ile yeniden enfeksiyonu

önlemeyi amaçlar (1). Kök kanalının kemomekanik preparasyonuna ek olarak kor materyali olan güta perka ve kök kanal patları ile sızdırmaz şekilde üç boyutlu olarak doldurulması başarılı kök kanal tedavisinde oldukça önem arz eder (2). Birçok kök kanal dolum tekniği ve materyali bu amaçların elde edilmesi için geliştirilmiştir. Bu teknikler aşağıdaki gibi sınıflandırılır (110).

I. Katı güta perka teknikleri

A. Tek kon tekniği

B. Soğuk lateral kompaksiyon tekniği

II. Yumuşatılmış güta perka teknikleri

A. Isı ile yumuşatma teknikleri

1. Sıcak lateral kompaksiyon tekniği (Endotec)
2. Vertikal kompaksiyon tekniği
3. Termomekanik kompaksiyon tekniği
4. Enjektale termoplastize güta perka teknikleri
 - a. Obtura (Yüksek ısı)
 - b. Ultrafil (Düşük ısı)
5. Trifekta
6. Thermafil
7. Soft-core
8. Alpha-seal
9. SuccessFil
10. Sistem B

B. Kimyasal yumuşatma teknikleri

1. Kloroperka tekniği
 - a. Johnston-Callahan tekniği
 - b. Nygard-Ostby tekniği
2. Ökaperka tekniği

III. Diğer teknikler

A. Ultrasound ile kanal doldurma tekniği

B. Basınçla enjeksiyon tekniği

2.2.1. Tek Kon Tekniği

Kök kanal duvarlarının düz ve birbirine paralel olarak tamamlandığı preparasyona sahip vakalarda kullanılan final eğesi ile aynı boyutta güta perkanın ana kon olarak seçildiği tekniktir. İlk olarak ana kon kök kanalına yerleştirilip geri çekildiğinde çekmeye karşı oluşan sıkışma hissi kontrol edilir. Güta perka kök kanalına uygun hale getirildikten sonra kök kanal duvarları pat ile kaplanır. Güta perkanın uç bölümü kök kanal patına bulanarak referans noktasına kadar yerleştirilir. Radyografi çekilerek kontrol edildikten sonra sıcak bir el aleti ile fazla güta perka koronalden kesilir (110, 111).

Son yıllarda nikel-titanyum (Ni-Ti) döner eğe sistemlerin gelişmesiyle açılı döner eğeler ile prepare edilen kök kanalları yine aynı açıya sahip tek güta perka kon ve kök kanal patları ile doldurularak yapılan kök kanal tedavilerinin uyumu ve kalitesi arttırılmak istenmiştir. Açılı tek kon tekniğinin lateral kompaksiyon tekniklerine göre kolay uygulanması ve çok daha az zaman gerektirmesi avantaj sağlamaktadır. Ek olarak lateral kompaksiyon tekniklerinde spreader kullanımına bağlı kök üzerinde oluşan kuvvet nedeniyle kök kırılması ihtimali tek kon tekniğinde oluşmaz (112). Bununla birlikte bu teknikte sıcak güta perka tekniklerindeki güta perkanın soğurken meydana gelen boyutsal büzülmenin önüne geçilmiştir (113). Açılı güta perka konlar ile yapılan kök kanal dolularında güta perka konu kök kanal duvarlarına daha yakın mesafede konumlanır. Bu nedenle homojen bir kütle oluşturularak güta perka/pat oranı arttırılmıştır (114).

Modern endodontide biyoseramik içerikli kök kanal patlarının özellikleri nedeniyle dolum teknikleri de gelişmektedir. Soğuk lateral kompaksiyon veya sıcak güta perka teknikleri gibi ana malzemesi güta perka olan dolum tekniklerinin güta perkanın büzülmesi nedeniyle boşluksuz kök kanal dolumu ve yeterli sızdırmazlık sağlamadığı sonucuna varılmıştır (5). Biyoseramik içerikli kök kanal patı güta perka yerine kök kanalının ana malzemesi haline gelmiştir ve tek başına dolumu sağlar. Bu tekniğe Bulkfill tekniği de denmektedir. Fakat çoğu zaman apikale uyumlu tek bir güta perka biyoseramik içerikli kök kanal patı enjekte edildikten sonra kök kanalına yerleştirilir. Bunun nedenleri arasında güta perkanın biyoseramik içerikli kök kanal patlarını kanala iletmek için taşıyıcı görevi görmesi ve kök kanalının yenilenmesi tedavisi gereken vakalarda güta perkanın söküm işlemini kolaylaştırmasıdır (115). Bu sayede tek kon

tekniki artık yaygın olarak kullanılmaktadır ve üç yıllık gözlemlerde retrospektif bir klinik çalışmada %90,9'luk bir başarı oranı bildirilmiştir (116).

2.3. Kök Kanal Dolum Kalitesinin Değerlendirilmesi

2.3.1. Dolum Kalitesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Görüntüleme Teknikleri

Literatürde farklı kök kanal dolum materyalleriyle gerçekleştirilen kök kanal dolumlarının kalitesinin değerlendirilmesinde farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında konvansiyonel radyografi (21), bilgisayarlı tomografi (BT), konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) (22), bölünmüş dişlerde taramalı elektron mikroskobu (TEM) ile görüntüleme ve skorlama (117) ve dişlere invaziv herhangi bir işlem uygulanmadan yapılan μ BT analiz yöntemi (118) yer almaktadır. Bu teknikler aracılığıyla kök kanal dolum materyali ile diş dokusu arasındaki boşluklar ve materyalin içindeki boşlukların oranları hesaplanmıştır (119).

Konvansiyonel radyografi, endodontik görüntüleme teknikleri içinde temel bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Fakat, kullanımının ilk yıllarından itibaren iki boyutlu görüntü elde edilip üç boyutlu görüntü elde edilememesi gibi sınırlamalara sahip olması nedeniyle daha ileri düzey görüntüleme teknikleri geliştirilmiştir (21).

Bilgisayarlı Tomografi

BT, ilk olarak tıp alanında kullanılmak üzere geliştirilmiştir daha sonrasında diş hekimliğinde de kullanılmıştır. Dokuların ince kesitler halinde, birden fazla düzlemde ve üç boyutlu olarak incelenmesini sağlayan bir görüntüleme tekniğidir. Bazı dezavantajları nedeniyle diş hekimliğindeki kullanımını azalmıştır. Bu dezavantajlar arasında yüksek maliyet, görüntü elde etme sürecinin uzunluğu, hastanın maruz kaldığı yüksek radyasyon dozu ve görüntü kalitesinin ince detayları yansıtmasının düşük olması yer almaktadır (120).

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

KIBT, karşılıklı olarak konumlandırılmış dedektör ve X ışını kaynağı, görüntülenecek nesnenin etrafında senkronize bir şekilde döner ve bu sayede 360° bir tarama gerçekleştirilir (121). Belirli açılarla, işlenmemiş ham görüntüler elde edilir. Elde

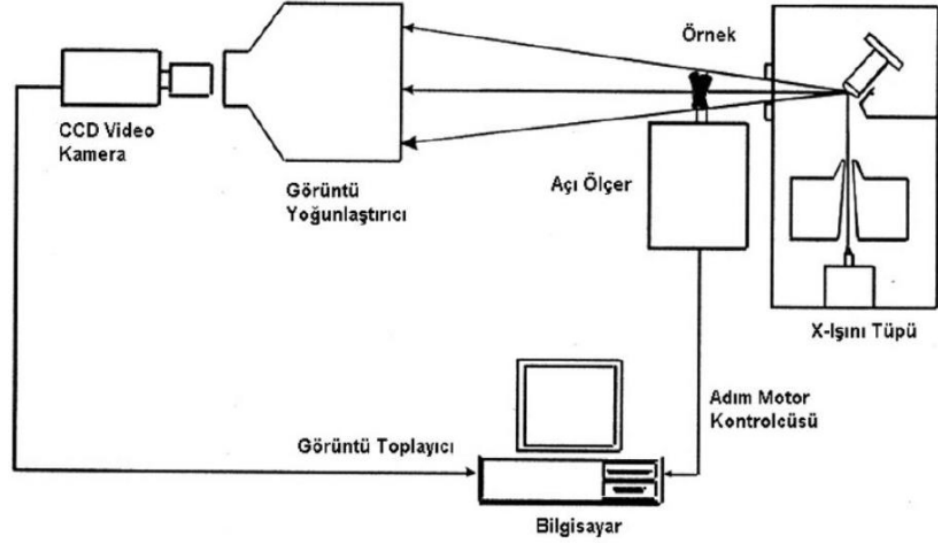
edilen bu ham görüntüler, yazılım programları aracılığıyla üç boyutlu verilere dönüştürülür (122).

Konvansiyonel radyografilerde görüntü "*piksel*" olarak adlandırılan iki boyutlu görüntünün en küçük birimlerinden oluşurken, üç boyutlu görüntüleme tekniklerinde görüntü "*voksel*" adı verilen birimlerden meydana gelir. Her bir voksel karşılık geldiği bölgenin absorbe ettiği X ışını miktarına göre nicel bir değere sahiptir. KIBT görüntüleri, voksellerin birleşerek oluşturduğu bir matriks yapısına dayanır. Bu matriks, yazılım programı tarafından gri tonlarda renklendirilerek görselleştirilir (123). Rekonstrüksiyon işlemi olarak adlandırılan bu aşamanın ardından, görüntü üç boyutlu bir biçimde oluşturulur (124).

KIBT endodontik uygulamalarda kök rezorpsiyonları, kök kırıkları ve perforasyonlarının tespitinde, kök kanal morfolojisinin incelenmesinde, periradiküler lezyonların değerlendirilmesinde ve *in vitro* çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu görüntüleme tekniğinde elde edilen ölçümler gerçek boyutlarda olup, komşu anatomik yapıların süperpozisyonu oluşmaz (121). Bununla birlikte KIBT'nin dezavantajları da bulunmaktadır. Görüntülerde X ışınına bağlı olarak oluşan artefaktlar nedeniyle hekimleri yanıltılabilmektedir (23). Ayrıca, KIBT'de hastaya verilen radyasyon dozu konvansiyonel radyografilere göre daha fazla olmasına rağmen BT'ye göre daha azdır (125).

Mikro-Bilgisayarlı Tomografi

μ BT, ilk kez 1982 yılında Jim Elliot tarafından 50 μ çözünürlük özelliğiyle geliştirilmiştir (126). μ BT, temel olarak BT ile benzer özelliklere sahip bir görüntüleme tekniğidir. μ BT cihazı X ışını tüpü, inceleme yapılacak örneği sabitleyen adım motoru, X ışınlarını toplayıp kamera üzerindeki sensöre yönlendiren görüntü yoğunlaştırıcı, görüntü oluşturan CCD kamera, görüntü toplama birimi ve kontrol merkezi olarak görev yapan bir bilgisayardan oluşmaktadır (127) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. µBT şematik diyagramı

µBT kesitleri mikron düzeyinde inceleyerek çözünürlüğü yüksek görüntüler elde etmek amacıyla geliştirilmiştir (126). µBT’de X ışını ile incelenen örnek, bir platform etrafında 0 ile 180° arasında döndürülerek çok sayıda kesit görüntüleri elde edilir. Bu görüntüler çeşitli yazılım programları kullanılarak üç boyutlu verilere dönüştürülür. Bu işleme "*3D rekonstrüksiyon*" denir (128).

Endodontik uygulamalarda µBT kök kanal morfolojisinin incelenmesinde (25, 129-131), kök kanal hacminin ölçülmesinde, kök kanal preparasyonunun (26, 132) ve kök kanal dolununun değerlendirilmesinde (133), kanal dolum yüzdesinin belirlenmesinde (27), kök kanal tedavisinin yenilenmesi sırasında kök kanalı içindeki kalan dolum materyalinin incelenmesinde (134, 135) ayrıca kök kanal dolum materyalinin ekstrüzyonunun belirlenmesinde (28) kullanılmaktadır.

µBT diğer tekniklerle karşılaştırıldığında çeşitli avantajlar sunar. Taramalı elektron mikroskobu (TEM), stereomikroskopi ve konfokal lazer mikroskobu yüzeysel analiz için kullanılabilir, ancak örneklerin kesilmesi gerekliliği olmadan üç boyutlu görüntüler elde edilemez. Bu mikroskobik tekniklerin aksine µBT, örneğin tahrip edilmeden noninvaziv şekilde analizine izin verir (136). Tekrarlanan tarama olanağı özellikle preparasyon öncesi ve sonrası hacmin, kök kanal dolununun kalitesinin veya

kök kanalından materyal uzaklaştırılmasının değerlendirilmesi gerektiğinde değerli veriler sunar.

μ BT'nin sınırlaması, yüksek radyasyon dozuna maruz kalınması nedeniyle *in vivo* çalışmalarda kullanılamamasıdır. Ayrıca, μ BT sınırlı boyuttaki örneklerin incelenmesine izin verir. Bunun yerine, düşük çözünürlüğe rağmen μ BT kadar noninvaziv kabul edilen KIBT da kullanılabilir (137). KIBT, μ BT ile karşılaştırıldığında tarama için daha hızlı olma avantajı vardır ve sonuç olarak radyasyon dozu daha düşüktür (138). KIBT bu özelliği sayesinde klinik araştırmalarda ve hayvanlarda *in vivo* çalışmalarda analize olanak tanır (139, 140). μ BT daha düşük voksel boyutu nedeniyle daha yüksek çözünürlüğe sahiptir (138). Bilimsel araştırmalar için yapılan analizde zamandan daha önemli olan çözünürlük ve görüntü kalitesidir. Bu yüzden KIBT *in vivo* analiz için endike olmasına rağmen, μ BT *in vitro* laboratuvar araştırmaları için daha çok önerilir.

2.4. Apikal Ekstrüzyon

Apikal ekstrüzyon; kök kanal tedavisi esnasında vital veya nekrotik pulpa dokusunun, mikroorganizmaların, seanslar arası kullanılan kanal içi medikamentlerin, irrigasyon solüsyonlarının veya kök kanal dolum materyallerinin apikal foramen dışına çıkması olarak tanımlanmaktadır (141). Apikal ekstrüzyon, postoperatif ağrı, şişlik, doku hasarı, periapikal iyileşme gecikmeleri ve akut alevlenmeler gibi çeşitli klinik komplikasyonlara yol açabilmektedir (7, 8). Periapikal dokulara itilen yabancı maddeler, hücre aracılı veya humoral immünolojik yanıtları tetikleyebilir (141). Periapikal dokuların bütünlüğü bozabilecek her türlü fiziksel veya kimyasal irritasyon, periapikal bölgede reaksiyon başlatma potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, kök kanal preparasyonu, irrigasyonu ve dolumunun kök kanal sistemi içinde sınırlı tutulması, özellikle inflamatuvar ve immünolojik reaksiyonların tetiklenmesinin önlenmesi açısından büyük bir önem teşkil etmektedir (142). Bu nedenle, apikal ekstrüzyon riskini minimize etmeye yönelik olarak endikasyona uygun kök kanal irrigasyonu, preparasyonu ve dolum tekniği klinik uygulamalarda dikkatle seçilmelidir.

