



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

MAKSİLLER 1. VE 2.MOLAR DİŞLERDE İKİNCİ MEZİOBUKKAL
KANALIN FARKLI APİKAL BOYUTLARDA GENİŞLETİLMESİNİN
KIRIK DAYANIMINA ETKİSİ

Nihat ŞAHİN
UZMANLIK TEZİ

ENDODONTİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Uğur AYDIN

GAZİANTEP
2024

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazım sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Nihat ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimimde ve tezimin hazırlanmasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım, kıymetli hocam Sayın Prof.Dr.Uğur AYDIN'a

Uzmanlık eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerini bizlerle paylaşan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatma TUNÇ ve Sayın Dr.Öğr. Üyesi Emre ÇULHA'ya

Asistanlık eğitimim boyunca birlikte çalışma şansı bulduğumtüm asistan arkadaşlarıma ve bölüm personellerimize,

Bugünlere ulaşabilmemde haklarını ve emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, maddi ve manevi olarak hayatım boyunca yanımda olan değerli aileme,

Uzmanlık eğitimim süresince tüm sıkıntılarımı paylaşabildiğim, sevgisi ve desteğiyle bu süreci kolaylaştıran, sevgili eşim Bilge SAYGILI ŞAHİN'e

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	2
TEŞEKKÜR.....	1
İÇİNDEKİLER.....	2
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	5
RESİMLER.....	8
TABLOLAR.....	9
ÖZET.....	10
ABSTRACT	11
1.GİRİŞ.....	13
2. GENEL BİLGİLER	15
2.1 Kök Kanal Dezenfeksiyonu	15
2.2 Diş Morfolojisi ve Endodontik Giriş Kaviteleri.....	16
2.2.1 Maksiller molar dişlerin kök kanal morfolojisi ve ilave kök kanalları	17
2.2.2 Mandibular molar dişlerin kök kanal morfolojisi ve ilave kök kanalları	28
2.3 Kök Kanal Tedavili Dişlerde Kırılma Direnci.....	31
2.3.1 Kök kanal sisteminin aşırı şekillendirilmesi	32
2.3.2 Kalan dentin kalınlığının düzensiz olması	32
2.3.3 Kök kanal dolum yöntemi ve spreader tipi	32
2.3.4 Kanal içi post ve kuron tasarımları	33
2.3.5 Döner kanal aletlerinden kaynaklanan mikro çatlaklar	33
2.4 Kırılma Direncinin Ölçüldüğü Test Yöntemleri	35
3. MATERYAL ve METOD	37
3.1 Örneklerin Seçilmesi	37
3.2 CBCT görüntülerinin elde edilmesi	38
3.3 Örneklerin Hazırlanması ve Preparasyonu.....	39
3.4 Kırık Dayanımı Testi	41
3.5. İstatistiksel Analiz	44
4. BULGULAR	45

4.1. Verilerin Normal Dağılıp Dağılmadıklarının Değerlendirilmesi.....	45
4.2. Gruplar Arası Kırılma Dayanımının Karşılaştırılması	46
5. TARTIŞMA.....	50
6. SONUÇ	58
7. KAYNAKÇA.....	60





KISALTMALAR ve SİMGELER

CBCT	Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi
ccsantrimetre	küp
DBDistobukkal	
DKDakika	
EDTA	Etilen Diamin Tetra Asetikasit
FOVField of view	
MB1Birinci mezionbukkal kanal	
MB2 İkinci meziobukkalkanal	
MB3 Üçüncümeziobukkal kanal	
mm	milimetre
MMKMidmezial kanal	
MPaMegapaskal	
Newton	N
PPalatinal kanal	
PSDPeriservikal dentin	
SAF	Self adjusting file
°	Derece
%	Yüzde



ŞEKİLLER

Şekil 2. 1. Maksiller molarlarda MB2 kanalın tipik görüntüsü.....	17
Şekil 2. 2. Weine sınıflandırması	19
Şekil 2. 3. Vertucci sınıflandırması.....	20
Şekil 2. 4. Tek bir kökte gözlemlenebilecek hemen hemen tüm anatomik konfigürasyonları içeren en yaygın otuzyedki kök kanal konfigürasyonu.....	21
Şekil 2. 5. Maksiller molarların kök kanal anatomisini gösteren 3D modeller	23
Şekil 2. 6. Maksiller molarların füzyon ve geminasyonlu kök kanal anatomisini gösteren 3D modeller.....	24
Şekil 2. 7. Maksiller ikinci molarların kök kanal anatomisini gösteren 3D modeller	28
Şekil 2. 8. MMK görüntüsü	29
Şekil 2. 9. MMK 3D modellerde görüntüsü.....	29
Şekil 2. 10. Melton'un C-şekilli kanal sınıflandırmasının diyagramsal gösterimi	31
Şekil 4.1. Veri dağılımlarının Q-Q grafiğinde gösterilmesi.....	46
Şekil 4. 2. Grupların kırılma dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi	48
Şekil 5. 1. Aksiyel kesit tomografi görüntüleri. Preparasyon öncesi B. 0.02 taper ile preparasyon C. 0.04 taper ile preparasyon.....	54

RESİMLER

Resim 2. 1. AG-5 kNG, Shimadzu, (Tokyo, Japonya) Universal Test Cihazı	36
Resim 3. 1. CBCT taraması için silikona gömülen mezial kökler.....	38
Resim 3. 2. Mb2 kanalların tomografi görüntüleri	39
Resim 3. 3. 25.04 grubundan kırma testi öncesi ve sonrası görüntüler	42
Resim 3. 4. 30.04 grubundan kırma testi öncesi ve sonrası görüntüler	42
Resim 3. 5. Universal test cihazı ile yapılan kırma düzeneği	43
Resim 3. 6. Kırma ucu görüntüsü	43



TABLÖLAR

Tablo 2. 1. MB2 kanalının Vertucci sınıflamasına göre prevelansı	22
Tablo 2. 2. Farklı popölasyonların MB2 kanallarının prevelansı.....	26
Tablo 2. 3. MB3 prevelansı	27
Tablo 4. 1. Normalite testleri ve sonuçları	45
Tablo 4. 2. Grupların tanımlayıcı istatistik verilerinin gösterilmesi.....	47
Tablo 4. 3. Tek yönlü varyans analizi sonuçları.....	47
Tablo 4. 4. Tukey çoklu karşılaştırma testi ile grupların ikili karşılaştırılma sonuçları	47

ÖZET
MAKSİLLER 1. VE 2.MOLAR DIŞLERDE İKİNCİ MEZİOBUKKAL KANALIN
FARKLI APİKAL BOYUTLARDA GENİŞLETİLMESİNİN KIRIK DAYANIMINA
ETKİSİ

Nihat ŞAHİN

Uzmanlık Tezi

Endodonti Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Uğur AYDIN

Ağustos2024

Endodontik tedavi görmüş dişlerin yapısal dayanımlarının azaldığı bilinmektedir. Endodontik giriş kavitelerinin aşırı genişveyakontROLSÜZ hazırlanması, aşırı preparasyon, post boşluğu hazırlama prosedürleri ve yüksek taperlardakanal genişletmesi buna zemin hazırlayabilir. Bunlara bağlı olarak dentinde meydana gelen mikro çatlaklar ilerleyip vertikal kırıklara dönüşebilmektedir. Bu çalışmanın amacı üst molar dişlerde bulunan ikinci meziobukkalkanalın farklı apikal boyutlarda genişletilmesinin dişin kırılma dayanımına etkisine bakmaktır. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi ile ikinci meziobukkalkanal varlığı saptanan 60maksillermolar diş kullanılarak herbirinde 12 diş bulunan, morfometrik özellikleribirbirine benzer 4 deney grubu ve 1 kontrol grubu oluşturuldu. Tüm gruplarda birinci meziobukkalkanal #35.04'e kadar; ikinci meziobukkalkanal ise Grup1'de #20.04; grup 2'de #25.04; grup 3'de #30.04 ve grup 4'de #35.04 ile genişletildi.