2.4.1. Apikal Ekstrüzyonu Etkileyen Faktörler

İğne Dizaynı

Kök kanal irrigasyonu sırasında kullanılan iğne dizaynı irrigasyon solüsyonunun akış hızını, penetrasyonunu, etkinliğini, kök kanal duvarlarına uyguladığı basıncı ve apikal ekstrüzyon miktarını etkilemektedir (143). Endodontide apikal ekstrüzyon miktarını azaltmaya yönelik çeşitli iğne modifikasyonları geliştirilmiştir. Geleneksel uçtan perfore metal iğneler yerine, uç kısmı kapalı veya açık olan modifiye edilmiş iğneler kullanılmaya başlanmıştır.

Yapılan çeşitli çalışmalar açık uçlu iğnelerin, kapalı uçlu ve yandan perfore iğnelere kıyasla periapikal bölgeye daha fazla debris ve irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonunu göstermektedir (32, 33). Kapalı uçlu iğneler, apikal foramene kıyasla kök kanal duvarlarında daha fazla basınç oluşturur ve irrigasyon solüsyonunun geri akışına izin vererek apikal ekstrüzyon riskini azaltır (144). Bununla birlikte, apikal ekstrüzyon miktarını minimize etmek amacıyla kullanılan kapalı uçlu iğneler, kök kanallarının apikal açıklığının fazla olması veya kök kanal anatomisinin oval şekilli olması gibi faktörler nedeniyle apikal ekstrüzyonu tamamen engelleyememektedir (33).

Günümüzde minimal invaziv tedavi anlayışıyla daha az koniklikle şekillendirilen kök kanallarında, standart iğnelerin kullanımı irrigasyon solüsyonlarının apikal bölgeye ulaşmasını engellemektedir. Bu dezavantajı elimine etmek amacıyla, eğimli ve dar kök kanallarına uygun esnek plastik iğne uçları geliştirilmiş olup kullanımı tavsiye edilmektedir.

İğne Yerleştirme Derinliği

İğne ucu periapikal bölgeye yaklaştıkça apikal ekstrüzyon olasılığı artmaktadır (145). İğne ucunun kök kanalı içinde mümkün olduğunca derine yerleştirilip dikkatli bir şekilde kullanılması, kök kanalından debrisin uzaklaştırılması ve etkili bir dezenfeksiyon sağlanması açısından önemlidir (146). Kapalı uçlu iğneler, apekten yaklaşık 1 mm uzaklıkta yerleştirildiğinde ve iğnenin kanal içerisinde sıkışmasını önleyecek şekilde ileri-geri hareket ettirilerek solüsyon verildiğinde, yeterli ve güvenli bir irrigasyon sağlanabilmektedir. Açık uçlu, eğimli, çentikli ve düz uca sahip iğnelerin

ise apeksten 2-3 mm uzaklıkta yerleştirilmesinin, kanal içinde yeterli akış ve güvenlik sağlayabileceği öne sürülmüştür (147).

İğne Çapı

İğnelerin iç ve dış çapları, standart ölçü birimi olan gauge (G) ile ifade edilmektedir. Gauge arttıkça, iğnenin iç ve dış çapları küçülmektedir. Bu bağlamda, 30 G'luk bir uç, 27 G'luk iğne ucuna göre daha ince bir çapa sahiptir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Tıbbi kullanım için tasarlanmış paslanmaz çelik iğnelerin çapları (ISO-9626/ 2001 şartnamesine göre)

Gauge	İğne ucu çapı (mm)
21	0,8
23	0,6
25	0,5
27	0,4
30	0,3

Kök kanal preparasyonunda, irrigasyon solüsyonunun kök kanalı boyunca etkinlik gösterebilmesi için, irrigasyon iğnesinin kök kanalına uygun çapta seçilmesi önemlidir. Kök kanallarının apeksi genellikle 0,5-2 mm çapındadır. Kök kanal tedavisinde 27 G'luk iğne, yalnızca kök kanal preparasyonunun sonunda apikal üçlüye ulaşabilmektedir (148). Bu durum, preparasyon aşamasında eğeler arasında etkili bir yıkamanın sağlanamamasına yol açmaktadır. Çapı küçük olan iğneler, kök kanallarından mikroorganizma ve debris kalıntılarının daha etkin uzaklaştırılmasına katkı sağlamaktadır ve kök kanalının daha derinlerine nüfuz edebilmektedir (144, 148).

İğnenin Aktivasyonu

İrrigasyon sırasında, iğnenin aşağı-yukarı hareketi ile iğne ucunun kanal içinde sıkışması engellenir ve debrisin koronale doğru yer değiştirmesi sağlanır (149). Bununla birlikte, iğnenin aşağı-yukarı hareketi, periapikal bölgede basıncın artmasına yol açabilir ve irrigasyon solüsyonlarının apikal bölgeden dışarıya ekstrüzyonuna neden olabilir. İğne ve kanal duvarları arasında yeterli mesafe mevcutsa, aşağı-yukarı

harekette apikale yönlendirilen irrigasyon solüsyonu, bu aralıktan koronale doğru yönlenererek basınç dengesinin sağlanmasına yardımcı olur (150).

Apikal Çap

Apikal patensi, apikal kısmın debrisle tıkanmasını engellemek amacıyla kök kanalının apikal daralımını bozmadan, çalışma uzunluğundan 1 mm daha uzun olacak şekilde, küçük çaplı K tipi el eğeleri ile apikal açıklığın kontrol edilmesidir. Bu amaçla sıklıkla #10, #15 veya #20 numaralı K tipi el eğeleri kullanılmaktadır (151).

Apikal patensi sağlandığında irrigasyon solüsyonlarının kök kanalının apikal bölümünü daha etkili temizlediği bildirilmiştir (152). Bununla birlikte, başka bir çalışmada apikal patensinin uygulandığı ve uygulanmadığı dişler arasında apikal ekstrüzyon miktarlarında önemli farklar gözlemlenmiş; apikal patensinin sağlanmasının ekstrüzyon miktarını artırdığı bildirilmiştir (153).

Apikal çap preparasyonun #40 boyutundan küçük tutulduğu durumlarda, geleneksel iğne irrigasyonunun etkinliğinin daha az olduğu bulunmuştur (154). Bununla birlikte, daha büyük apikal çap preparasyonu yapmanın daha fazla debris, mikroorganizma, irrigasyon solüsyonu ve kök kanal dolum materyallerinin ekstrüzyon olasılığından endişelenilmiştir. Mitchell ve ark. (17) daha büyük apikal çaplarda olan preparasyonun daha sık irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonuna sebebiyet verdiğini bildirmiştir. Fakat, Chang ve ark. (35) ise preparasyonda apikal çap boyutu arttırmanın irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu riskini azalttığını bildirmiştir ve bunun nedenini irrigasyon solüsyonu akışının daha geniş kanallarda daha iyi olup iğne ucu civarında oluşan geri basıncın azalmasıyla açıklamıştır. Silva ve ark. (29) ise daha büyük apikal çap preparasyonun debris ekstrüzyonunu etkilemediğini bildirmiştir. Bununla birlikte Cuellar ve ark. (155) apikal çapın bakteriyel ekstrüzyon üzerinde etkisi olmadığını rapor etmiştir.

Çalışma Uzunluğu

Kök kanal uzunluğunun ve çalışma boyunun net olarak belirlenmesi kök kanal tedavisinin prognozu için önemli olmakla birlikte kök kanal preparasyonunun apikal bitim noktası endodontinin tartışmalı konularından biridir (156, 157). Nekrotik pulpalı dişlerde apikal foramene kadar preparasyon yapılması önerilmektedir (158, 159).

Apikal foramene kadar yapılan preparasyon, geleneksel şekillendirme yöntemlerine kıyasla daha fazla debris, mikroorganizma ve irrigasyon solüsyonunun apikal bölgeden ekstrüzyonuna yol açabilir. Bu durum periapikal dokularda enflamasyonu tetikleyebilir, postoperatif ağrı ve periapikal bölgenin iyileşmesinde gecikmelere neden olabilir. Ayrıca, akut alevlenme durumundan da sorumlu tutulabilir (160).

Kök Kanal Eğimi

Apikal ekstrüzyon çalışmalarında 5°-10°'den az eğime sahip nispeten düz ve tek köke sahip dişler tercih edilmektedir. Düz kök kanallarında preparasyonla oluşan debrislerin irrigasyon ile koronale doğru hareketinin, eğimli kök kanallarına göre kolay olduğu bildirilmiştir. Bu nedenle kök kanal eğiminin apikal ekstrüzyon üzerinde önemli rol oynadığı rapor edilmiştir (161). Buna rağmen eğimli kök kanallarında, iğnenin uç kısmı apikal eğime ulaşabiliyor ise irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonun düz kök kanallarına benzer olduğu bildirilmiştir (33).

Preparasyon Tekniği

Kök kanallarının preparasyonu kök kanalın orijinal formunun korunması ve apikal daralım noktasının bozulmaması gibi çeşitli prensiplere dayanmaktadır. Preparasyon, dezenfeksiyon ve dolum işlemleri apikal foramen sınırları içerisinde kalmalı, periapikal bölgeye herhangi bir materyal taşmamalıdır (162).

Kök kanal preparasyonu için çok sayıda teknik olmasının yanında apikal bölgede genişletmeyi öncelikle yapan ve koronal bölgedeki genişletmeyi öncelikle yapan olmak üzere temelde iki yaklaşım vardır. Apikalden koronale genişletme yapan başlıca teknikler standardize preparasyon tekniği, step-back tekniği, balanced-force teknikleridir. Koronalden apikale genişletme yapan başlıca teknikler step-down tekniği, crown-down teknikleridir. Tüm preparasyon tekniklerinin apikal debris ekstrüzyonuna neden olduğu gösterilmiştir (163). Crown-down tekniğinin, el veya döner eğelerin kullanılmasına bakılmaksızın, diğer tekniklere kıyasla genellikle daha az debris ekstrüzyonuna neden olduğu ve bu yüzden enfekte kök kanallarının preparasyonu için tercih edildiği bildirilmiştir (160).

2.4.2. Apikal Ekstrüzyon Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Teknikler

Apikal ekstrüzyon miktarının kantitatif olarak belirlenmesi amacıyla araştırmacılar farklı *in vitro* çalışma düzenekleri ve teknikleri geliştirmişlerdir. En çok kabul gören ve tercih edilen düzenek Myers ve Montgomery (36) tarafından geliştirilmiştir. Bu düzenekte, diş kauçuk bir kapağa oturtulup sabitlenir. Kauçuk kapak, ekstrüze olan debris ve irrigasyon solüsyonlarının biriktirilebileceği küçük bir cam şişeye yerleştirilir. Son olarak tüm düzenek cam şişeye sabitlenir. Genellikle 25 G'luk bir enjektör iğnesi kauçuk kapaktan geçirilerek iç ve dış basınç eşitlenmeye çalışılır. Debris toplama işlemi için cam şişe yerine eppendorf tüplerinin kullanımı yaygın olup dişler plastik kapaklara otopolimerizan akrilik gibi ajanlarla sabitlenerek kökleri tüp içerisine sarkıtılır (36-38). İşlem öncesinde ve sonrasında içinde debris ve/veya irrigasyon solüsyonu biriken kap, hassas bir terazi ile tartularak aradaki fark hesaplanır ve bu şekilde ekstrüze olan materyalin miktarı kantitatif olarak belirlenir (2, 29-31).

Alternatif olarak, ekstrüze olan solüsyon miktarı mikropipetler yardımıyla da belirlenebilir. Bu teknikte, araştırmacılar sadece debris değil, aynı zamanda irrigasyon solüsyonunun miktarını da kantitatif olarak ölçmüşlerdir (39, 40).

Altundaşar ve ark. (32) periapikal dokuyu taklit edebilmek amacıyla her bir dişin kök ucuna, küp şeklinde bir çiçek köpüğü parçası yerleştirmiştir. Kemomekanik preparasyon işlemi sonrasında, dişler kurutularak köpük küpleri deney düzeneğinden ayrılmıştır. Her bir köpük küpünün ağırlığı, hassas teraziyle ölçülmüş ve işlem öncesindeki ağırlık ile fark alınarak ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu ve debris miktarları kantitatif olarak belirlenmiştir.

Ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarını belirlemek amacıyla pH değişimine duyarlı indikatörlerden de faydalanılabilir. M-creosol purple, pH 7.4'ten pH 9.0'a doğru yükseldikçe sarıdan mora doğru renk değişikliği gösteren bir asit-baz indikatörüdür. pH 11.4 olan NaOCl'nin ekstrüzyonu ile agar jel içerisinde mora doğru bir renk değişikliği gözlemlenir. Bunun dışında, m-creosol purple haricinde farklı asit-baz indikatörleri de kullanılabilir (164). Dijital kamera ile agar jel fotoğrafları. Renk değişikliği meydana gelen alan, program ile piksel cinsinden analiz edilir (15, 34, 41).

Ekstrüze olan irrigasyon solüsyonu miktarı spektrofotometrik analiz tekniği ile de belirlenebilir. Spektrofotometre, ışık kaynağının dalga boyunu ve yoğunluğunu ölçebilen bir cihaz olup, belirli dalga boylarındaki ışık emilimini değerlendirir. Kontrol veya kalibrasyon verilerine dayanak, emilinen ışığın dalga boyları aracılığıyla hangi maddelerin ne kadar bulunduğu tespit edilebilir. Spektrofotometrik analizde indikatör olarak iyodin (42), m-creosol purple (43) ve taurin (44) kullanılabilir.



3. GEREÇ ve YÖNTEM

Farklı apikal çaplara sahip tek köklü dişlerde farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patının kök kanal dolum kalitesine ve apikal ekstrüzyona etkisinin değerlendirildiği mevcut tez çalışmasının etik kurul onayı, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik ve Gözlemsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından, 16/10/2024 tarihinde ve 2/2 sayılı karar ile alındı (Ek-1). Çalışmada örneklerin hazırlanması Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesinde, μ BT görüntülemesi ve analizi Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Bilimsel Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirildi.

Örneklem büyüklüğü Windows için G*Power 3.1.9.7 yazılımı (Heinrich Heine, Düsseldorf Üniversitesi, Düsseldorf, Almanya) ile ve benzer çalışma referans (19) alınarak belirlendi. 0,40 etki büyüklüğü, 0,85'lik güç ve 0,05'lik alfa hata payı ile toplam 60 örnek sayısı olması gerektiği belirlendi. Deneysel tasarımı özetleyen bir diyagram Şekil 3.1'de sunuldu.