Kontrol grubunda ikinci meziobukkalkanalda genişletme yapılmadı. Universal test cihazı ileköklere, kırılana dek dikey kuvvet uygulandı ve değerler kaydedildi.Deney gruplarında #20.04 ile yapılan genişletme en yüksek ve 35.04 ile yapılan genişletme en düşük kırık dayanımını göstermiştir.Tek yönlü varyans analizine göre gruplar arasında anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Kontrol, #20.04 ve #25.04 grupları arasında kırılma dayanımı açısından anlamlı bir farklılık elde edilmemiştir ($p>0.05$). Bu üç gruptaki kırılma dayanımları #30.04, #35.04 gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı miktarda daha fazlaydı ($p<0.05$). #30.04 ve #35.04 grupları arasında ise anlamlı bir farklılık elde edilmemiştir.Sonuç olarak;ikinci meziobukkalkanalın genişletilmesi esnasında yüksek apikal genişlik ve koniklikte aletlerin kullanılması dentin kalınlığının azalmasına bağlı olarak dişin kırık dayanımını belirgin olarak düşürmüştür.

Anahtar kelimeler: apikal genişlik, ikinci meziobukkalkanal,kırılma dayanımı, taper, vertikal kök kırığı

ABSTRACT

THE EFFECT OF ROOT CANAL PREPARATION SIZE OF SECOND MESIOBUCCAL CANALS ON FRACTURE RESISTANCE OF THE MAXILLARY 1. MOLAR AND 2.MOLAR TEETH

Nihat ŞAHİN

Specialty Thesis
Department of Endodontics
Supervisor: Prof. Dr. Uğur AYDIN
August 2024

It is known that the structural strength of teeth that have undergone endodontic treatment decreases. Excessively enlarged or uncontrolled preparation of endodontic access cavities, excessive preparation, post space preparation procedures and canal enlarging at high tapers may predispose to this. Due to these, microcracks occurring in dentin can progress and turn into vertical fractures. The aim of this study is to examine the effect of enlarging the second mesiobuccal canal in upper molar teeth at different apical dimensions on the fracture strength of the tooth. Using 60 maxillary molar teeth with the presence of a second mesiobuccal canal by cone beam computed tomography, 4 experimental groups and 1 control group, each with 12 teeth and similar morphometric features, were created. In all groups, up to the first mesiobuccal canal #35.04; the second mesiobuccal canal is #20.04 in Group 1; #25.04 in group 2; expanded by #30.04 in group 3 and #35.04 in group 4. In the control group, no expansion was made in the second mesiobuccal canal. Vertical force was applied to the roots with the universal testing device until they broke and the values were recorded. In the experimental groups, expansion made with #20.04 showed the highest and expansion made with #35.04 showed the lowest fracture strength. According to one-way analysis of variance, it was determined that there were significant differences between the groups ($p < 0.05$). There was no significant difference in breaking strength between the control, #20.04 and #25.04 groups ($p > 0.05$). The breaking strengths in these three groups were statistically significantly higher than the #30.04, #35.04 groups ($p < 0.05$). No significant difference was observed between #30.04 and #35.04 groups. In conclusion; The use of tools with high apical width and taper during the expansion of the second mesiobuccal canal significantly reduced the fracture resistance of the tooth due to the decrease in dentin thickness.

KEYWORDS: apical patency, fracture resistance, second mesiobuccal canal, taper, vertical root fracture



1.GİRİŞ

Endodontik tedavinin temel hedefi, periradiküler periodontitisin önlenmesi ve tedavisidir(1, 2). Bu amaç ile estetik ve fonksiyon kaybını önleyerek hastanın doğal dişlerini uzun dönem ağızda tutmayı sağlamaya çalışır. Bir kök kanalının diş hekimi tarafından preparasyonunda hedef kök kanal sisteminin orijinal şeklini koruyarak, düzenli konik bir formun oluşturulmasıdır. Ancak son preparasyon çapının ve taperin (koniklik derecesi) üzerinde görüş birliği yoktur(3). Daha etkili bir dezenfeksiyon için büyük çaplar önerilirken;(4, 5)seçilen final çapının bir fark oluşturmadığını savunan araştırmalar da vardır(6, 7).

Kök kanal tedavisinin başarısı, kanalların yeterli düzeyde preparasyon ve irrigasyonuna bağlıdır.Geçmişten günümüze birçok farklı kanal aleti ve irrigasyon ajanı ile kanal tedavisi yapılmaktadır. Etkin bir kanal tedavisi için tüm kök kanallarının bulunup tedavi edilmesi gerekmektedir(8). Ana kök kanallarının dışında, üst molarlarda ikinci meziobukkal kanal(MB2) ve alt molarlardamidmezial(MMK) kanallar, sıklıkla gözden kaçabilen kanallardır. Bu tür gözden kaçırılan durumlar tedavinin başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olabilmektedir(9, 10).

Kanal tedavisinin basamakları olan şekillendirme ve temizleme işlemleri mikroorganizmalara karşı bir mücadeledir. Ancak sadece etkili bir dezenfeksiyon bunun için yeterli değildir, bununla birlikte yeterli bir koronal retansiyon ve kök ile çevre dokuların korunması ile dişlerin ağızda uzun süreli tutulması sağlanabilir(11-13). Endodontik tedavi görmüş dişlerin yapısal dayanımlarının azaldığı bilinmektedir. Endodontik giriş kavitelerinin aşırı geniş veya kontrolsüz hazırlanması, aşırı kök kanal şekillendirilmesi, post boşluğu hazırlama prosedürleri ve yüksek taperlarda genişletmeler buna zemin hazırlayabilir. Bunlara bağlı olarak dentinde meydana gelen mikro çatlaklar ilerleyip vertikal kök kırıklarına(VKK) dönüşebilmektedir(14, 15). Kök preparasyonundadentin hacminin azalmasının neden olduğu perforasyon riski ve kökün zayıflaması, restore edilmiş dişin prognozunun tehlikeye girmesine neden olabilmektedir(16, 17). Kanal tedavisi sırasında sürekli ve yüksek konikliğe sahip aletlerin kullanılması orta ve koronal üçlüde fazla dentinuzaklaştırılmasına ve kanal tedavili dişlerde en sık görülen komplikasyonlardan biri olan vertikal kök kırığına neden olabilir(18, 19). Bunların sonucunda

meydana gelen kırıklar, kök kuron kırığına kadar gitmekte ve dişin çekilmesi ile sonuçlanabilmektedir(20).

Bu çalışmanın amacı üst molar dişlerde bulunan MB2kanalın farklı apikal boyutlarda genişletilmesinin dişin kırılma dayanımına etkisine bakmaktır.



2.GENEL BİLGİLER

Endodontik tedavi genellikle enstrümantasyon, irrigasyon, medikasyon ve obturasyon aşamalarından oluşur. Kanal tedavisi basitten karmaşığa birçok vakada öngörülebilir ve başarılı sonuçları olan bir yaklaşımdır. Kök kanal sisteminin temizleme ve şekillendirilmesinde ana hedefler;

- Enfekte yumuşak ve sert dokunun uzaklaştırılması
- Irrigasyon solüsyonlarının apikal bölgeye kadar etkin ulaşımını sağlamak
- Kök kanalının orijinal şeklini koruyarak, düzenli konik bir formun oluşturulması
- Kök yapılarının bütünlüğünü korumaktır(21).

Endodontik tedavinin başarısı kök kanal sisteminin etkili dezenfeksiyonu, ana ve aksesuar kök kanallarının bulunması, kök kanal anatomisi ve morfolojisinin bilinmesi gibi faktörlere bağlıdır(22, 23). Son zamanlarda geri dönüşümsüz pulpitis tanısı konan dişlerin tedavisinde %95'e varan olumlu sonuçlar(24-26) ve enfekte veya nekrotik pulpalı dişler için %85'e varan olumlu sonuçlar bildirilmiştir(13, 27, 28).

2.1 Kök Kanal Dezenfeksiyonu

Endodontide irrigasyonun mekanik, kimyasal ve biyolojik amaçları vardır.

- Debrisi uzaklaştırmak
- Kanala lubrikasyon kazandırmak
- Organik ve inorganik dokuları çözmek
- Smear tabakasını çözmek veya ortadan kaldırmak
- Biyofilmi ortadan kaldırmak, bu amaçlardandır(29).

İrrigasyonun mekanik etkinliği irrigantın, tüm kök kanal sistemiyle temasına; mekanik olarak ulaşılammış apikal dallanmalar, istmus ve lateral kanallara ulaşabilmesine bağlıdır(30). Kimyasal etkinlik ise irrigantın türüne,konsantrasyonuna, temas alanına ve irrigant ile kök kanal

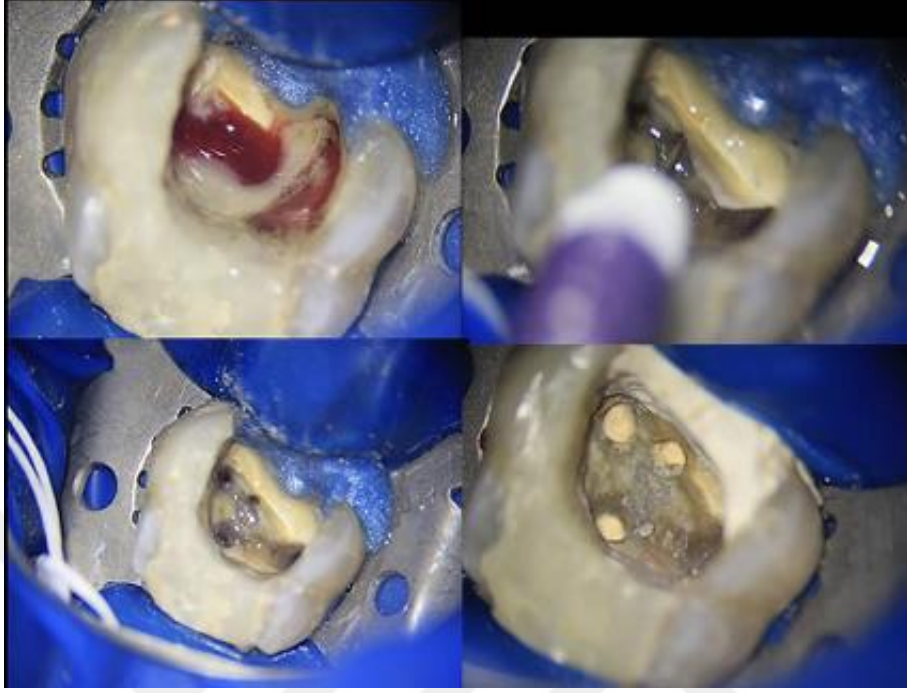
yüzeyinin temas süresine bağlıdır(31). Kanal tedavisinin başarısı mekanik ve kimyasal başarı ile doğrudan ilişkilidir(32).

Pulpa ve periapikal hastalıkların ana nedeni bakteriler ve yan ürünleridir. Endodontik tedavi, kök kanal sistemini ve periapikal dokuları tamamen temizlemek ve yeniden enfeksiyonu önlemek için yapılır. Kemomekanik hazırlık (mekanik enstrümantasyon ve kimyasal irrigasyon) bakteri sayısını azaltmak için çok önemlidir. Kök kanalı anatomisinin karmaşıklığı aletlerin erişilebilirliğini engellediğinden ve mikroorganizmalar için bir sığınak sağladığından, mekanik enstrümantasyon tek başına etkili dezenfeksiyon sağlamak için yetersizdir. Kök dolgusu sırasında kök kanalında kalan bakteriler kalıcı enfeksiyonlara ve tedavi başarısızlığına neden olur. Bu nedenle, yeterli dezenfeksiyon elde etmek için kimyasal irrigasyon yöntemlerinin mekanik enstrümantasyonla birlikte kullanılması gerekir(33).

İrrigasyon solüsyonları, pulpa odasında ve kök kanalının koronal bölgesinde bulunan mikroorganizmaları kolayca öldürebilir, ancak bakteriler ve toksinler daha zor erişilebilir alanlarda (istmus, yan kanallar ve ekstra kanallar) hayatta kalmaya devam edebilir. Bu durum apikal periodontitise veya mevcut durumun devamına yol açabilir(34).

2.2 Diş Morfolojisi ve Endodontik Giriş Kaviteleri

Diş pulpası canlı kaldığı süre boyunca çok çeşitli şekiller ve konfigürasyonlar sergiler. Geleneksel ve modern giriş kavitesi hazırlığı prensiplerini ve hazırlık sırasında ortaya çıkabilecek sorunları anlamak için kök kanal anatomisinin karmaşık yapısı hakkında bilgi sahibi olunmalıdır(35). Uygun koronal giriş hazırlanmış dişlerde kanal ağzlarının tespiti için yüksek kalitede büyütme, aydınlatma ile görüş sağlayan dental operasyon mikroskoplarının (DOM) kullanımı tavsiye edilir (36, 37). DOM, kanal ağzlarının tespitinde göz ve dentalbüyüteçlere göre daha üstündür(38, 39). Ancak her teknolojik gelişmede olduğu gibi bu konuda da görüş ayrılıkları vardır. Örneğin, bir grup araştırmacı maksillermolar dişlerde MB2 kanalların tespitinde DOM ve dental büyüteçlerinbenzer şekilde etkili olduğunu bildirirkenbaşka çalışmalar DOM kullanımının kanal tespit sıklığını anlamlı oranda artırmadığını bildirmişlerdir(37,40). (Şekil 2.1)



Şekil 2. 1. Maksillermolarda MB2 kanalın tipik görüntüsü(41)

2.2.1 Maksillermolar dişlerin kök kanal morfolojisi ve ilave kök kanalları

Kanalların şekillendirilmesinde, kanal anatomisinin enstrümantasyon yöntemlerinden daha önemli olduğu araştırmalar tarafından vurgulanmıştır. (42, 43). Versiani ve ark. kalıcı dişlerin pulpa anatomisini detaylandırmıştır. Gelecek araştırmalar için bir temel oluşturan bu çalışmalar, son 125 yıllık araştırmaların sonuçlarını doğrulamıştır(44).

Maksiller birinci molar hacim olarak en büyük diş ve morfolojisi en karmaşık dişlerden biridir. Hem hacimleri hem de çenelerdeki ankrajları sayesinde en büyük ve en güçlü maksiller dişlerdir. Bu dişin kronu bukkolingual olarak mesiodistalden daha geniştir(45). Dört iyi gelişmiş fonksiyonel tüberküle ve tamamlayıcı tüberküle (karabelli tüberkülü) sahiptir(46). Maksillermolar dişlerin ortalama kök uzunlukları; MB, 12.9 mm (8.5–18.8 mm); Distobukkal(DB), 12.2 mm (8.9–15.5 mm); Palatinal(P) 13.7 mm (10.6–17.5 mm) dir.

Maksillermolar dişlerin kök sayılarına göre oranları;

3 köklü (%97.7), 2 köklü (%1.8), 4 köklü (% 0.3) ve 1 köklüdür. (%0.2)(47).

Maksillermolar dişlerin kanal sayılarına göre oranları;

3 kanal (%30-40)ve 4 kanallıdır (%60-70)(47).

MB, 2 kanal %60.4), 1 kanal (%29.3), 3 kanal (%0.1) ve diğerleri (%0.4);

DB, 1 kanal (%98.6), ve 2 kanal (%1.4);

P, 1 kanal (%99.26), 2 kanal (%0.7) ve diğerleri (%0.04)(44).

Kök formasyonunu ortalama olarak erkekler 9.2, kadınlar 10.1 yaşta tamamlar (47).

Üst birinci moların genellikle üç kökü ve dört kanalı vardır. P kökü genellikle en büyük boyutlara sahiptir, bunu sırasıyla MB ve DB kökler takip eder. MB kök genellikle bukkolingual olarak çok geniştir ve genellikle bu dişteki tüm kanalların en küçüğü olan meziolingual, meziopalatinal veya MB2 olarak adlandırılan bir ilave kanala sahiptir. MB2 kanal ilk defa 1925 yılında Hess tarafından rapor edilmiştir (48). Maksiller azı dişleri, endodontik tedavi sırasında klinik zorluk oluşturmaktadır. Bunun nedeni, kök kanal sisteminin karmaşıklığı ve çeşitlilik göstermesidir. DOM kullanımı yalnızca dördüncü bir kanalın değil, başka ek kanalların da var olduğunun keşfedilmesine katkıda bulunmuştur (49).

Başarılı kök kanal tedavisi, kök kanal sistemine etkin bir şekilde ulaşmak ve mikroorganizmaları uzaklaştırmak için kök kanal morfolojisi hakkında yeterli bilgi sahibi olmayı gerektirir(50). İnsan diş tipleri, köklerin ve kök kanallarının sayısı ve şekli açısından farklılıklara sahiptir (51-55). Zamanla bu konu hakkındadeneyssel ve klinik çalışmalar yapılmış olup; kök ve kanal morfolojisinin popülasyonlar arasında, popülasyonlar içinde ve aynı birey içinde önemli ölçüde değişebileceği gösterilmiştir(51).