3.1. Çalışmada Kullanılacak Dişlerin Seçimi

Çalışmada ortodontik ve periodontal sebeplerle çekilmiş tek köklü 60 adet mandibular premolar diş kullanıldı. Hastaların hiçbirinden çalışma amaçlı diş çekilmedi. 5°-10°'den az kök eğimine sahip (165) , kök ucu kapalı, köklerinde kırık, çürük ve perforasyon bulunmayan, benzer boy ve ebatlarda dişler seçildi. Dişlerin tek kök ve tek kanallı olduklarını doğrulamak, eksternal, internal rezorpsiyon varlığını elimine etmek ve daha öncesinde kanal tedavisi yapılmamış olduğundan emin olmak için hepsinin bukko-lingual ve mezio-distal yönlerde radyografik görüntüleri alındı. Dişler üzerlerindeki yumuşak ve sert doku artıkları periodontal küret yardımıyla temizlenerek, çalışma için kullanılabilecek kadar serum fizyolojik içerisinde bekletildi. Çalışmada kullanılacak dişlerin standardizasyonunu sağlamak için kökleri 14 ± 1 mm kalacak şekilde kronları elmas separe (Horico Dental, Berlin, Almanya) ile düzleştirilerek uzaklaştırıldı. Endodontik sond ile kanal ağzları lokalize edildi. Ardından #10 K tipi eğe ile apikal açıklık kontrol edildi. Apikal patensi sağlanamayan dişler ve apikal forameni #15 K tipi eğeden büyük olan dişler çalışma dışı bırakıldı.



Şekil 3.2. Dekorone edilmiş dişler

3.2. Dişlerin Kök Kanallarının Şekillendirilmesi

Dişlerin stereomikroskop altında çalışma boyları tespit edildi. Dişler dekorone edildikten sonra kemomekanik preparasyonu X-Smart Plus Endomotor (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ile Smart Gold 25/.04, 30/.04 ve Touch Gold 25/.06 döner eğe sistemi (EndoArt, İstanbul, Türkiye) üretici firmanın talimatlarına uygun olacak şekilde 300 rpm ve 200 g/cm torkta kullanılarak tamamlandı (Şekil 3.2). Apikal çapları 25/.04, 25/.06, 30/.04 olarak 3 grup olacak şekilde bitirildi. Her eğe değişiminde 2 mL hacminde %5'lik NaOCl kullanılarak irrigasyon yapıldı ve #10 K tipi el eğesi ile apikal patensi sağlandı.



Şekil 3.3. X-Smart Plus endomotor, Smart Gold ve Touch Gold döner eğe sistemi

3.3. Deney Düzeneginin Hazirlanmasi

Dişlerin her birinin apeksi hizasına siyanoakrilat (Pattex Ultra Jel, Henkel, Almanya) ile 4 mm çapında küreler sabitlendi (Şekil 3.3). Bu küreler iki taraflı açıklığa sahip olup açıklığın bir tarafı apeks hizasına denk getirilerek dışarıdan jel formundaki siyanoakrilat ile sabitlendi (Şekil 3.4). Daha sonra dişlerin tüm dış yüzeyi mine sement sınırına kadar 1cm × 1cm × 2cm boyutlarında c tipi silikon (Zetaplus, Zhermack, Rovigo, İtalya) ile buz kalıbı içerisinde kaplandı. Silikon polimerizasyonundan sonra dişler kalıptan çıkarılmış, apikallerdeki küre presel yardımıyla apeksten ayrıştırıldı.

Silikon modeller hazırlandıktan sonra smear tabakasını uzaklaştırmak için 3 mL %17'lik EDTA solüsyonu 1 dk kanal içerisine uygulandı. Son yıkama 3 mL %5'lik NaOCl ve 3 mL distile su kullanılarak tamamlandı. Son yıkama solüsyonları bir ultrasonik cihaz (EndoArt, İstanbul, Türkiye) ile her biri 10 sn olmak üzere 3 kez aktive edildi. Biyoseramik içerikli kök kanal patı kullanılacağı için kağıt konlar (Pearl Endo, Ho Chi Minh, Vietnam) yardımıyla kök kanallarının nemi alındı. Aşırı kurutulmamaya dikkat edildi.

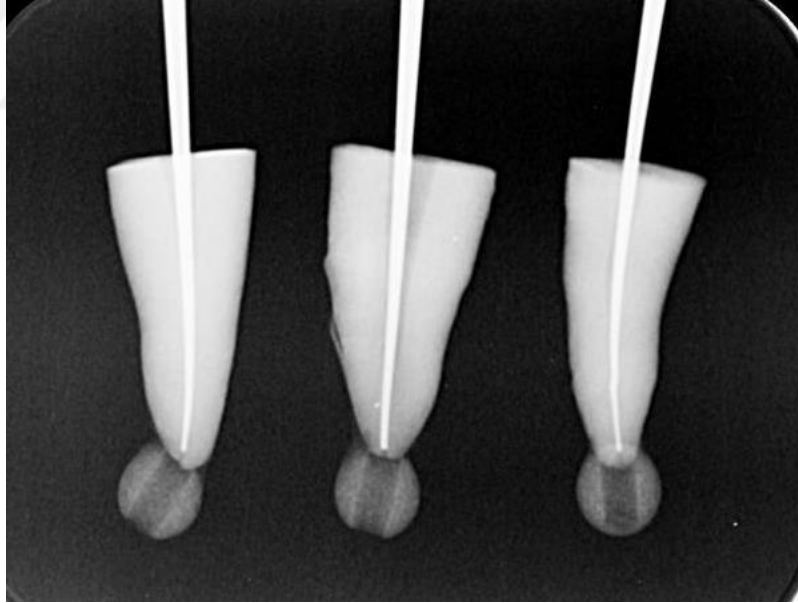
Kürenin oluşturduğu boşluk ($33,5 \pm 1 \text{ mm}^3$) agar jeli ile kaplandı. Agar jel donduktan sonra dış yüzeyi diş eti bariyeri (OpalDam, Ultradent, ABD) ile kapatıldı. Dişler ve silikon modeller arasındaki boşluk diş eti bariyeri ile kapatıldı.



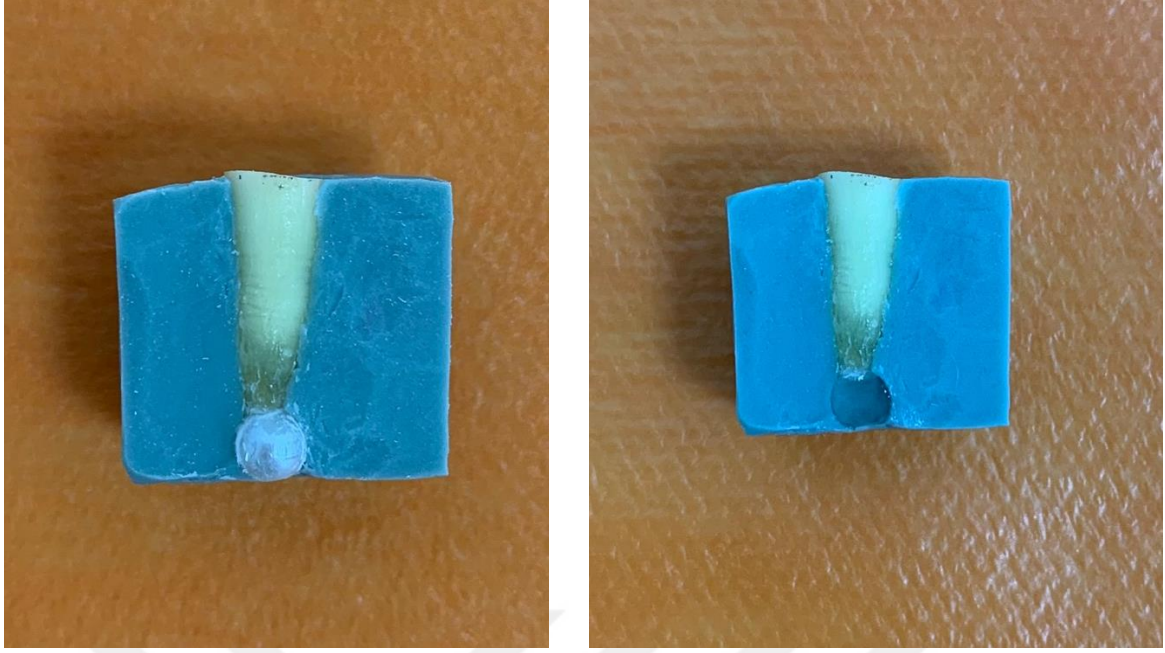
Şekil 3.4. Jel formdaki siyanoakrilat



Şekil 3.5. Kürelerin dişlerin apekslerine sabitlenmesi



Şekil 3.6. Yerleştirilen kürelerin periapikal radyografisi



Şekil 3.7. (a), (b) Hazırlanan silikon modellerin koronal kesitleri

- (a) Küre yerleştirildikten sonra alınan kesit
- (b) Agar jel yerleştirildikten sonra alınan kesit

3.4. Deney Gruplarının Oluşturulması

60 adet çekilmiş insan mandibular premolar dişi, kök kanallarının apikal çaplarına göre biyoseramik içerikli kök kanal patı ile doldurulmak rastgele 3 ana gruba ayrıldı. ($n=20$) Her ana grup da biyoseramik içerikli kök kanal patının uygulanma seviyesine (apikalden 4 ve 7 mm mesafede) göre kendi içinde rastgele 2 alt gruba ayrıldı ($n=10$). Grupların oluşturulmasında bir bilgisayar dizi oluşturma aracı (www.random.org) kullanıldı.

3.5. Kök Kanallarının Doldurulması

Biyoseramik içerikli kök kanal patının (Bioserra, Dentac, İstanbul, Türkiye) kendi şırıngasının apikal çapının geniş olması ve apikale 4 mm kalacak mesafeye ulaşamaması sebebiyle, patın kök kanallarına iletilmesinde 30 G plastik irrigasyon ucu (EndoArt, İstanbul, Türkiye) kullanıldı (Şekil 3.8). Biyoseramik içerikli kök kanal

patının uygulama ucunu simüle etmek için, çift delikli olan plastik irrigasyon ucunun 0,5 mm'lik uç kısmı, bistüri ile kesilerek tek uçlu hale getirildi. Biyoseramik içerikli kök kanal patı enjekte edilmeden önce, şeffaf olan uygulama kanülünün tam uç kısmına geldiği görüldü. Uygulama kanülünün stoperi, patın uygulanacağı kök seviyesine göre apikal bölgeyi temsil eden, apikalden 4 mm mesafede ve kökün orta üçlüsünü temsil eden, apikalden 7 mm mesafede boyu ayarlanarak, ortalama 0,1 birim/saniye hızda kanal ağzında görülene kadar tek bir operatör tarafından (B.K.) enjekte edildi. Apikal şekillendirmeye uyumlu güta perka kon (EndoArt, İstanbul, Türkiye) kök kanalına basınç uygulamadan nazikçe yerleştirilmiş ardından sıcak bir el aleti ile kesildi. Daha sonra kanal ağzı cam iyonomer siman (Novoseal, President Dental, Almanya) ile kapatıldı. Kök kanal dolumu tamamlandıktan sonra dişler 37 °C'de %100 nemli ortamda yedi gün bekletilerek kök kanal dolum materyalinin sertleşmesi beklendi.



Şekil 3.8. Biyoseramik içerikli kök kanal patı



Şekil 3.9. Plastik irrigasyon ucu

3.6. Dişlerin µBT ile Görüntülenmesi ve Analizi

Her dişin kök kanal dolumu ve apikalden ekstrüze edilen materyal, 60 kV, 166 µA ve 21 µm'lik bir voksel boyutunda çalışan bir mikrotomografi (SkyScan 1272; Bruker Mikro-BT, Kontich, Belçika) kullanılarak hacimsel bir analize tabi tutuldu. Görüntü edinimi ve iki boyutlu projeksiyondan sonra, kesitler NRecon yazılımı, v.1.7.4.2 (Bruker) kullanılarak yeniden oluşturuldu. Ekstrüze olan materyalin hacmini mm³ cinsinden ölçmek için ve kök kanallarının dolum yüzdesini bulmak için CTAn yazılımı, v.1.18.4.0 (Bruker) kullanıldı. Kök kanallarının dolum yüzdesi kök kanal dolum hacminin, kök kanal dolum ve kök kanallarında boş kalan hacme oranlanmasıyla hesaplandı.

3.7. İstatiksel Analiz

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, kök kanal dolum yüzdesine ilişkin gruplar arası karşılaştırmalarda One-Way ANOVA ve Post Hoc Tukey testleri, grup içi karşılaştırmalarda ise bağımsız örneklem için t-testi kullanıldı. Apikal ekstrüzyon değişkeninde sıfır değerlerinin belirgin şekilde fazla olması, verinin dağılımında çarpıklığa neden olmuştur. Bu nedenle, analizlerin daha sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi adına bu değişken kategorik forma dönüştürüldü. Apikal ekstrüzyona

ilişkin grup içi ve gruplar arası karşılaştırmalarda Ki-kare testi uygulandı ve sonuçlar Bonferroni testi ile doğrulandı. Tüm istatistiksel analizler, IBM SPSS yazılımı (v.20.0) kullanılarak %5 anlamlılık düzeyinde ($P \leq 0,05$) gerçekleştirildi.



4. BULGULAR

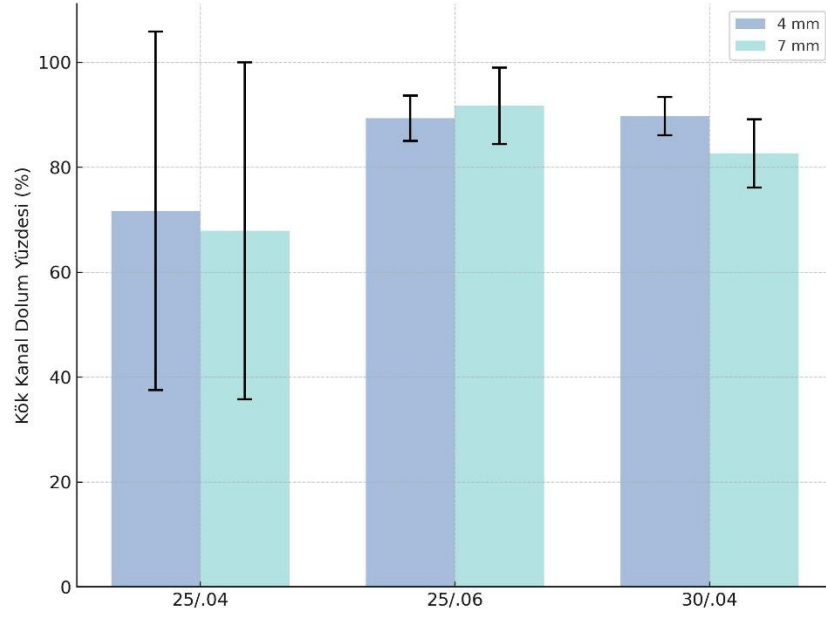
4.1. Kök Kanal Dolum Yüzdesi Bulguları

Farklı apikal çaplarda, farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patı ile kök kanal dolumu sonrası, kök kanal dolum yüzdeleri Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Farklı apikal çaplarda, farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patı ile kök kanal dolumu sonrası, 4 mm kök seviyesinde kök kanal dolum yüzdesi açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. 7 mm kök seviyesinde ise 25/.06'da, 25/.04'e göre istatistiksel olarak daha fazla kök kanal dolum yüzdesi bulundu ($P < 0,05$), ancak 25/.04 ile 30/.04 arasında ve 25/.06 ile 30/.04 arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı. Grup içi karşılaştırmada kök kanal dolum yüzdesi açısından, 25/.04 ve 25/.06'da her iki kök seviyesinde de istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. 30/.04'de 4 mm kök seviyesinde ise anlamlı olarak daha fazla kök kanal dolum yüzdesi bulundu ($P < 0,05$).