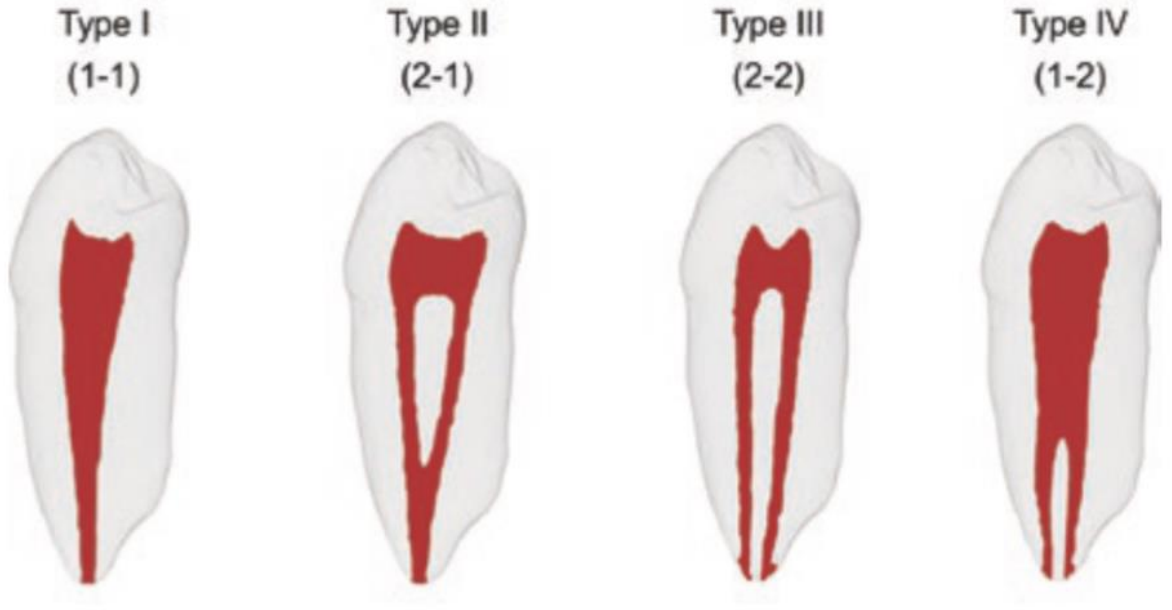
Weine ve ark., kesitleme ve radyografik yöntemlerini kullanarak, tek bir kök içindeki kök kanal konfigürasyonlarını, ana kök kanalının pulpa odasından kök tepesine kadar olan seyri boyunca bölünmesine bağlı olarak üç türe ayıran ilk kişilerdir. Wine bu sınıflandırmasına dördüncü kök kanal türünü sonradan eklemiştir (Şekil 2.2) (56).

Tip 1: Pulpa odasından apekse kadar uzanan tek kanal vardır.

Tip 2: Pulpa odasından iki kanal olarak başlayıp, apikal bölgede birleşip tek kanal olarak çıkar.

Tip 3: Pulpa odasını ayrı olarak terk eden iki kanal,aynı şekilde apekten iki ayrı kanal olarak çıkar.

Tip 4: Pulpa odasında tek kanal olarak başlayan kanal, apekte ikiye ayrılıp çıkar(57).



Şekil 2. 2. Weine sınıflandırması

İkinci ve daha detaylı sınıflandırma Vertucci tarafından 2400 dişi şeffaflaştırma tekniği ile inceleyip kök kanal konfigürasyonlarını sekiz sınıfa ayırarak yapılmıştır. (Şekil 2.3)

Tip 1: Pulpa odasından tek kanal olarak başlayıp, apikalde tek kanal olarak devam eder.

Tip 2: Pulpa odasından iki kanal olarak başlayıp, apikalde tek kanal olarak sonlanır.

Tip 3: Pulpa odasından tek kanal olarak çıkıp, önce ikiye ayrılıp sonra apikalde tek kanal olarak sonlanır.

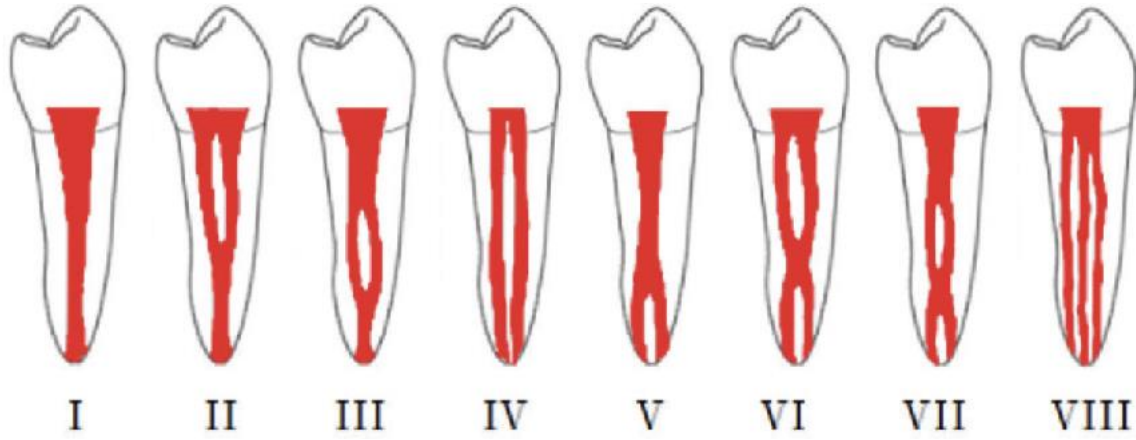
Tip 4: Pulpa odasından iki kanal olarak başlayan kanallar, apikalde yine iki kanal olarak çıkar.

Tip 5: Pulpa odasından tek kanal olarak başlayıp, apikalde iki kanal olarak sonlanır.

Tip 6: Pulpa odasını terk eden iki ayrı kanal, önce birleşerek tek bir kanal halinde devam eder ve apikal bölgede tekrar ayrılarak iki ayrı kanal şeklinde sonlanır.

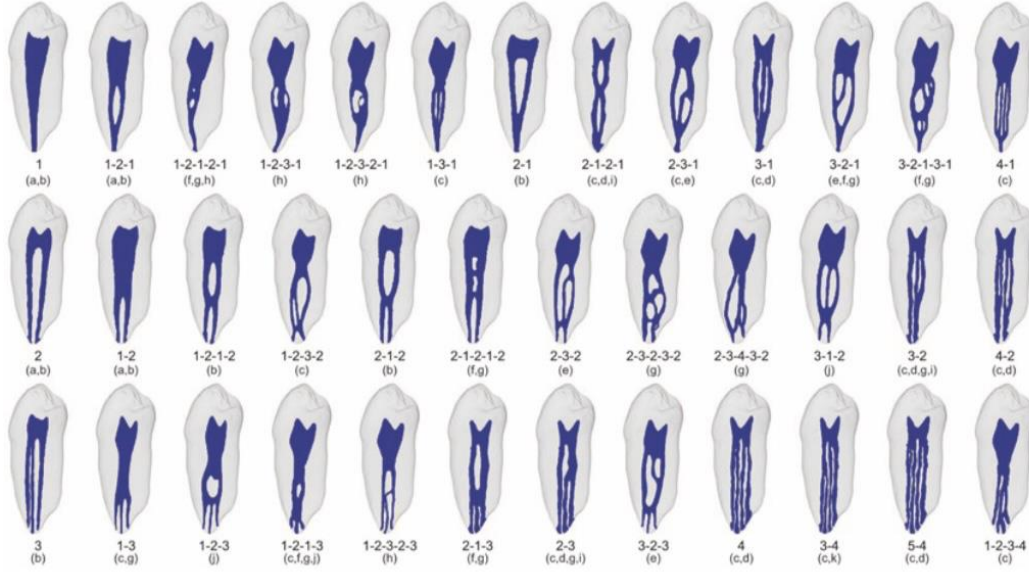
Tip 7: Pulpa odasını terk eden tek bir kanal önce ikiye ayrılarak daha sonra tekrar birleşerek tek bir kanal halini alır ve sonra apikalde yeniden ayrılarak iki ayrı foramen ile sonlanır.

Tip 8: Pulpa odasından üç ayrı kanal olarak başlayıp, apikalden üç ayrı kanal olarak çıkar(47).



Şekil 2. 3. Vertucci sınıflandırması

Dört köklü maksillermolar, üç kanallı maksiller premolar, MMK ve mandibular molarlarda distolingual kökler gibi spesifik diş tipleri için başka sınıflandırmalar getirilmiştir (53, 58, 59, 60 – 63). Kanal konfigürasyonlarının çeşitliliğini sistematik olarak tanımlamaya yönelik bu çabalara rağmen, farklı popülasyonlar içindeki ek kök kanal morfolojisi türleri bildirilmiştir (55, 64-66). Versiani ve Ordinola-Zapata mikro bilgisayarlı tomografi kullanarak ve kök kanal morfolojisi üzerine önceki raporların ve anatomik çalışmaların gözden geçirilmesine dayanarak, tek bir kökte gözlemlenebilen en yaygın anatomik konfigürasyonları içeren 37 kök kanal konfigürasyonunu tanımladı (Şekil 2.4). Bu çabalara rağmen, tüm diş gruplarında tüm kök tipleri ve kök kanal konfigürasyonları için uygulanabilecek basit bir sınıflandırma sistemi henüz kurulamamıştır. (Şekil 2.5, Şekil 2.6) (67).



Şekil 2. 4. Tek bir kökte gözlemlenebilecek hemen hemen tüm anatomik konfigürasyonları içeren en yaygın ortuz yedik kök kanal konfigürasyonu (66)

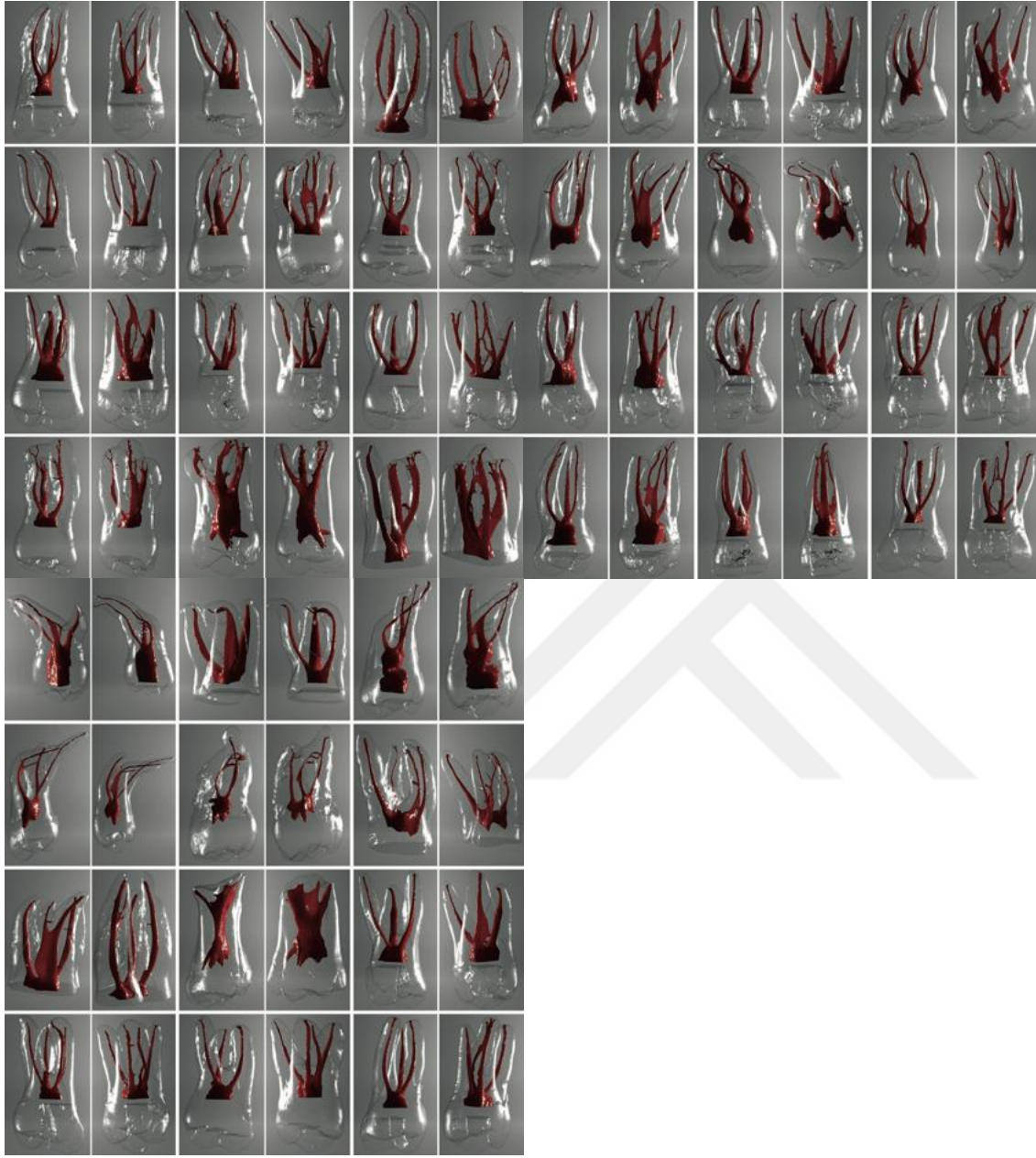
Maksiller birinci moların Vertucci sınıflamasına göre kök kanal konfigürasyonları şöyledir; MB; tip I (%45), II (%37), IV (%18) (47); DB; tip I (%98.6), II (%0.4), V (%0.4), III (%0.3), IV (%0.2) (44), VI (%0.1); P; tip I (%99.26), II (%0.3), III (%0.2), IV (%0.1), V (%0.1), diğerleri (%0.04) (44).

MB2, Vertucci sınıflamasına göre bulunma oranları şöyledir (Tablo 2.1.);(68-79).

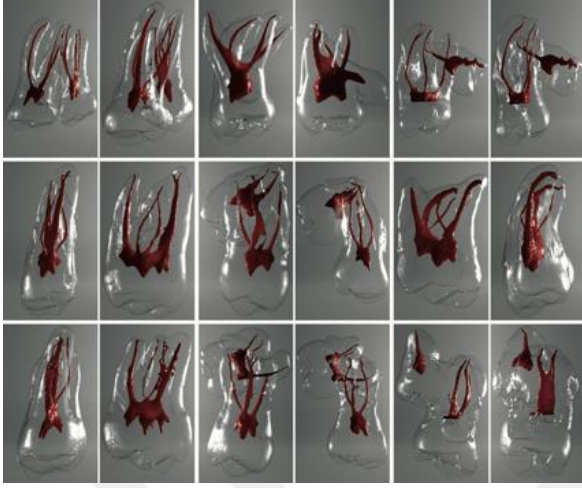
Tablo 2. 1. MB2 kanalının Vertucci sınıflamasına göre prevelansı

Araştırmacı	Yıl	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
Çalışkan ve ark.(69)	1996	% 34.4	% 41.0	veri yok	% 11.5
Vertucci ve ark.(68)	1979	%12	%79.5	%1.5	%7
Khademi ve ark. (74)	2017	% 29.8	% 69.1	veri yok	%0.77
Ghobashy ve ark. (73)	2017	% 25.45	% 45.6	veri yok	% 27.27
Lee ve ark.(70)	2011	% 28.2	% 33.2	% 34.9	% 2.4
Mufadhal ve ark. (79)	2023	% 17.7	%25	% 23.1	% 5.6
Barbhai ve ark. (78)	2022	% 33.29	% 27.18	veri yok	% 26.36
Albarca ve ark.(71)	2015	% 26.6	% 34.9	% 0.7	% 33.5
Alves ve ark. (76)	2018	% 31.5	% 38.1	% 8.0	% 11.9
Wang ve ark. (75)	2017	% 30.7	% 19.7	% 9.8	% 25.1
Aktan ve ark. (72)	2016	% 29.4	%47	% 11.8	% 11.8

Bu tabloya göre, MB2 kanalının Vertucci sınıflandırmasıyla en yaygın görülen formu tip 2 dir.