Tablo 4.1. Farklı apikal mesafelerde uygulanan patın, kök kanal dolum yüzdesinin (%) ortalama ve standart sapma değerleri (Ort \pm SS)

Gruplar	4 mm	7 mm
25/.04	71,68 \pm 34,14 ^{Aa}	67,87 \pm 32,08 ^{Ba}
25/.06	89,30 \pm 4,32 ^{Aa}	91,69 \pm 7,26 ^{Aa}
30/.04	89,72 \pm 3,64 ^{Ab}	82,63 \pm 6,51 ^{ABa}

*Aynı sütunda üst simge olarak gösterilen farklı büyük harfler (A, B, C) ve aynı satırda bulunan küçük harfler (a,b,c) istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.



Şekil 4.1. Farklı apikal mesafelerde uygulanan patın, kök kanal dolum yüzdesinin (%) ortalama ve standart sapma değerleri (Ort ± SS)

4.2. Apikal Ekstrüzyon Bulguları

Farklı apikal çaplarda, farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patı ile kök kanal dolumu sonrası apikal ekstrüzyon miktarları Tablo 4.2’de, kategorileştirilen apikal ekstrüzyon yüzdeleri ise Tablo 4.3 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Farklı apikal çaplarda, farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patı ile kök kanal dolumu sonrası, 4 mm kök seviyesinde uygulanan patın apikal ekstrüzyonunda gruplar arası değerlendirmede istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı. 7 mm kök seviyesinde ise, 30/04’de 25/06’ya göre istatistiksel olarak daha az apikal ekstrüzyon gösterdi ($P < 0,05$), diğerleri arasında fark bulunmadı.

Grup içinde, 25/04’de, 4 mm kök seviyesinde apikal ekstrüzyonun %90’ı kategori 2 (0,1–1 mm³ arası), %10’u ise kategori 3 (1,1–2 mm³ arası) düzeyinde gözlemlendi. 7 mm kök seviyesinde, %60 oranında kategori 1 (0 mm³ ekstrüzyon), %30 oranında kategori 2 ve %10 oranında kategori 4 (2,1–3 mm³ arası) düzeyinde apikal ekstrüzyon tespit edildi.

25/06’da, 4 mm kök seviyesinde %60 oranında kategori 2, %30 oranında kategori 3 ve %10 oranında kategori 1 düzeyinde apikal ekstrüzyon belirlendi. 7 mm seviyesinde

ise %80'i kategori 2, %10'u kategori 1 ve %10'u kategori 3 düzeyinde apikal ekstrüzyon görüldü.

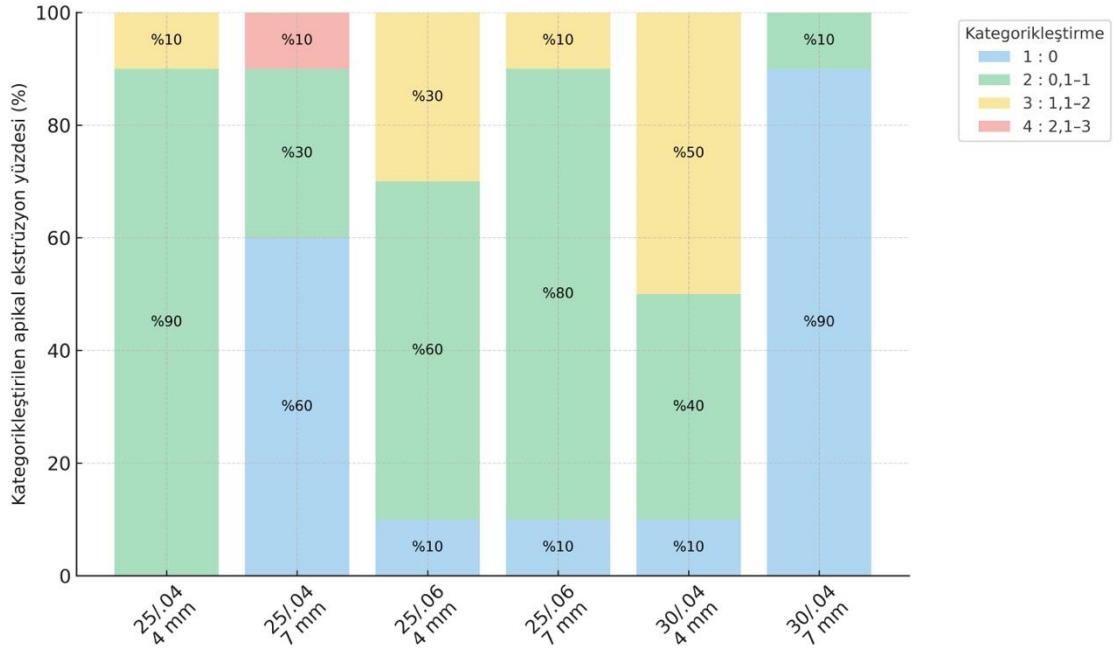
30/.04'de, 4 mm kök seviyesinde %50 oranında kategori 3, %40 oranında kategori 2 ve %10 oranında kategori 1 düzeyinde apikal ekstrüzyon belirlendi. 7 mm kök seviyesinde ise %90 oranında kategori 1 ve %10 oranında kategori 2 düzeyinde apikal ekstrüzyon gözlemlendi.

Tablo 4.2. Farklı apikal mesafelerde uygulanan kök kanal patının apikal ekstrüzyon miktarının (mm^3) ortalama değerleri

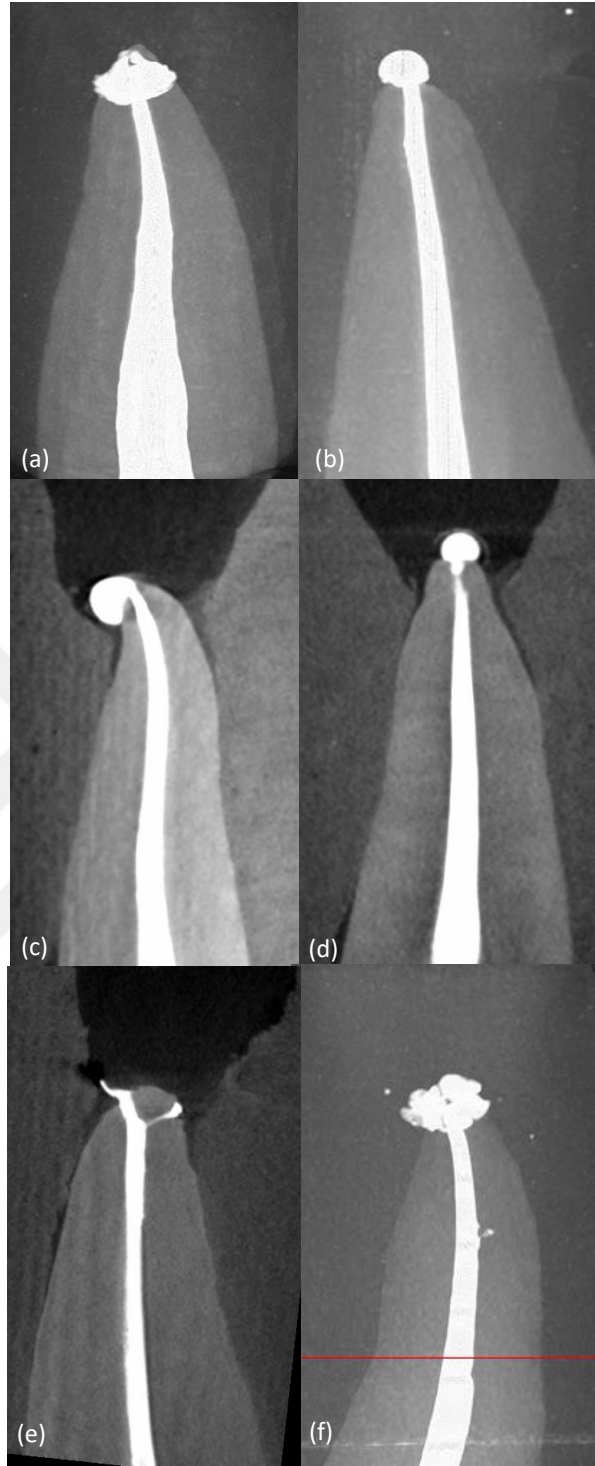
Gruplar	4 mm	7 mm
25/.04	0,64	0,36
25/.06	0,87	0,48
30/.04	0,85	0,05

Tablo 4.3. Farklı apikal mesafelerde uygulanan kök kanal patının kategorikleştirilen apikal ekstrüzyon yüzdeleri

Gruplar	Kök seviyesi	1 (0 mm^3)	2 (0,1–1 mm^3)	3 (1,1–2 mm^3)	4 (2,1–3 mm^3)
25/.04	4 mm	%0	%90	%10	%0
25/.06	4 mm	%10	%60	%30	%0
30/.04	4 mm	%10	%40	%50	%0
25/.04	7 mm	%60	%30	%0	%10
25/.06	7 mm	%10	%80	%10	%0
30/.04	7 mm	%90	%10	%0	%0

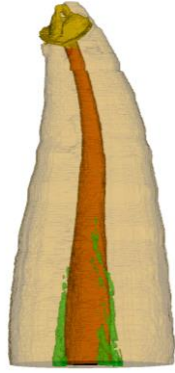


Şekil 4.2. Farklı apikal mesafelerde uygulanan kök kanal patının kategorikleştirilen apikal ekstrüzyon yüzdeleri

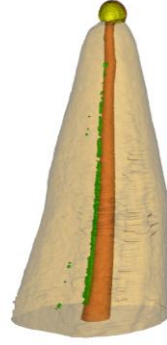


Şekil 4.3. Her gruptan 2 boyutlu μ BT görüntü örnekleri

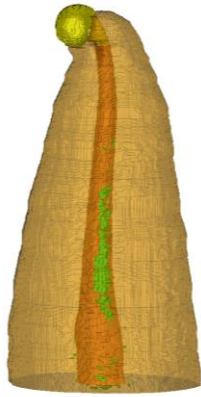
- (a) 25/.04 apikal \varnothing 4 mm uygulama seviyesi
- (b) 25/.04 apikal \varnothing 7 mm uygulama seviyesi
- (c) 25/.06 apikal \varnothing 4 mm uygulama seviyesi
- (d) 25/.06 apikal \varnothing 7 mm uygulama seviyesi
- (e) 30/.04 apikal \varnothing 4 mm uygulama seviyesi
- (f) 30/.04 apikal \varnothing 7 mm uygulama seviyesi



(a)



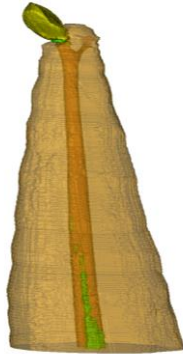
(b)



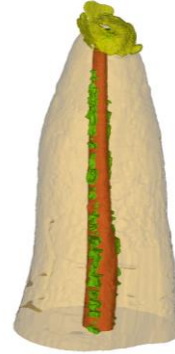
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.4. Her gruptan 3 boyutlu μ BT görüntü örnekleri

- (a) 25/.04 apikal çap 4 mm uygulama seviyesi
- (b) 25/.04 apikal çap 7 mm uygulama seviyesi
- (c) 25/.06 apikal çap 4 mm uygulama seviyesi
- (d) 25/.06 apikal çap 7 mm uygulama seviyesi
- (e) 30/.04 apikal çap 4 mm uygulama seviyesi
- (f) 30/.04 apikal çap 7 mm uygulama seviyesi

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyoseramik içerikli kök kanal patları birçok avantajı bulunması sebebiyle modern endodonti uygulamalarında oldukça popülerlik kazanmıştır. Ancak, bu materyallerin yüksek apikal ekstrüzyon insidansı göstermesi, önemli bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (6, 9). Her ne kadar biyoseramik içerikli patlar yüksek biyouyumlulukları ile bilinse de komşu anatomik yapılara ekstrüzyon riski nedeniyle kök kanal dolununun apikal foramen düzeyinde sınırlandırılması klinik açıdan önem arz etmektedir. Literatürde bu materyallerin uygulanma protokolüne dair net bir görüş birliği bulunmamaktadır. Yalnızca bir çalışmada (166) biyoseramik içerikli kök kanal patının kanal ağızlarından görülene kadar enjekte edildiği yer almaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışmada, kök kanalı içine direkt bir uçla uygulanan önceden karıştırılmış şırınga formdaki biyoseramik içerikli bir kök kanal patının, kökün hangi seviyesinden uygulanması gerektiği ile ilgili literatürdeki eksikliği gidermek amaçlanmıştır. Mevcut çalışmada farklı apikal çaplara sahip tek köklü dişlerde, farklı kök seviyelerinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patının apikal ekstrüzyon miktarında ve kök kanal dolum yüzdesinde fark bulunduğu için sıfır hipotez reddedilmiştir.

Geleneksel tedavi protokollerinin aksine, modern endodontide dentini korumak için minimal invaziv anlayış benimsenmektedir. Bu anlayış doğrultusunda, periservikal dentinin korunmasının dişin kırılma direncini artırdığı öne sürülmektedir. Dişin çiğneme streslerine dayanma yeteneği, daha az konikliğe sahip minimal kök kanal preparasyonları ile mümkün hale gelmektedir (167). Ancak, bu yaklaşımda kök kanallarında yeterli dezenfeksiyonun sağlanabilmesi için, apikal preparasyonların azalan boyutunun daha iyi irrigasyon ve irrigasyon solüsyonunun aktivasyonu ile dengelenmesi gerekir (168). Plotino ve ark. (169) apikal preparasyonun #25 boyutunda yapılmasının kök kanalının orta ve apikal üçte birlik kısmında etkili bir dezenfeksiyon sağladığını bildirmiştir. Bununla birlikte, Yared ve ark. (170) apikalde #25 K tipi eğeye kadar yapılan preparasyon ile #40 eğeye kadar yapılan preparasyon arasında antimikrobiyal etkinlik açısından anlamlı bir fark olmadığını rapor etmiştir. Minimal invaziv endodontide kök kanalları kanalın doğal morfolojisine uygun şekilde şekillendirilir ve biyoseramik içerikli kök kanal patları kullanıldığında hidrolik özellikleri sayesinde, kök kanallarında hermetik tıkamaya olanak sağlar (171). Bununla birlikte, dişlerin sahip olduğu apikal çaplar travma sebebiyle apikal formun

tamamlanmaması, uzun süreli periapikal lezyon varlığı sonucu oluşan rezorpsiyon veya iatrojenik olarak hekim tarafından apikal formun bozulması gibi nedenlerle farklılık gösterebilir. Literatürde ideal apikal preparasyonun tam boyutu konusunda gerçek bir fikir birliği yoktur. Apikal üçte birinin kemomekanik temizliğinin etkinliğini sağlayacak ve bu bölgenin anatomik yapılarının bütünlüğünü mümkün olduğunca koruyarak irrigasyonun derin penetrasyonunu garantileyecek şekilde bir preparasyon oluşturmak gerekir (172, 173). Bu bağlamda, Al Omari ve ark. (163), apikal çapın ekstrüzyon miktarını etkilemediğini bildirirken, Tinaz ve ark. (40), apikal çap arttıkça ekstrüzyon eğiliminin de arttığını bildirmiştir. Bu nedenle, mevcut çalışmada 25/.04, 25/.06 ve 30/.04 olmak üzere farklı apikal preparasyon çapları test edilmiştir.