Şekil 2. 5.Maksillermolarların kök kanal anatomisini gösteren 3D modeller(80)



Şekil 2. 6.Maksillermolarların füzyon ve geminasyonlu kök kanal anatomisini gösteren 3D modeller(80)

Son yıllarda, maksillermolar dişlerin MB kökünün morfolojisi, diğer tüm köklerden daha kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (81, 82). Bu kök genellikle birinci meziobukkal (MB1) ve MB2 olarak adlandırılan 2 ana kök kanalı ve kanallar arası istmus, aksesuar kanallar ve apikal dallanmalar dahil olmak üzere yüksek oranda karmaşık anatomik yapılar sunar(83). MB2'nin kanal girişi genellikle MB1'e göre 2 mm mezial ve 3.5 mm P mesafe içinde subpulpal oluğun içinde yer alır(40). MB2 kanallarının %16'sı, MB1 kanalına kıyasla genellikle keskin bir şekilde kavislidir veya yüksek oranda kalsifiedir. Özellikle yaşlı hastalarda erişimi zor olduğundan etkili bir şekilde enstrümente edilip doldurulamaz, gelişimsel çöküntüler ve pulpa tabanının renk değişikliği klinik kılavuz olarak kullanılmalıdır(51, 84). Literatürde, her kökteki kanal sayısının görülme sıklığı, kök sayısı ve füzyon insidansı ile ilgili olarak geniş bir varyasyon yelpazesi vardır. Bu çalışmalarda bulunan varyasyona bir dizi faktör katkıda bulunur. Varyasyonlar, incelenen nüfusun etnik kökeni, yaşı ve cinsiyeti nedeniyle olabilir(45, 78, 81).

Sonuç olarak MB2 kanalları özellikle büyütme veya özel aydınlatma ekipmanı kullanılmadan rutin klinik uygulamada kolaylıkla atlanabilir(37). Bu kanalların varlığının fark edilememesi ve yeterince tedavi edilememesi, maksillermolar dişlerinin kök kanal tedavisindeki başarısızlığın ana nedeni olarak kabul edilmiştir(85-87). Literatürde, maksillermolar dişlerde MB2 kanalının prevalansı %10 ila %95 arasında değişmektedir(47, 83, 85, 88). Çalışılan popülasyonla ilgili etnik ve demografik faktörler, coğrafik bölge, yaş ve cinsiyette bu oranları etkileyebilir(82, 89).

Amerikan Endodonti Derneği ve Amerikan Oral ve Maksillofasiyal Radyoloji Akademisi'nin ortak görüşüne ve 2015 yılındaki Avrupa Endodonti Derneği tarafından toplanan bir uzman komitesinin güncellenmiş mutabakatına göre, konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin (CBCT) kliniklerde kullanımı ile ilgili olarak, intraoral radyografiler hala operasyon öncesi tanı için tercih edilen görüntüleme yöntemidir (90,91). Bununla birlikte, küçük görüş alanlı (FOV) CBCT, karmaşık anatominin beklendiği durumlarda ve olası tedavi edilmemiş kanalları olan vakaların cerrahi olmayan yeniden tedavisi için düşünülebilir. Günümüzde, MB2 varlığını değerlendirmek için altın standart görüntüleme tekniği konik ışınlı bilgisayarlı tomografidir (9, 70, 88).

Maksillermolar dişlerinin meziobukkal kökünün anatomisi üzerine yayınlanan prevalans çalışmalarının çoğu, sonuçları cinsiyet veya etnik faktörlere dayalı olarak açıklasa da endodontik literatür, Adli Tıp ve Antropolojik araştırma bulgularına dayalı olarak bu anatomik farklılıkların doğru bir şekilde açıklanmasından hala yoksundur (92, 93).

Çeşitli çalışmalardaki farklı popülasyonların MB2 kanalprevalansı şöyledir;(9, 70, 71, 73, 82, 88, 94-99) (Tablo2.2)

Tablo 2. 2.Farklı popülasyonların MB2 kanallarının prevalansı

Araştırmacı	Ülke	Yıl	MB2 prevalansı(%)
Altunsoy ve ark.(96)	Türkiye	2015	62
Reis ve ark.(88)	Brezilya	2018	88.5
Fernandes ve ark.(98)	Güney Afrika	2019	89.5
Ghobashy ve ark.(73)	Mısır	2017	74.5
Jing ve ark.	Çin	2014	30.9
Kewalramani ve ark. (99)	Hindistan	2019	61.9
Kim, Lee ve ark.(70)	Kore	2012	63.6
Martins ve ark. (82)	Avustralya	2018	53.1
Martins ve ark. (82)	Kosta Rika	2018	57.8
Martins ve ark. (82)	İngiltere	2018	91.7
Martins ve ark. (82)	Fransa	2018	81.1
Martins ve ark. (82)	Yunanistan	2018	60.1
Martins ve ark. (82)	Kuveyt	2018	79.8
Martins ve ark. (82)	Meksika	2018	84.0
Martins ve ark. (82)	Suriye	2018	95.2
Martins ve ark. (82)	Hollanda	2018	60.7
Martins ve ark. (82)	ABD	2018	74.9
Martins ve ark. (82)	İspanya	2018	70.1
Martins ve ark. (82)	İtalya	2018	79.6
Naseri, Safi ve ark. (97)	İran	2016	86.6
Albarca ve ark.(71)	Şili	2015	73.4

Bunlarla birlikte mezialde MB2'ye göre prevalansı daha düşük olan (%0.1- %11.3) üçüncü meziobukkal kanallar MB3) daolabilmektedir(100-102). Hatta distalde ikinci distobukkal kanal (%1.4) ve palatinalde ikincipalatinal kanal (%0.7) bulunabilmektedir(44,103).

MB3 prevelansı (Tablo 2.3) şöyledir; (100, 101, 104-107)

Tablo 2. 3. MB3 prevelansı

Araştırmacı	Ülke	Yıl	MB3 prevelansı(%)
Sert ve Bayırlı (106)	Türkiye	2004	1.0
Kulild ve Peters (104)	ABD	1990	1.9
Kim ve ark. (100)	Kore	2012	0.1
AlShalabive ark. (105)	İrlanda	2000	1.2
Verma ve Love (107)	Yeni Zelanda	2011	10.0
Rezaeian ve ark. (101)	İran	2018	11.3

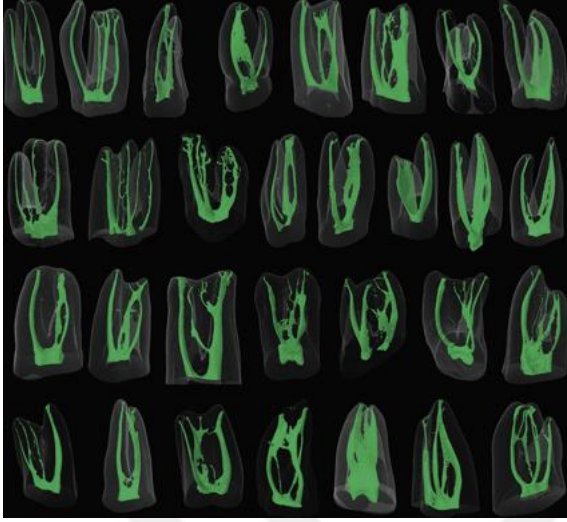
Maksiller ikinci molar, fonksiyondaki birinci moları tamamlar. Bu dişin kökleri birinci molar dişininki kadar uzundur. Kök kaynaşma eğilimi(füzyon ve geminasyon) birinci maksillermolara göre ikinci maksillermolarda daha fazladır, ancak palatinal kökü genellikle ayrıdır. Çoğu zaman maksiller ikinci molar dişleri üç kök ve üç kanala sahiptir (49).Maksiller ikinci moların MB kökü, maksiller birinci molar kadar karmaşık değildir. Maksiller ikinci molar dişler, koronal olarak maksiller birinci molara benzeyebilir(Şekil 2.7).Maksiller ikinci moların kök kanal anatomisi, farklılıklar olsa da birinci molara benzemektedir. Maksiller birinci moların ayırt edici özelliği üç kökünün genellikle birbirine daha yakın konumlandırılmış ve bazen birleşmiş olmasıdır(9). Kök kanal sayılarına göre prevelansı şöyledir;3 kanal (%50-70), 4 kanal(%30-50)(51).

MB, 1 kanal (%66.1), 2 kanal (%33.7), 3 kanal (%0.05), diğerleri (%0.2);

DB, 1 kanal (%99.6), 2 kanal (%0.4);

P, 1 kanal (%99.67), 2 kanal (%0.35), 3 kanal (%0.01), diğerleri (%0.01)(47).

Vertucci sınıflamasına göre kök kanal konfigürasyonları şöyledir;MB, tip I (%71), II (%17), IV (%12)(47); DB, tip I (%98.6), II (%0.4), V (%0.4), III (%0.3), IV (%0.2), VI (%0.1)(44);P, tip I (%99.26), II (%0.3), III (%0.2), IV (%0.1), V (%0.1), diğerleri (%0.04)(44).