Literatürdeki apikal ekstrüzyon çalışmaları, dişin doğal anatomik ortamında yapılmasının mümkün olmaması sebebiyle *in vitro* olarak laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Apikal ekstrüzyonun değerlendirilmesinde en çok kullanılan düzenek Myers ve Montgomery (36) tarafından 1991 yılında bulunan ve sonrasında farklı şekillerde modifiye edilen deney düzeneğidir. Bu düzenekte dişler eppendorf tüpleri içerisine sabitlenmiş olup apikal foramenden taşan kök kanal dolum materyalleri eppendorf tüplerinde toplanmıştır. Fakat bu düzenekteki en büyük eksiklik periodontal ligament ve kemik gibi ağız içinde doğal olarak bulunan periodontal yapıların ve dolayısıyla periodontal basıncın taklit edilemiyor oluşudur. Literatürde periodontal dokuların ve basıncın taklit edilebilmesi amacıyla çiçek köpüğü (32) ve agar jel (174) kullanılan çalışmalar mevcuttur. Fakat, apikal bariyer olarak çiçek köpüğü kullanılması ekstrüze olan materyalin emilmesi gibi bir dezavantaja sahiptir. Bu yüzden mevcut çalışmada periodontal dokuların taklit edilmesi amacıyla dişler ve dişlerin apikallerine yerleştirilen küreler, c tipi silikon ile kaplanmıştır ve periodontal basıncın taklit edilmesi amacıyla kök uçlarından çıkarılan kürelerin oluşturduğu boşluğa agar jel yerleştirilmiştir. Bununla birlikte, kürelerin köklerin apikaline sabitlenmesinde, likit formdaki siyanoakrilatın yüksek akıcılığı sebebiyle kök kanalı içerisine sızma tehlikesinden dolayı, jel formu kullanılmıştır. Bununla birlikte, laboratuvar ortamı ağız boşluğunun sıcaklık koşullarını mükemmel şekilde taklit edemeyebilir ve bu da kök kanallarında oluşan boşluk miktarını etkileyebilir. Bu nedenle, dişler 1 hafta boyunca 37° C'de inkübe edilmiştir (166).

Kök kanal tedavisinde %5'lik NaOCl solüsyonu, nekrotik organik doku çözücü özelliği nedeniyle en sık tercih edilen irrigasyon solüsyonudur (175, 176). Smear tabakasının inorganik kısmını uzaklaştırmak için ise %17'lik EDTA solüsyonu en sık tercih edilen şelasyon ajanıdır. EDTA ve NaOCl'nin dönüşümlü kullanımı smear tabakasının ve debrisin etkili bir şekilde uzaklaştırılması için önerilmiştir (177). Buna karşın, Milani ve ark. (178) biyoseramik içerikli kök kanal patları olan Endoseal MTA ve Sure-Seal Root ile yapılan kök kanal dolumlarında, smear tabakasının uzaklaştırılmasının lateral kanalların dolumlarında daha başarılı olduğunu rapor etmiştir. Bu nedenle, mevcut çalışmada final irrigasyonunda %5'lik NaOCl ve %17'lik EDTA solüsyonları smear tabakasının uzaklaştırılması amacıyla kullanılmıştır. Biyoseramik içerikli kök kanal patlarının sertleşmesini nem varlığında gerçekleştirmesinden (85) dolayı mevcut çalışmada final irrigasyondan sonra kök kanallarının kağıt konlar ile hafif nemi alınmıştır ve aşırı kurutulmamaya özen gösterilmiştir.

Geleneksel endodontik tedavide, kök kanallarının kemomekanik olarak temizlenmesinin ardından kök kanal boşluğu, ana malzeme olan güta perka ve geride kalan boşluklar ise kök kanal patları ile doldurulur (4). Güta perka gibi katı materyaller kanal içerisine yerleştirildiğinde, materyal kök kanal duvarıyla ne kadar uyum içerisinde olursa olsun, genellikle kök duvarları ile dolum materyali arasında boşluk kalmaktadır ve bu boşluğu kök kanal patları doldurmaktadır. Günümüzde ise sertleşirken hacimsel olarak genişleme gösteren biyoseramik içerikli kök kanal patlarının kök kanallarını hermetik bir şekilde doldurabileceği idda edilmiş ve kök kanallarının ana dolum malzemesi haline gelmiştir (179). Bu nedenle, günümüze kadar kök kanalında minimum boşluk oluşumuyla yeterli obturasyon elde etmek için farklı teknikler kullanılmıştır (180). Moinszadeh ve ark. (181) biyoseramik içerikli kök kanal patı ve lateral kompaksiyon tekniğiyle yapılan kök kanal dolumlarında, kullanılan spreaderın patın yerini sürekli değiştirdiğini ve bu tekniğin sızdırmazlığı azaltmak yerine boşlukların yüzdesini arttırdığını bildirmiştir. Bununla birlikte Guivarc'h ve ark. (179) biyoseramik içerikli patların tek kon tekniği ile uygulandığında, lateral kompaksiyona göre kök boyunca daha homojen dağıldığını rapor etmiştir. Mevcut çalışmada, hem pratik olması hem de biyoseramik içerikli kök kanal patları ile kullanımı önerilmesi nedeniyle, kök kanalları tek kon tekniği kullanılarak doldurulmuştur.

Endodontik tedavide kök kanalının şekillendirilip doldurulmasında ideal sınır, pulpa dokusunun sonlandığı ve periodontal ligament ile ilişkili olduğu anatomik bölge olan sementodental bileşke olarak kabul edilmektedir. En uygun histolojik koşulların, kök kanal şekillendirme ve dolununun apikal foramenin gerisinde kaldığı durumda olduğu ve apikal foramen den taşan gütta perka ve/veya kök kanal patının ağrı olmasa bile şiddetli inflamatuvar reaksiyona neden olabileceği bilinmektedir (182, 183). Li ve ark. (184) iRoot SP'nin ekstrüzyon vakalarında AH Plus ve MTA'dan daha az toksik olduğunu ve daha hafif bir inflamatuvar yanıtı neden olduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde, Graunaitte ve ark. (185) TotalFill kök kanal patının, AH Plus ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha düşük sitotoksik etkisinin olduğunu ve ekstrüzyon vakalarında klinik semptomların ortaya çıkmasının kök kanal patlarının bileşimi ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, anatomik olarak yakınlıklar nedeniyle biyoseramik içerikli kök kanal patının inferior alveolar kanala ekstrüzyonundan sonra yüzde paresteziye neden olabileceği bildirilmiştir (11). Bununla birlikte, Lin ve ark. (186) ekstrüze olmuş kök kanal dolum materyallerinin periapikal bölgede sürekli bir biyofilm rezervuarı görevi görerek kronik bir enfeksiyona neden olabileceğini bildirmiştir. Bu doğrultuda, çalışmamızda biyoseramik içerikli kök kanal patlarının apikal ekstrüzyon potansiyeli *in vitro* olarak değerlendirilmiş ve bu durumun olası klinik yansımalarına ışık tutabilecek veriler elde edilmiştir.

Kök kanal patlarında viskozite, kök kanal patlarının akış hızını ve kök kanal sistemindeki düzensizliklerin ne kadar etkili bir şekilde doldurulacağını etkilediği için önemlidir (187). Biyoseramik içerikli kök kanal patlarında da akış özelliği, aksesuar kanalların, lateral kanalların, kök kanallarındaki düzensiz alanların doldurulmasını ve kök kanal dolusunda boşluk kalmasını etkilemektedir (188). Biyoseramik içerikli kök kanal patlarının hidrofilik olması, temas açısının düşük olup ıslatma yeteneğinin yüksek olması sebebiyle kök kanal duvarlarında kolayca yayılır, hermetik olarak tıkama sağlar (189). Yüksek akış kök kanal patlarının dentine nüfuz etmesini kolaylaştırırsa da apikal ekstrüzyon riskini de arttırmaktadır (188). Silva ve ark. (98) MTA Fillapex'in, AH Plus ile karşılaştırıldığında daha yüksek akıcılık gösterdiğini ve kök kanal patları arasındaki bu farkın içeriklerinden kaynaklandığını bildirmiştir. Buna rağmen, Mendes ve ark. (190) Sealer Plus BC'nin, AH Plus'tan daha düşük bir akış hızına sahip olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte Fonseca ve ark. (9) Sealer

Plus BC'nin, AH Plus'tan daha fazla apikal ekstrüzyona sebep olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca, farklı marka biyoseramik içerikli kök kanal patlarının farklı bileşimden dolayı akış hızı farklı olabilmektedir. Jasrasaria ve ark. (4) MTA Fillapex'in apikal ekstrüzyonun Endosequence BC ve AH Plus kök kanal patlarına göre önemli ölçüde daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle, kök kanal patı seçerken uygun akış hızına sahip fakat apikal ekstrüzyona neden olmayan bir seçim yapılarak dengenin sağlanması önerilmiştir (188). Bununla birlikte, biyoseramik içerikli kök kanal patlarının direkt bir uçla uygulanan, önceden karıştırılmış şırınga formunda olması nedeniyle, klinisyenin baş parmağı ile pistonu uyguladığı basıncın da akış hızını etkilediği düşünülmektedir (4). Bu nedenle, mevcut çalışmada kök kanal doluları tek bir operatör tarafından gerçekleştirilmiş ve biyoseramik içerikli kök kanal patı, kök kanalına ortalama 0,1 birim/saniye hızda iletilmiştir.

Literatürde birçok çalışmada (2, 29-31, 36, 37, 163) apikal ekstrüzyon miktarının belirlenmesinde, ekstrüze olan materyalin toplandığı Eppendorf tüplerinin dolu ve boş halleri arasındaki ağırlık farkı, hassas terazi kullanılarak ölçülmektedir. Fakat, hassas terazi ile yapılan bu ölçümler sadece kantitatif sonuç vermektedir ve teknik hassasiyete sahiptir. Son yıllarda, *in vitro* çalışmalarda kök kanal dolum materyallerinin değerlendirilmesinde μ BT kullanımı önerilmekte ve giderek yaygınlaşmaktadır (180, 191-196). μ BT, non-invaziv yapısı ve hem niceliksel hem de niteliksel yüksek çözünürlüklü görüntüleme kapasitesi ile materyal dağılımını üç boyutlu olarak değerlendirme imkânı sunmaktadır (191). Güta perka, dolum materyalleri ve kök kanal sınırlarını farklı gri tonlama seviyeleriyle ayırt edilebilmekte; bu sayede dolum kalitesi ve boşluk varlığı detaylı şekilde analiz edilebilmektedir (197). Bu nedenle, mevcut çalışmada kök kanal dolum kalitesinin ve apikalden ekstrüze olan kök kanal patının değerlendirilmesinde μ BT kullanılmıştır. Bu avantajlar doğrultusunda, mevcut çalışmada kök kanal dolum kalitesi ile apikal ekstrüzyonun değerlendirilmesinde görüntüleme yöntemi olarak μ BT tercih edilmiştir. Bununla birlikte, aynı apikal genişlikte hazırlanan kök kanalları, farklı kök kanal konfigürasyonları sebebiyle değişken dolum hacimlerine sahip olabilmektedir. Bu nedenle, apikal çap farklılığı bulunan gruplar arasında kök kanal dolum kalitesinin karşılaştırılmasında doğrudan hacimsel ölçüm yerine kök kanal dolum yüzdesi hesaplanarak daha standardize bir değerlendirme sağlanmıştır.

Literatürde biyoseramik içerikli kök kanal patlarının farklı apikal çaplarda, farklı kök seviyelerinde uygulanması sonrası kök kanal dolum yüzdesini ve apikal ekstrüzyonu değerlendiren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, elde edilen bulgular literatürdeki mevcut çalışmalarla yalnızca dolaylı olarak karşılaştırılabilmektedir. Mevcut çalışmada 4 mm kök seviyesinde, 25/.04 ve 25/.06 boyutunda olan apikal preparasyonlar kök kanal dolum yüzdesinde bir fark oluşturmamıştır. Çalışmamıza benzer şekilde Macedo ve ark. (198) apikal 4 mm seviyesinde irrigasyon solüsyonunu uygulanmasının, 25/.03, 25/.04, 25/.05 ve 25/.06 apikal preparasyonlarının tümünde, *E. faecalis* ve *C. albicans*'ın dekontaminasyonunda anlamlı bir azalma sağladığını, ancak farklı preparasyon konikliğinin gruplar arasında anlamlı bir farka yol açmadığını bildirmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak, Silva ve ark. (199) aynı apikal çaplara sahip farklı koniklikteki preparasyonlar (25/.04, 25/.05, 25/.06, 25/.07, 25/.08) arasında, düşük konikliğin apikal kök bölgesinde irrigasyon solüsyonlarının penetrasyonunu tehlikeye atabileceğini bildirmiştir. Apikal çap benzer olsa da koniklikteki değişiklikler, irrigasyon solüsyonlarının apikal bölgedeki dağılımını ve etkinliğini etkileyebilmektedir. Literatürdeki farklı bulgular, irrigasyon yöntemleri, değerlendirme kriterleri ve kanal şekillendirme protokollerindeki değişikliklerle birlikte, konikliğin irrigasyon solüsyonu penetrasyonu üzerindeki potansiyel etkisine dayandırılabilir. Mevcut çalışmada biyoseramik içerikli kök kanal patı 4 mm kök seviyesinde uygulandığında, 25/.04 ve 25/.06 preparasyonlarında benzer dolum sonuçları elde edilmesi, biyoseramik içerikli kök kanal patının yüksek akışkanlık ve dentin yüzeyine kimyasal bağ oluşturabilme kapasitesi sayesinde, minimal şekillendirme farklılıklarından bağımsız olarak kanal duvarlarına benzer oranda yayılabildiğini göstermektedir.

Mevcut çalışmada 7 mm kök seviyesinde ise 25/.06'da, 25/.04'e göre daha fazla kök kanal dolum yüzdesi göstermiştir. Bu durum, orta kök seviyelerinde konikliğin dolum etkinliği üzerinde daha belirgin bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, 7 mm kök seviyesinde .06 konikliğe sahip preparasyonun, .04 konikliğe sahip preparasyona göre, biyoseramik içerikli kök kanal patının akışını ve dentin yüzeyine yayılımını kolaylaştırarak daha iyi kök kanal dolum yüzdesi sağlamış olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışma bulgularımıza göre, 30/.04 grubunda 4 mm kök seviyesinde, 7 mm kök seviyesine kıyasla daha yüksek kök kanal dolum yüzdesi elde edilmiştir. Bu durum, apikal genişlik ve koniklik sabit tutulmuş olmasına rağmen, kanal çapının arttığı daha koronal bölgelerde (apeksin 4 mm koronalindeki yaklaşık 0,46 mm çap, apeksin 7 mm koronalinde yaklaşık 0,58 mm çap) kök kanal patının kanal duvarlarıyla temas yüzeyinin azalmasına ve materyalin kontrolsüz yayılmasına bağlı olarak dolunun homojenliğinin azalmasıyla ilişkili olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca daha dar çaplı olan 4 mm kök seviyesi, kök kanal patının uygulama ucunun apikalden koronale doğru hareketi ile, patın kanal duvarlarına daha fazla yüzey alanı ile temas etmesine ve dolayısıyla daha iyi adaptasyon ve mekanik retansiyon sağlamasına olanak tanımış olabilir. Bununla birlikte, biyoseramik içerikli kök kanal patlarının viskozitesi dikkate alındığında, daha geniş çaplı bölgelerde apikal basınç ile yukarı doğru yönlendirme etkisi azalarak dolgu materyalinin kanal boyunca düzgün dağılmasını zorlaştırabileceği düşünülmüştür. 4 mm seviyesinden yapılan uygulama, hem daha iyi apikal kontrol hem de materyalin kanal duvarlarıyla daha yakın teması sayesinde, genel dolum yüzdesini artırmış olabilir.