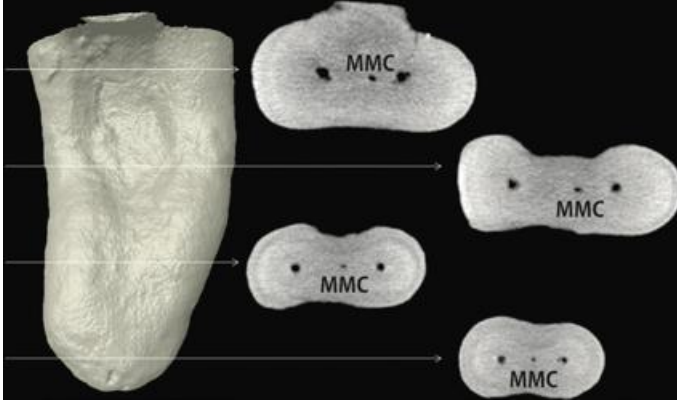


Şekil 2. 7.Maksiller ikinci molarların kök kanal anatomisini gösteren 3D modeller(120)

2.2.2 Mandibularmolar dişlerin kök kanal morfolojisi ve ilave kök kanalları

Mandibular birinci molar dişi genellikle mandibular arktaki en büyük diştir. İyi gelişmiş beş tüberkülü ve bukkolingual olarak çok geniş olan biri mesial diğeri distal olmak üzere iki iyi gelişmiş kökü vardır. Bu kökler apekslerde geniş bir şekilde ayrılmıştır. Mandibular birinci molarınbukkolingual enine kesiti, kök oluşumuna doğru genişleyebilen büyük bir pulpa odasını gösterir. Mezial kök, iki kanalın varlığından dolayı genellikle daha karmaşık bir kök kanal sistemine sahiptir. Distal kök genellikle bir büyük kanala sahiptir, ancak sıklıkla iki kanal mevcuttur. Nadiren, kendi ayrı kökü olan dördüncü bir kanal(radiksantomolaris) mevcuttur(49, 108). Mandibular birinci molar dişlerde bunlar dışında MMKgörülür. MMK bulunma prevalansı yaş,cinsiyet,demografik yapı, coğrafik konum, çalışma türüne ve parametlerine bağlı olarak %0.26 ile % 36.36 arasında gözlenmiştir(55, 109, 110).

Mandibular birinci molar dişlerde görülen diğer anomaliler ise şöyledir; beş kanal; altı kanal; yedi kanal; taurodontizm; geminasyon/füzyon; üç kök; Çşekilli kanal; MMK; middistal kanaldır(Şekil 2.8 ve Şekil 2.9) (111-119).



Şekil 2. 8. MMC görüntüsü (120) (MMC: Midmezial kanal)



Şekil 2. 9. MMC 3D modellerde görüntüsü(120)

Mandibular molar dişlerde gözlenen anatomik varyasyonlardan diğeri, C şekilli kök kanal sistemidir. C şekilli kanalların oluşumunda temel etken Hertwig epitelyal kök kınının bukkal ve lingual kök yüzeylerinde birleşme olmamasıdır(121,122). C şekilli kanal konfigürasyonunun, yüzde %2.7-45.5 arasında değişen mandibular ikinci molardişlerde yüksek bir prevalansı olduğu gösterilmiştir(123-128). C şekilli kök kanal anatomisi en çok mandibular ikinci molar dişlerde gözlenir(129). Bunun yanında mandibular birinci molarlarda, mandibular birinci premolarlarda, maksiller birinci ve ikinci molarlarda da özlenebilmektedir(130-134).

Bu anatomik bulguyu ve düzensizliklerini sınıflandırmaya yönelik ilk girişim 1991'de Melton tarafından yapılmıştır (Şekil 2.10). Daha sonra bu sınıflama Fan ve ark. tarafından modifiye edilip daha detaylı olarak aşağıdaki gibi oluşturulmuştur(131, 132).

Kategori 1: Tek ve kesintisiz C kanal gözlenmektedir.

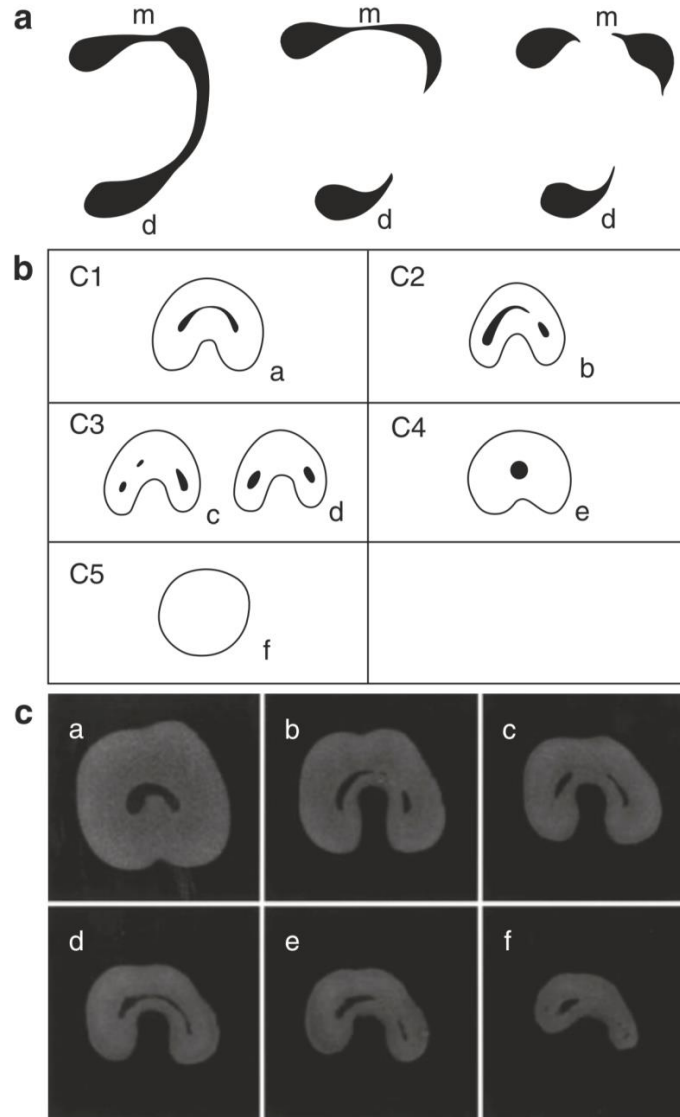
Kategori 2: Noktalı virgül şeklinde kanal, aradaki açı 60° 'den büyüktür.

Kategori 3: İki veya üç ayrı kanal, aradaki açı 60° 'den küçüktür.

Kategori 4: Yalnız bir yuvarlak veya oval kanal vardır.

Kategori 5: Kanal lümeni yoktur.





Şekil 2. 10.Melton'un C-şekilli kanal sınıflandırmasının diyagramsal gösterimi(b) c şekilli kanalların Dr. Bing Fan tarafından sınıflandırılması (131); (c) C şekilli kanal sistemine sahip bir dişin bazı mikro-CT görüntülerine örnekler. a, kanal ağzı ; b, koronal üçlü ; c, orta üçlü; d, apikal üçlü ; e, apekten 2 mm yukarıda; f, apekteG(131)

2.3 Kök Kanal Tedavili Dişlerde Kırılma Direnci

Vertikal kök kırıklarına genellikle kanal tedavili dişlerde rastlanır(135). Bundan dolayı endodontik tedavi, dişlerde kırılma direncinin düşmesine iatrojenik bir faktör olarak kabul edilebilir. Geçmişte kanal tedavisine bağlı dişlerde meydana gelen dehidratasyonun kırılmaya neden olabileceği düşünülmüştür(136). Fakat günümüzde bu görüş artık geçerliliğini yitirmiştir. Yapılan çalışmalarda kanal tedavisinden sonra dentinin fiziksel özelliklerinde anlamlı bir fark

bulunmamıştır(137, 138).Yapı olarak dentinin fiziksel özellikleri endodontik tedaviden etkilenmekle beraber, kök dentininin kanal tedavisi prosedürlerine bağlı doğal veya iyatrojenik olarak yapısında değişimler meydana gelebilir. Bundan dolayı da dişte çatlak, kırık gibi yapısal zayıflamalara bağlı sonuçlar olabilir. Klinisyenin bu etkilerin farkında olması ve kırılma direncinin düşmesine neden olabilecek müdahalelerden kaçınması gerekir.