Çalışmamızda, farklı apikal çaplara sahip kanal preparasyonlarında, 4 mm kök seviyesinde uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patının apikal ekstrüzyonu değerlendirildiğinde, gruplar arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Literatürdeki çalışmaların bazıları, apikal preparasyon çapı ile apikal ekstrüzyon arasında anlamlı bir ilişki olmadığını bildirirken, bazıları ise daha geniş apikal çapların ekstrüzyon miktarını artırabileceğini ortaya koymuştur. Çalışmamızla benzer şekilde, Silva ve ark. (29) daha büyük apikal çap preparasyonunun debris ekstrüzyonunu etkilemediğini, Cuellar ve ark. (155) apikal çapın bakteriyel ekstrüzyon üzerinde etkisi olmadığını rapor etmiştir. Ek olarak, Teixeira ve ark. (200) apikal 1 mm mesafede, resiprokasyon sistemleri ile (Reciproc R25/.08 ve R40/.06) yapılan preparasyonlarda, preparasyon çapı farklılıklarının, bakteriyel ekstrüzyon üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını bildirmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak ise; Mitchell ve ark. (17) farklı irrigasyon aktivasyon yöntemleri kullanarak, apikal preparasyon çapı 35/.06 olan dişlerde ekstrüzyon sıklığının, 50/.06 çapına sahip dişlere kıyasla daha düşük olduğunu bildirmiştir. Bu bulgular arasındaki farklılıklar, öncelikle kullanılan irrigasyon sistemleri, uygulama teknikleri, çalışma boyu, ekstrüzyonu değerlendirilen materyalin türü (debris, bakteri, irrigasyon solüsyonu, dolum materyali vb.) ve değerlendirme

yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir. Örneğin çalışmamızda biyoseramik içerikli bir kök kanal patı ile pasif dolum sonrası ekstrüzyon değerlendirilmişken, Mitchell ve ark. (17) çalışmasında irrigasyon aktivasyon sistemlerinin etkisi ve sıvı ekstrüzyonu değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, resiprokasyon sistemlerinin kullanıldığı Teixeira ve ark. (200) çalışmasında, irrigasyon değil bakteriyel ekstrüzyon ölçülmüş ve farklı bir klinik senaryo modellenmiştir. Bu nedenle, kullanılan sistemin hidrodinamik özellikleri, kanal içi basınç dağılımı ve apikal direnç gibi etkenlerin, ekstrüzyon miktarını preparasyon çapından daha fazla etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, apikal ekstrüzyonun yalnızca preparasyon genişliğine indirgenemeyecek çok faktörlü bir olgu olduğu ve değerlendirme yapılan parametrelere göre sonuçların değişebileceği anlaşılmaktadır.

Mevcut çalışma bulgularımız, 7 mm kök seviyesinde, 30/.04'de 25/.06'ya göre anlamlı olarak daha az apikal ekstrüzyon göstermiştir. Çalışmamıza benzer şekilde Chang ve ark. (35), kök kanal preparasyonunda, apikal çap boyutu arttırmanın irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu riskini azalttığını bildirmiştir. Ek olarak, Silva ve ark. (20) daha fazla konikliğe sahip eğelerin, debrisin daha fazla apikalden ekstrüzyonuna neden olduğunu bildirmiştir. Bu durum, düşük konikliğin dolum materyalinin apikal bölgeye itilmesini sınırlayarak apikal ekstrüzyonu azaltmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte, Dotto ve ark. (19) μ BT kullanarak NaOCl solüsyonunun apikal ekstrüzyon miktarını değerlendirdikleri çalışmalarında, farklı apikal çapların (R25, R40, R50) ve çalışma uzunluklarının (diş uzunluğundan 1 mm kısa ve diş uzunluğunda) apikal ekstrüzyon hacmini etkilemediğini bildirmiştir. Çalışmalar arasındaki farklılıklar, öncelikle kullanılan irrigasyon protokollerinden, test materyallerinden (kök kanal patı, irrigasyon solüsyonu vs.), kök uygulama seviyelerinden veya değerlendirme yöntemlerinden kaynaklanabilir. Özellikle NaOCl'in dinamik akış davranışları ile viskoz dolum materyallerinin apikal ilerleyiş mekanizmalarının farklılık göstermesi, apikal ekstrüzyon üzerindeki etkilerinin apikal çaplara göre değişmesini farklı şekilde yansıtabilir.

Mevcut çalışmada apikal ekstrüzyon miktarı, bazı gruplarda 0 (sıfır) değerinin bulunması sebebiyle, veriler kategorik olarak değerlendirilmiş ve 30/.04'de 7 mm kök seviyesinde, %90 oranında kategori 1 (0 ekstrüzyon) ve %10 oranında kategori 2 (0,1–1 mm³ arası) düzeyinde apikal ekstrüzyon gözlenmiştir. 4 mm kök seviyesinde ise; %10 oranında kategori 1 düzeyinde apikal ekstrüzyon gözlenmiştir. Bu bağlamda,

30/.04 grubunda, özellikle 7 mm kök seviyesinde en düşük apikal ekstrüzyon oranına (%90 oranında sıfır ekstrüzyon) sahip olduğunu göstermiştir. Bu durum, apeks bölgesine daha uzak seviyeden yapılan uygulamalarda, materyalin apikal foramen yönünde ilerlemesini sınırlayan doğal bir tampon bölge oluştuğunu ve apikal ekstrüzyon riskinin bu nedenle azaldığını düşündürmektedir.

Bu çalışmada farklı apikal çaplara sahip tek köklü premolar dişlerde, biyoseramik içerikli kök kanal patının, 4 mm ve 7 mm olmak üzere iki farklı uygulama seviyesinin, kök kanal dolum yüzdesi ve apikal ekstrüzyon hacmi üzerine etkisi μ BT ile değerlendirilmiştir. Bulgular, apikal çap ve konikliğinin ve kök kanal patlarının uygulama seviyesinin, kök kanal dolum kalitesi ve periapikal bölgeye materyal ekstrüzyonu üzerinde belirleyici olabileceğini göstermiştir. Özellikle 30/.04 apikal çapta, kök kanal patının 4 mm kök seviyesinden uygulanması 7 mm seviyesine kıyasla daha yüksek kök kanal dolum yüzdesi sergilemiştir. Bu durum, uygulama seviyesinin kanal çapı ile etkileşerek materyalin yayılımını etkileyebileceğini düşündürmektedir. Ayrıca çalışmanın diğer bulgularına göre, 30/.04 apikal genişliğe sahip dişlerde, 7 mm kök seviyesinden uygulanan biyoseramik içerikli kök kanal patı, minimal apikal ekstrüzyon ile birlikte, en yüksek dolum yüzdesine sahip gruba benzer dolum başarısı göstermiştir. Bu nedenle, dolum kalitesi ve ekstrüzyon riski birlikte değerlendirildiğinde, 30/.04 - 7 mm grubu en avantajlı uygulama protokolü olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, tüm gruplarda uygulama seviyesine bağlı olarak ekstrüzyon miktarlarının değişkenlik göstermesi, biyoseramik içerikli kök kanal patlarının akışkanlık özelliklerinin klinik başarı açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Biyoseramik içerikli kök kanal patlarının klinik uygulamalarında, apikal ekstrüzyon riskini azaltmak için bu patların daha orta kök seviyesinden uygulanması ve düşük koniklikte preparasyonların tercih edilmesi önerilmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda, apikal ekstrüzyon riskini azaltmak amacıyla, pat uygulama seviyesinin dikkatle planlanması ve kanal morfolojisine uygun, kontrollü bir preparasyon stratejisi tercih edilmesi önerilmektedir.

Bu çalışmanın en önemli limitasyonu, *in vitro* bir modelde gerçekleştirilmiş olması ve periodontal doku basıncının yalnızca simüle edilmiş olmasıdır. Ayrıca, kullanılan materyalin viskozitesine ve uygulama basıncına bağlı bireysel değişkenlikler de göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı biyoseramik içerikli kök kanal patlarının viskozite değerleri ve ekstrüzyon eğilimleri karşılaştırmalı

olarak değerlendirilmesi, klinisyenlere önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, farklı irrigasyon protokolleri ile kombinasyonlarının ekstrüzyon üzerindeki etkileri de araştırılmalıdır.



KAYNAKLAR

1. Tomson PL, Simon SR. Contemporary Cleaning and Shaping of the Root Canal System. *Prim Dent J.* 2016;5(2):46-53.
2. Uzunoglu-Ozyurek E, Karaaslan H, Turker SA, Ozcelik B. Influence of size and insertion depth of irrigation needle on debris extrusion and sealer penetration. *Restor Dent Endod.* 2018;43(1):e2.
3. Shokouhinejad N, Hoseini A, Gorjestani H, Raoof M, Assadian H, Shamshiri AR. Effect of phosphate-buffered saline on push-out bond strength of a new bioceramic sealer to root canal dentin. *Dent Res J (Isfahan).* 2012;9(5):595-9.
4. Jasrasaria N, Tikku AP, Bharti R. Analysis of porosity, sealer dissolution and apical extrusion of endodontic sealers: A micro computed tomography study. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2023;13(4):495-9.
5. AlBakhakh B, Al-Saedi A, Al-Tae R, Nahidh M. Rapid Apical Healing with Simple Obturation Technique in Response to a Calcium Silicate-Based Filling Material. *Int J Dent.* 2022;2022:6958135.
6. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Pinto JC, Santos-Junior AO, Tavares K, Guerreiro-Tanomaru JM. Micro-computed tomographic evaluation of a new system for root canal filling using calcium silicate-based root canal sealers. *Restor Dent Endod.* 2020;45(3):e34.
7. Hulsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33(3):186-93.
8. Tanalp J. A critical analysis of research methods and experimental models to study apical extrusion of debris and irrigants. *Int Endod J.* 2022;55 Suppl 1:153-77.
9. Fonseca B, Coelho MS, Bueno C, Fontana CE, Martin AS, Rocha DGP. Assessment of Extrusion and Postoperative Pain of a Bioceramic and Resin-Based Root Canal Sealer. *Eur J Dent.* 2019;13(3):343-8.
10. Drumond J, Maeda W, Nascimento WM, Campos DL, Prado MC, de-Jesus-Soares A, et al. Comparison of Postobturation Pain Experience after Apical Extrusion of Calcium Silicate- and Resin-Based Root Canal Sealers. *J Endod.* 2021;47(8):1278-84.
11. Alves FRF, Dias MCC, Mansa M, Machado MD. Permanent Labiomandibular Paresthesia after Bioceramic Sealer Extrusion: A Case Report. *J Endod.* 2020;46(2):301-6.
12. Aminoshariae A, Kulild JC. Size of Master Apical File and Optimal Irrigation of the Apical Zone: A Systematic Review. *Iran Endod J.* 2018;13(4):424-37.
13. Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *J Endod.* 2010;36(4):721-4.
14. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
15. Iriboz E, Bayraktar K, Turkaydin D, Tarcin B. Comparison of apical extrusion of sodium hypochlorite using 4 different root canal irrigation techniques. *J Endod.* 2015;41(3):380-4.
16. Macedo RG, Verhaagen B, Wesselink PR, Versluis M, van der Sluis LW. Influence of refreshment/activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. *Int Endod J.* 2014;47(2):147-54.

17. Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *J Endod.* 2011;37(12):1677-81.
18. Tejada S, Baca P, Ferrer-Luque CM, Ruiz-Linares M, Valderrama MJ, Arias-Moliz MT. Influence of dentine debris and organic tissue on the properties of sodium hypochlorite solutions. *Int Endod J.* 2019;52(1):114-22.
19. Dotto MEP, Savaris JM, de Lima CO, da Silva E, da Fonseca Roberti Garcia L, Bortoluzzi EA, et al. Do the apical limit and diameter of the instrumentation influence the extrusion of sodium hypochlorite solution? A micro-CT study. *Odontology.* 2024.
20. Silva EJ, Carapia MF, Lopes RM, Belladonna FG, Senna PM, Souza EM, et al. Comparison of apically extruded debris after large apical preparations by full-sequence rotary and single-file reciprocating systems. *Int Endod J.* 2016;49(7):700-5.
21. Goldberg F, Massone EJ, Esmoris M, Alfie D. Comparison of different techniques for obturating experimental internal resorptive cavities. *Endod Dent Traumatol.* 2000;16(3):116-21.
22. Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J.* 2009;42(6):447-62.
23. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Grondahl K, Grondahl HG. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):114-9.
24. Kim Y, Chang SW, Lee JK, Chen IP, Kaufman B, Jiang J, et al. A micro-computed tomography study of canal configuration of multiple-canal mesio Buccal root of maxillary first molar. *Clin Oral Investig.* 2013;17(6):1541-6.
25. Kim Y, Perinpanayagam H, Lee JK, Yoo YJ, Oh S, Gu Y, et al. Comparison of mandibular first molar mesial root canal morphology using micro-computed tomography and clearing technique. *Acta Odontol Scand.* 2015;73(6):427-32.
26. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30(8):559-67.
27. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Evaluation of root canal obturation: a three-dimensional in vitro study. *J Endod.* 2009;35(4):541-4.
28. Albuquerque PP, Hungaro Duarte MA, Pelegri RA, Kato AS, Stringheta CP, Duque JA, et al. Influence of foraminal enlargement on the apical extrusion of filling material: Volumetric analysis using micro-computed tomography. *Aust Endod J.* 2020;46(2):210-6.
29. Silva EJ, Teixeira JM, Kudsi N, Sassone LM, Krebs RL, Coutinho-Filho TS. Influence of Apical Preparation Size and Working Length on Debris Extrusion. *Braz Dent J.* 2016;27(1):28-31.
30. De-Deus GA, Nogueira Leal Silva EJ, Moreira EJ, de Almeida Neves A, Belladonna FG, Tameirao M. Assessment of apically extruded debris produced by the self-adjusting file system. *J Endod.* 2014;40(4):526-9.
31. Silva EJ, Sa L, Belladonna FG, Neves AA, Accorsi-Mendonca T, Vieira VT, et al. Reciprocating versus rotary systems for root filling removal: assessment of the apically extruded material. *J Endod.* 2014;40(12):2077-80.
32. Altundasar E, Nagas E, Uyanik O, Serper A. Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(4):e31-5.

33. Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *J Endod.* 2013;39(4):521-4.
34. Mitchell RP, Yang SE, Baumgartner JC. Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *J Endod.* 2010;36(2):338-41.
35. Chang JW, Cheung AW, Cheung GS. Effect of root canal dimensions, injection rate, and needle design on the apical extrusion of an irrigant: an in vitro study. *J Investig Clin Dent.* 2015;6(3):221-7.
36. Myers GL, Montgomery S. A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and Canal Master techniques. *J Endod.* 1991;17(6):275-9.
37. Fairbourn DR, McWalter GM, Montgomery S. The effect of four preparation techniques on the amount of apically extruded debris. *J Endod.* 1987;13(3):102-8.
38. Tanalp J, Kaptan F, Sert S, Kayahan B, Bayirli G. Quantitative evaluation of the amount of apically extruded debris using 3 different rotary instrumentation systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101(2):250-7.
39. Mohammadi Z. In vitro evaluation of apical extrusion of bacteria following use of new rotary instrumentation system. *N Y State Dent J.* 2009;75(3):28-30.
40. Tinaz AC, Alacam T, Uzun O, Maden M, Kayaoglu G. The effect of disruption of apical constriction on periapical extrusion. *J Endod.* 2005;31(7):533-5.
41. Yost RA, Bergeron BE, Kirkpatrick TC, Roberts MD, Roberts HW, Himel VT, et al. Evaluation of 4 Different Irrigating Systems for Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite. *J Endod.* 2015;41(9):1530-4.
42. Helvacioğlu Kivanc B, Deniz Arisu H, Yanar NO, Silah HM, Inam R, Gorgul G. Apical extrusion of sodium hypochlorite activated with two laser systems and ultrasonics: a spectrophotometric analysis. *BMC Oral Health.* 2015;15:71.
43. Rodriguez-Figueroa C, McClanahan SB, Bowles WR. Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, EndoActivator, or syringe irrigation. *J Endod.* 2014;40(10):1622-6.
44. Azim AA, Aksel H, Margaret Jefferson M, Huang GT. Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. *Clin Oral Investig.* 2018;22(2):1055-61.
45. Wu MK, Fan B, Wesselink PR. Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study. *Int Endod J.* 2000;33(2):121-5.
46. LI G. *Endodontic Practice. Obturation of root canal.* 10 ed. Philadelphia, Pa, USA1982. p. 297.
47. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics - a review. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017;51(3 Suppl 1):S128-S37.
48. Motwani N, Ikhari A, Nikhade P, Chandak M, Rathi S, Dugar M, et al. Premixed bioceramics: A novel pulp capping agent. *J Conserv Dent.* 2021;24(2):124-9.
49. Kossev D. SV. Ceramics-based sealers as new alternative to currently used endodontic sealers. *Roots.* 2009;1:42-8.
50. Zhao W, Chang J, Zhai W. Self-setting properties and in vitro bioactivity of Ca₃SiO₅/CaSO₄.1/2H₂O composite cement. *J Biomed Mater Res A.* 2008;85(2):336-44.
51. Saghiri MA, Orangi J, Asatourian A, Gutmann JL, Garcia-Godoy F, Lotfi M, et al. Calcium silicate-based cements and functional impacts of various constituents. *Dent Mater J.* 2017;36(1):8-18.

52. Black L. BC, Yarwood J., Deng C.S., Phipps J., Maitland G. Hydration of tricalcium aluminate (C₃A) in the presence and absence of gypsum— studied by Raman spectroscopy and X-ray diffraction. *Journal of Materials Chemistry*. 2006;16:1263-72.
53. Yeşilay S. ÇM, Çakır Arianpour A. Investigation of Calcium Oxide (CaO) Effects in Crackle Stoneware Glazes. . *Gazi Journal of Engineering Sciences*. 2018;4:25-38.
54. Hungaro Duarte MA, Minotti PG, Rodrigues CT, Zapata RO, Bramante CM, Tanomaru Filho M, et al. Effect of different radiopacifying agents on the physicochemical properties of white Portland cement and white mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 2012;38(3):394-7.
55. Bortoluzzi EA, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M, Duarte MA. Radiographic effect of different radiopacifiers on a potential retrograde filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;108(4):628-32.
56. Sidiqa AN, Zakaria MN, Cahyanto A, Joni IM, Maskoen AM. Carbonation inhibitor by polyethylene glycol encapsulation of calcium hydroxide fine particles to improve antimicrobial and root canal penetration properties. *Heliyon*. 2023;9(7):e18005.
57. Camilleri J. Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. *Dent Mater*. 2011;27(8):836-44.
58. Khalil I, Naaman A, Camilleri J. Properties of Tricalcium Silicate Sealers. *J Endod*. 2016;42(10):1529-35.
59. Tay FR, Pashley DH, Rueggeberg FA, Loushine RJ, Weller RN. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid. *J Endod*. 2007;33(11):1347-51.
60. Fridland M, Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod*. 2003;29(12):814-7.
61. Fridland M, Rosado R. MTA solubility: a long term study. *J Endod*. 2005;31(5):376-9.
62. Baek SH, Plenk H, Jr., Kim S. Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. *J Endod*. 2005;31(6):444-9.
63. Dong X, Xu X. Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives. *Bioengineering (Basel)*. 2023;10(3).
64. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater*. 2016;2016:9753210.
65. Ersahan S, Aydin C. Dislocation resistance of iRoot SP, a calcium silicate-based sealer, from radicular dentine. *J Endod*. 2010;36(12):2000-2.
66. Nagas E, Uyanik MO, Eymirli A, Cehreli ZC, Vallittu PK, Lassila LV, et al. Dentin moisture conditions affect the adhesion of root canal sealers. *J Endod*. 2012;38(2):240-4.
67. Koch D. K. BD, Nasseh A. A. A review of bioceramic technology in endodontics. 1. 2013:6-13.
68. Tyagi S. MP, Tyagi P. Evolution of root canal sealers: An insight story. *Eur J Gen Dent*. 2013;2:199-218.
69. Lee YN, Kim MK, Kim HJ, Yu MK, Lee KW, Min KS. Evaluation of the root dentin bond strength and intratubular biomineralization of a premixed calcium aluminate-based hydraulic bioceramic endodontic sealer. *J Oral Sci*. 2024;66(2):96-101.

70. Bioserra internet ürün sayfası [Available from: <https://www.uncudental.com/products/file/irkkce.pdf>].
71. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The use of bioceramics in endodontics - literature review. *Clujul Med*. 2016;89(4):470-3.
72. Bilgiç A. BE. BİYOSERAMİK ESASLI KÖK KANAL PATLARI: Derleme. *J Dent Fac Atatürk Uni*. 2106;14:111-7.
73. Vitti RP, Prati C, Silva EJ, Sinhoreti MA, Zanchi CH, de Souza e Silva MG, et al. Physical properties of MTA Fillapex sealer. *J Endod*. 2013;39(7):915-8.
74. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod*. 2010;36(2):190-202.
75. Salles LP, Gomes-Cornelio AL, Guimaraes FC, Herrera BS, Bao SN, Rossa-Junior C, et al. Mineral trioxide aggregate-based endodontic sealer stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *J Endod*. 2012;38(7):971-6.
76. Sun ZL, Wataha JC, Hanks CT. Effects of metal ions on osteoblast-like cell metabolism and differentiation. *J Biomed Mater Res*. 1997;34(1):29-37.
77. Schmalz G. Use of cell cultures for toxicity testing of dental materials--advantages and limitations. *J Dent*. 1994;22 Suppl 2:S6-11.
78. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine RJ, Weller RN, et al. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Endod*. 2011;37(5):673-7.
79. Bae WJ, Chang SW, Lee SI, Kum KY, Bae KS, Kim EC. Human periodontal ligament cell response to a newly developed calcium phosphate-based root canal sealer. *J Endod*. 2010;36(10):1658-63.
80. Bryan TE, Khechen K, Brackett MG, Messer RL, El-Awady A, Primus CM, et al. In vitro osteogenic potential of an experimental calcium silicate-based root canal sealer. *J Endod*. 2010;36(7):1163-9.
81. Chang SW, Lee SY, Kang SK, Kum KY, Kim EC. In vitro biocompatibility, inflammatory response, and osteogenic potential of 4 root canal sealers: Sealapex, Sankin apatite root sealer, MTA Fillapex, and iRoot SP root canal sealer. *J Endod*. 2014;40(10):1642-8.
82. De-Deus G, Canabarro A, Alves GG, Marins JR, Linhares AB, Granjeiro JM. Cytocompatibility of the ready-to-use bioceramic putty repair cement iRoot BP Plus with primary human osteoblasts. *Int Endod J*. 2012;45(6):508-13.
83. Silva EJ, Santos CC, Zaia AA. Long-term cytotoxic effects of contemporary root canal sealers. *J Appl Oral Sci*. 2013;21(1):43-7.
84. Charland T, Hartwell GR, Hirschberg C, Patel R. An evaluation of setting time of mineral trioxide aggregate and EndoSequence root repair material in the presence of human blood and minimal essential media. *J Endod*. 2013;39(8):1071-2.
85. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater*. 2015;31(4):351-70.
86. Hosoya N, Nomura M, Yoshikubo A, Arai T, Nakamura J, Cox CF. Effect of canal drying methods on the apical seal. *J Endod*. 2000;26(5):292-4.
87. Paque F, Luder HU, Sener B, Zehnder M. Tubular sclerosis rather than the smear layer impedes dye penetration into the dentine of endodontically instrumented root canals. *Int Endod J*. 2006;39(1):18-25.
88. Candeiro GT, Correia FC, Duarte MA, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod*. 2012;38(6):842-5.

89. Desai S, Chandler N. Calcium hydroxide-based root canal sealers: a review. *J Endod.* 2009;35(4):475-80.
90. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod.* 2013;39(10):1281-6.
91. Viapiana R, Flumignan DL, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilleri J, Tanomaru-Filho M. Physicochemical and mechanical properties of zirconium oxide and niobium oxide modified Portland cement-based experimental endodontic sealers. *Int Endod J.* 2014;47(5):437-48.
92. de Siqueira Zuolo A, Zuolo ML, da Silveira Bueno CE, Chu R, Cunha RS. Evaluation of the Efficacy of TRUShape and Reciproc File Systems in the Removal of Root Filling Material: An Ex Vivo Micro-Computed Tomographic Study. *J Endod.* 2016;42(2):315-9.
93. Partovi M, Al-Havvaz AH, Soleimani B. In vitro computer analysis of crown discolouration from commonly used endodontic sealers. *Aust Endod J.* 2006;32(3):116-9.
94. Ioannidis K, Mistakidis I, Beltes P, Karagiannis V. Spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by MTA- and ZnOE-based sealers. *J Appl Oral Sci.* 2013;21(2):138-44.
95. Imai Y, Komabayashi T. Properties of a new injectable type of root canal filling resin with adhesiveness to dentin. *J Endod.* 2003;29(1):20-3.
96. Önem E. BBG, Şen B.H. Işınlama parametrelerinin kanal patlarının radyoopasitesi üzerine etkisi. *GÜ Diş Hek Fak Derg.* 2012. p. 99-104.
97. Guerreiro-Tanomaru JM, Duarte MA, Goncalves M, Tanomaru-Filho M. Radiopacity evaluation of root canal sealers containing calcium hydroxide and MTA. *Braz Oral Res.* 2009;23(2):119-23.
98. Silva EJ, Rosa TP, Herrera DR, Jacinto RC, Gomes BP, Zaia AA. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. *J Endod.* 2013;39(2):274-7.
99. Cheung GS. Endodontic failures--changing the approach. *Int Dent J.* 1996;46(3):131-8.
100. Sjogren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J.* 1997;30(5):297-306.
101. Okabe T, Sakamoto M, Takeuchi H, Matsushima K. Effects of pH on mineralization ability of human dental pulp cells. *J Endod.* 2006;32(3):198-201.
102. Zhang H, Shen Y, Ruse ND, Haapasalo M. Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2009;35(7):1051-5.
103. Sousa-Neto MD, Silva Coelho FI, Marchesan MA, Alfredo E, Silva-Sousa YT. Ex vivo study of the adhesion of an epoxy-based sealer to human dentine submitted to irradiation with Er : YAG and Nd : YAG lasers. *Int Endod J.* 2005;38(12):866-70.
104. Schwartz RS. Adhesive dentistry and endodontics. Part 2: bonding in the root canal system-the promise and the problems: a review. *J Endod.* 2006;32(12):1125-34.
105. Donnermeyer D, Burklein S, Dammaschke T, Schafer E. Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology.* 2019;107(4):421-36.
106. Wennberg A, Orstavik D. Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha. *Int Endod J.* 1990;23(1):13-9.
107. Teixeira FB, Teixeira EC, Thompson JY, Trope M. Fracture resistance of roots endodontically treated with a new resin filling material. *J Am Dent Assoc.* 2004;135(5):646-52.

108. Huffman BP, Mai S, Pinna L, Weller RN, Primus CM, Gutmann JL, et al. Dislocation resistance of ProRoot Endo Sealer, a calcium silicate-based root canal sealer, from radicular dentine. *Int Endod J.* 2009;42(1):34-46.
109. Bidar M, Sadeghalhoseini N, Forghani M, Attaran N. Effect of the smear layer on apical seals produced by two calcium silicate-based endodontic sealers. *J Oral Sci.* 2014;56(3):215-9.
110. Çalışkan MK. Kök Kanal Dolgu Yöntemleri. In: MK Ç, editor. *Endodontide Tanı ve Tedaviler. Üçüncü Baskı* ed. İstanbul, Türkiye: Nobel Yayınevi; 2014. p. 433-62.
111. Carrotte P. Endodontics: Part 8. Filling the root canal system. *Br Dent J.* 2004;197(11):667-72.
112. Gordon MP, Love RM, Chandler NP. An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38(2):87-96.
113. Eguchi DS, Peters DD, Hollinger JO, Lorton L. A comparison of the area of the canal space occupied by gutta-percha following four gutta-percha obturation techniques using Procosol sealer. *J Endod.* 1985;11(4):166-75.
114. Bal AS, Hicks ML, Barnett F. Comparison of laterally condensed .06 and .02 tapered Gutta-Percha and sealer in vitro. *J Endod.* 2001;27(12):786-8.
115. Yu YH, Kushnir L, Kohli M, Karabucak B. Comparing the incidence of postoperative pain after root canal filling with warm vertical obturation with resin-based sealer and sealer-based obturation with calcium silicate-based sealer: a prospective clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2021;25(8):5033-42.
116. Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y, Fleury A, Solomon E, He J. Clinical Outcome of Non-Surgical Root Canal Treatment Using a Single-cone Technique with Endosequence Bioceramic Sealer: A Retrospective Analysis. *J Endod.* 2018;44(6):941-5.
117. Kulild J, Lee C, Dryden J, Collins J, Feil P. A comparison of 5 gutta-percha obturation techniques to replicate canal defects. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):e28-32.
118. Keles A, Ahmetoglu F, Uzun I. Quality of different gutta-percha techniques when filling experimental internal resorptive cavities: a micro-computed tomography study. *Aust Endod J.* 2014;40(3):131-5.
119. De-Deus G, Maniglia-Ferreira CM, Gurgel-Filho ED, Paciornik S, Machado AC, Coutinho-Filho T. Comparison of the percentage of gutta-percha-filled area obtained by Thermafil and System B. *Aust Endod J.* 2007;33(2):55-61.
120. Siegel MJ, Evens RG. Advances in the use of computed tomography. *JAMA.* 1999;281(14):1252-4.
121. Güven Y. AO, Gençay K. Dentomaksillofasiyal bölge görüntülemesinde kullanılan üç boyutlu bilgisayarlı tomografi sistemleri. *Dental Tribune Türkiye baskısı.* 2011;8:6-10.
122. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc.* 2006;72(1):75-80.
123. Halazonetis DJ. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(5):627-37.
124. Kawamata A, Arijji Y, Langlais RP. Three-dimensional computed tomography imaging in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2000;44(2):395-410.
125. Durack C, Patel S. Cone beam computed tomography in endodontics. *Braz Dent J.* 2012;23(3):179-91.

126. Elliott JC, Dover SD. X-ray microtomography. *J Microsc.* 1982;126(Pt 2):211-3.
127. 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.
128. Rattanasak U. KK. Pore structure of cement/pozzolan composites by X- ray microtomography. *Cement and Concrete Research.* 2005;35(4):637-40.
129. Villas-Boas MH, Bernardineli N, Cavenago BC, Marciano M, Del Carpio-Perochena A, de Moraes IG, et al. Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mesial root canals of mandibular molars. *J Endod.* 2011;37(12):1682-6.
130. Baratto Filho F, Zaitter S, Haragushiku GA, de Campos EA, Abuabara A, Correr GM. Analysis of the internal anatomy of maxillary first molars by using different methods. *J Endod.* 2009;35(3):337-42.
131. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. Anomalous mandibular premolars: a mandibular first premolar with three roots and a mandibular second premolar with a C-shaped canal system. *Int Endod J.* 2008;41(11):1005-14.
132. Paque F, Peters OA. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *J Endod.* 2011;37(4):517-21.
133. Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, et al. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2011;44(4):362-9.
134. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod.* 2008;34(11):1370-3.
135. Rodig T, Hausdorfer T, Konietzschke F, Dullin C, Hahn W, Hulsmann M. Efficacy of D-RaCe and ProTaper Universal Retreatment NiTi instruments and hand files in removing gutta-percha from curved root canals - a micro-computed tomography study. *Int Endod J.* 2012;45(6):580-9.
136. 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.
137. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod.* 2007;33(9):1121-32.
138. Michetti J, Maret D, Mallet JP, Diemer F. Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy. *J Endod.* 2010;36(7):1187-90.
139. Kaya S, Yavuz I, Uysal I, Akkus Z. Measuring bone density in healing periapical lesions by using cone beam computed tomography: a clinical investigation. *J Endod.* 2012;38(1):28-31.
140. Garcia de Paula-Silva FW, Hassan B, Bezerra da Silva LA, Leonardo MR, Wu MK. Outcome of root canal treatment in dogs determined by periapical radiography and cone-beam computed tomography scans. *J Endod.* 2009;35(5):723-6.
141. Seltzer S, Naidorf IJ. Flare-ups in endodontics: I. Etiological factors. *J Endod.* 1985;11(11):472-8.
142. Wu MK, Dummer PM, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J.* 2006;39(5):343-56.
143. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod.* 1995;21(5):277-80.

144. Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J.* 2005;38(2):97-104.
145. Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod.* 1983;9(11):475-9.
146. Abou-Rass M, Piccinino MV. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982;54(3):323-8.
147. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, et al. The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod.* 2010;36(10):1664-8.
148. Gulabivala K, Ng YL, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas.* 2010;31(12):R49-84.
149. Hu S, Duan L, Wan Q, Wang J. Evaluation of needle movement effect on root canal irrigation using a computational fluid dynamics model. *Biomed Eng Online.* 2019;18(1):52.
150. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis LW. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J.* 2010;43(10):874-81.
151. Buchanan LS. Working length and apical patency: the control factors. *Endod Rep.* 1987:16-20.
152. Vera J, Hernandez EM, Romero M, Arias A, van der Sluis LW. Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical two millimeters of large root canals: an in vivo study. *J Endod.* 2012;38(10):1340-3.
153. George R, Walsh LJ. Apical extrusion of root canal irrigants when using Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers with optical fibers: an in vitro dye study. *J Endod.* 2008;34(6):706-8.
154. Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *J Endod.* 2005;31(10):742-5.
155. Cuellar MRC, Velasquez-Espedilla EG, Pedrinha VF, Vivan RR, Duarte MAH, Andrade FB. Can kinematics, file diameter, and PUI influence the intracanal decontamination and apical bacterial extrusion? *Braz Oral Res.* 2020;35:e003.
156. Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J.* 1998;31(6):384-93.
157. Souza RA. The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation. *Braz Dent J.* 2006;17(1):6-9.
158. de Souza Filho FJ, Benatti O, de Almeida OP. Influence of the enlargement of the apical foramen in periapical repair of contaminated teeth of dog. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1987;64(4):480-4.
159. Lin LM, Rosenberg PA. Repair and regeneration in endodontics. *Int Endod J.* 2011;44(10):889-906.
160. Siqueira JF, Jr. Microbial causes of endodontic flare-ups. *Int Endod J.* 2003;36(7):453-63.
161. Karataslioglu E, Arslan H, Er G, Avci E. Influence of canal curvature on the amount of apically extruded debris determined by using three-dimensional determination method. *Aust Endod J.* 2019;45(2):216-24.
162. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18(2):269-96.

163. al-Omari MA, Dummer PM. Canal blockage and debris extrusion with eight preparation techniques. *J Endod.* 1995;21(3):154-8.
164. Jamleh A, Fukumoto Y, Takatomo Y, Kobayashi C, Suda H, Adorno CG. A comparison between two negative pressure irrigation techniques in simulated immature tooth: an ex vivo study. *Clin Oral Investig.* 2016;20(1):125-31.
165. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32(2):271-5.
166. Gharechahi M, Hoseinzadeh M, Moradi S, Mehrjouei M. Evaluation of various obturation techniques with bioceramic sealers in 3D-printed C-shaped canals. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):554.
167. Elnawam H, Abdelmougod M, Mobarak A, Hussein M, Aboualmakarem H, Girgis M, et al. Regenerative Endodontics and Minimally Invasive Dentistry: Intertwining Paths Crossing Over Into Clinical Translation. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022;10:837639.
168. Gluskin AH, Peters CI, Peters OA. Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *Br Dent J.* 2014;216(6):347-53.
169. Plotino G, Grande NM, Tocci L, Testarelli L, Gambarini G. Influence of Different Apical Preparations on Root Canal Cleanliness in Human Molars: a SEM Study. *J Oral Maxillofac Res.* 2014;5(2):e4.
170. Yared GM, Dagher FE. Influence of apical enlargement on bacterial infection during treatment of apical periodontitis. *J Endod.* 1994;20(11):535-7.
171. Marvaniya J, Agarwal K, Mehta DN, Parmar N, Shyamal R, Patel J. Minimal Invasive Endodontics: A Comprehensive Narrative Review. *Cureus.* 2022;14(6):e25984.
172. Saluja P, Mir S, Bavabeedu SS, Arora S, Abdulla AM, Baba SM. Relation between Apical Seal and Apical Preparation Diameter: An In Vitro Study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2020;12(Suppl 1):S332-S5.
173. Laslami K, Dhoun S, El Harchi A, Benkiran I. Relationship between the Apical Preparation Diameter and the Apical Seal: An In Vitro Study. *Int J Dent.* 2018;2018:2327854.
174. Lu Y, Wang R, Zhang L, Li HL, Zheng QH, Zhou XD, et al. Apically extruded debris and irrigant with two Ni-Ti systems and hand files when removing root fillings: a laboratory study. *Int Endod J.* 2013;46(12):1125-30.
175. Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C, Belanger M, Britto LR. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *J Endod.* 2006;32(5):434-7.
176. Dunavant TR, Regan JD, Glickman GN, Solomon ES, Honeyman AL. Comparative evaluation of endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilms. *J Endod.* 2006;32(6):527-31.
177. Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod.* 1987;13(4):147-57.
178. Milani AS, Kuzegari S, Zand V, Mokhtari H, Rahbar M. Ability of Calcium Silicate and Epoxy Resin-based Sealers to Fill the Artificial Lateral Canals in the Presence or Absence of Smear Layer. *Maedica (Bucur).* 2021;16(3):458-62.
179. Guivarc'h M, Jeanneau C, Giraud T, Pommel L, About I, Azim AA, et al. An international survey on the use of calcium silicate-based sealers in non-surgical endodontic treatment. *Clin Oral Investig.* 2020;24(1):417-24.
180. Yanpiset K, Banomyong D, Chotvorarak K, Srisatjaluk RL. Bacterial leakage and micro-computed tomography evaluation in round-shaped canals obturated with

bioceramic cone and sealer using matched single cone technique. *Restor Dent Endod.* 2018;43(3):e30.

181. Moinzadeh AT, Zerbst W, Boutsoukis C, Shemesh H, Zaslansky P. Porosity distribution in root canals filled with gutta percha and calcium silicate cement. *Dent Mater.* 2015;31(9):1100-8.

182. Gordon MP, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J.* 2004;37(7):425-37.

183. Ruparel NB, Ruparel SB, Chen PB, Ishikawa B, Diogenes A. Direct effect of endodontic sealers on trigeminal neuronal activity. *J Endod.* 2014;40(5):683-7.

184. Li J, Chen L, Zeng C, Liu Y, Gong Q, Jiang H. Clinical outcome of bioceramic sealer iRoot SP extrusion in root canal treatment: a retrospective analysis. *Head Face Med.* 2022;18(1):28.

185. Graunaite I, Skucaite N, Lodiene G, Agentiene I, Machiulskiene V. Effect of Resin-based and Bioceramic Root Canal Sealers on Postoperative Pain: A Split-mouth Randomized Controlled Trial. *J Endod.* 2018;44(5):689-93.

186. Lin X, Chi D, Gong Q, Tong Z. An in vitro study on the effects of serum proteins on *Enterococcus faecalis* adhesion to three types of root sealers and gutta-percha. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):622.

187. Siqueira JF, Jr., Fraga RC, Garcia PF. Evaluation of sealing ability, pH and flow rate of three calcium hydroxide-based sealers. *Endod Dent Traumatol.* 1995;11(5):225-8.

188. McMichen FR, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K. A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. *Int Endod J.* 2003;36(9):629-35.

189. Zhang W, Li Z, Peng B. Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107(6):e79-82.

190. Mendes AT, Silva PBD, So BB, Hashizume LN, Vivian RR, Rosa RAD, et al. Evaluation of Physicochemical Properties of New Calcium Silicate-Based Sealer. *Braz Dent J.* 2018;29(6):536-40.

191. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod.* 2017;42(1):19-26.

192. Zordan-Bronzel CL, Esteves Torres FF, Tanomaru-Filho M, Chavez-Andrade GM, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM. Evaluation of Physicochemical Properties of a New Calcium Silicate-based Sealer, Bio-C Sealer. *J Endod.* 2019;45(10):1248-52.

193. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Chavez-Andrade GM, de Almeida M, Navarro LG, Steier L, et al. Physicochemical Properties and Volumetric Change of Silicone/Bioactive Glass and Calcium Silicate-based Endodontic Sealers. *J Endod.* 2017;43(12):2097-101.

194. Kim K, Kim DV, Kim SY, Yang S. A micro-computed tomographic study of remaining filling materials of two bioceramic sealers and epoxy resin sealer after retreatment. *Restor Dent Endod.* 2019;44(2):e18.

195. Kim J, Song YS, Min KS, Kim SH, Koh JT, Lee BN, et al. Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restor Dent Endod.* 2016;41(1):29-36.

196. Torres FFE, Zordan-Bronzel CL, Guerreiro-Tanomaru JM, Chavez-Andrade GM, Pinto JC, Tanomaru-Filho M. Effect of immersion in distilled water or phosphate-buffered saline on the solubility, volumetric change and presence of voids within new calcium silicate-based root canal sealers. *Int Endod J.* 2020;53(3):385-91.

197. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J.* 2005;38(9):617-26.
198. Macedo FPG, Soares AJ, Marceliano-Alves MFV, Martinez E, Lopes R, Bastos LF, et al. The effect of root canal preparation tapers on planktonic bacteria and biofilm reduction in the apical third: A correlative microtomography and microbiological laboratory study. *Int Endod J.* 2024;57(6):700-12.
199. Silva E, Pena-Bengoa F, Ajuz NC, Vieira VTL, Martins JNR, Marques D, et al. Multimethod analysis of large- and low-tapered single file reciprocating instruments: Design, metallurgy, mechanical performance, and irrigation flow. *Int Endod J.* 2024;57(5):601-16.
200. Teixeira JM, Cunha FM, Jesus RO, Silva EJ, Fidel SR, Sassone LM. Influence of working length and apical preparation size on apical bacterial extrusion during reciprocating instrumentation. *Int Endod J.* 2015;48(7):648-53.



EKLER

EK-1 Etik Kurul Kararı



T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK VE GÖZLEMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARARI

ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	
	AÇIK ADRESİ:	
	TELEFON	
	FAKS	
	E-POSTA	

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI	Dr. Öğr. Üyesi Tülin DOĞAN ÇANKAYA
ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Farklı Apikal Çaplara Sahip Tek Köklü Dişlerde Farklı Kök Seviyelerinde Uygulanan Biyoseramik İçerikli Kök Kanal Patının Kök Kanal Dolum Kalitesine ve Apikal Ekstrüzyona Etkisi
DESTEKLEYİCİ	

KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 2-2	Tarih: 16/10/2024
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerçeğe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı	Bircan	Uyruğu	
Soyadı	KULOĞLU	Tel no	
Doğum tarihi		e-posta	

Eğitim Bilgileri

Mezun olduğu kurum		Mezuniyet yılı
Lise		
Lisan/Yüksek Lisans		

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre(yıl-yıl)
Diş Hekimi		

Yabancı Dilleri	Sınav Türü	Puanı
İngilizce	e-Yökdil	77,5

Yayınlar ve Bildiriler:

- 2023, 15. Uluslararası Türk Endodonti Derneği Kongresi, Diş Kaynaklı Kutanöz Sinüs Yolunun Endodontik Tedavisi: Olgu Serisi, Sözlü Sunum, Bursa
- 2024, Kitap Bölümü, Güncel Endodonti Çalışmaları V, Kök Kanallarının

Lazerle Dezenfeksiyonunda Güncel Yöntemler, Akademisyen Yayınevi

- 2024, 10. Uluslararası Endodonti Sempozyumu, Farklı Markalardan Kullanıma Hazır Dental EDTA Solüsyonlarının pH Değerlerinin İncelenmesi: İn Vitro Çalışma, Sözlü Sunum, Antalya
- 2024, 10. Uluslararası Endodonti Sempozyumu, Periapikal Lezyona Sahip Yetersiz Kök Kanal Tedavili Dişlerin Yeniden Tedavisi: Olgu Sunumu, Poster Sunumu, Antalya
- 2024, FDI World Dental Congress, Replantation of Lower Anterior Teeth after Avulsion: Case Report, Poster Sunumu, İstanbul