2.3.1 Kök kanal sisteminin aşırı şekillendirilmesi

Kanalların aşırı enstrümantasyonu kök kırıklarına bir predispozan faktör olabilir(69). Bir çalışmada transillüminasyon ile tespit edilen çatlakların kanal tedavi ile kademeli şekillendirme sırasında arttığını göstermiştir(139). Bu riski azaltmak için minimal invaziv şekillendirme tercih edilebilir(140, 141).

2.3.2 Kalan dentin kalınlığının düzensiz olması

Eğimli kök kanalları şekillendirme sonucunda düzleştirildiğinde, dentinde düzensiz ve eşit olmayan bir kalınlık oluşumuna yol açar (142). Mandibularmolar ve maksiller birinci premolarların mezial köklerinin aşırı şekillendirilmesiyle dengesiz bir dentin kalınlığı meydana gelebilir. Mandibularmolarlarınmezial köklerinin distal taraflarındaki ve maksiller birinci premolarların mezial köklerindeki konkav yapılar periapikal radyografilerde saptanamaz. ‘‘Tehlike bölgeleri’’olarak adlandırılan bu alanların belirgin özelliği, var olan dentin kalınlığının az olmasından dolayı, aşırı şekillendirme ile bu alanların zayıflaması sonucu mikro çatlak veya kırık oluşumuna zemin hazırlamasıdır(143, 144).

2.3.3 Kök kanal dolum yöntemi ve spreader tipi

Lateral kondensasyon gibi bazı dolum yöntemlerinde kullanılan spreadera bağlı olarak oluşan mikro çatlaklar ilerleyerek kırıklara neden olabilir(145-147). El spreaderları daha rijit ve kalın olduğu için dentinde daha fazla stres oluştururlar. Daha esnek olan parmak spreaderlarının kullanılması ile bu tür riskler büyük oranda ortadan kalkabilir. Parmak spreaderlarından da paslanmaz çelik yerine daha az kuvvet uygulamayı gerektiren nikel-titanyum olanlarının tercih

önemlidir(145, 148). Kuvvet uygulamayı gerektirmeyen diğer dolum yöntemlerinin tercih edilmesi (termoplastik, vs), dolum yöntemine bağlı kırık riskini azaltabilir(149).

2.3.4 Kanal içi post ve kuron tasarımları

Kullanılan postun seçimi, tasarım ve kanal içine yerleştirilme şekli kök dentini üzerinde stres dağılımında önemli etkilere sahiptir. Aşırı uzun,kalın ve rijit postların dikey kök kırıkları üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bu risklerden dolayı postlar kor yapının retansiyonu için kullanılmalıdır. Yeterli diş dokusunun olduğu, kuronun yeterli retansiyonunu sağlayacak yeterli diş dokusu olduğu durumlarda post kullanımdan kaçınılmalıdır(150-152).

Kor ve post uygulamalarının uzun dönem başarısı için ferrule etkisi çok önemlidir. Ferrule, en az 2 ile 3 mm sağlam diş yapısını çevreleyen kuronun duvarları ve kenarlarından oluşmaktadır. Doğru bir şekilde oluşturulan ferrule dişin en dar koronal hattında yoğunlaşan yükleri dağıtarak, kanal tedavili dişlerde kırılma insidansını önemli bir ölçüde azaltır(153-155).

2.3.5 Döner kanal aletlerinden kaynaklanan mikro çatlaklar

Yapılan birçok çalışmada nikel-titanyum ege sistemlerinin (döner ve resiprokal) enstrümantasyondan sonra kalan kök dentininde mikro çatlaklara sebep olduğu gösterilmiştir(156-160). Bu çalışmalarda döner eğelerin, kök dentini üzerinde bir stres oluşturduğu ve bu stresin dentinin elastik sınırını aşmasıyla mikro çatlaklar oluştuğu görüşü savunulmuştur. İlk zamanlarda tek köklü dişler için gösterilen bu bulgu alt molar dişlerin mezial köklerinde de gösterilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan döner aletler mikro çatlaklara neden olurken el eğeleri ve self-adjusting file(SAF) ege sisteminde çatlak gözlenmemiştir(159, 161).

Kökkanal boşluğu; mekanik hazırlıktan sonra, irrigasyon solüsyonlarının etkinliği ile mikroorganizmaların elimine edildiği bir alandır. Bu alanın boyutları, irrigantların hacmini ve sonuç olarak etkinliklerini belirler. 1965 yılında Wandelt, dar kök kanallarına yalnızca küçük ve etkisiz bir irrigant hacminin yerleştirilebileceğini belirtmiştir (162). Yakın tarihli bir çalışmada Brunson ve ark., Wandelt'in kök kanal boyutlarındaki artışın kanal içindeki ortalama

irrigasyon hacminde artışa yol açtığını gösteren ifadesini doğrulamıştır (163). Klinisyen, nihai apikal preparasyon boyutunu ve/veya konikliğini değiştirerek kök kanal boyutlarını değiştirebilir. Daha sonraki çalışmalarda, apikal preparasyonun mümkün olduğu kadar geniş tutulmasının, irrigasyon sıvılarının kök kanalının kritik apikal 3 mm'sine etkin bir mikroorganizma uzaklaştırılmasının tek yolu olduğu vurgulandı(164-167).

Günümüzde nikel-titanyum döner eğe sistemi üreticileri, kök kanal konikliğini artırırken, apikal preparasyonun mümkün olduğunca dar tutulması gerektiğine inanmaktadır. Bu, preparasyon hatalarını azaltır ve kök kanalının doldurulmasını daha kolay ve verimli hale getirir, fakat aynı zamanda irrigasyon solüsyonları için daha büyük bir smear kalıntısı oluşturur(168). Bu hipotez makul görünse de çok az bilimsel kanıtı vardır; taperdaki artışın daha temiz kök kanallarına yol açıp açmadığı henüz kanıtlanmamıştır. Arvaniti ve ark. tarafından yapılan çalışmada #30 boyut ve 0.04, 0.06, 0.08 taperlarda kanal preparasyonları yapıp smear kalıntısına bakılmıştır. Yapılan çalışmada smear tabakasının varlığına yönelik istatistiksel analiz, gruplar arasında anlamlı bir fark göstermezken, her grubun apikal ve orta üçte biri arasında anlamlı bir fark tespit edildi, buda apikal genişletmenin ve irrigasyonun etkinliğinin önemini ortaya koydu(169).

Endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılmaya yatkınlığı esas olarak dişin sert doku kaybıyla ilişkilidir. Kök kırılması riskini azaltmak için minimum kökkanal preparasyonu önerilmiştir. Ancak sonuç olarak tatmin edici irrigasyon ve şekillendirme gerçekleşmemektedir. Yüksek taperlarda enstrümantasyon enfekte olmuş dokunun eliminasyonuna katkıda bulunabilir; ancak bu durum diş yapısını zayıflatabilir. Yüksek taperlarda çalışmanın periservikaldentini (PSD) zayıflatarak ve dentinal mikro çatlaklar oluşturarak kırılma direncinin düşmesine neden olabileceği gösterilmiştir(18, 170-178). Diğer taraftan taper değişiminin kırılma dayanımı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını savunan araştırmalar da vardır(175, 179-181).

Şu anda, belirli bir endodontik tedavinin veya belirli bir hazırlık adımının bir şekilde kök kırığıyla ilişkili olabileceğine dair bir kanıt yoktur; bu nedenle, kök kanal konikliği, apikal boyutun büyüklüğü gibi kök kanal tedavisinin kendisiyle ilişkili temel unsurları araştırmak, klinisyenlerin böyle bir olayın meydana gelme olasılığını azaltacak etkili tedavi protokolleri geliştirmelerine yardımcı olabilir.

Bu noktada MB2 ve MMK kanalların farklı apikal boyut ve taperlarda genişletilmesinin kırılma direncine olan etkisi ile ilgili literatürde kısıtlı bilgi vardır. Bu kanalların preparasyon ebatlarının kırılma direncine etkisi bilinmemektedir. Kılıç ve ark., (18) MMK kanallarda 25.04 grubunun kırılma dayanımlarının diğer gruplara (25.06, 30.04, 30.06) göre anlamlı olarak daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ancak bu konuyla ilgili literatür tarandığında MB2 kanallarının preparasyon ebatlarının kırılma dayanımı üzerine etkisine dair bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.4 Kırılma Direncinin Ölçüldüğü Test Yöntemleri

Kırılma, bir materyalin kuvvetle gerildiğinde iki veya daha fazla parçaya ayrılmasını ifade eder. Kırılma dayanımı, kuvvet uygulanan bir nesnenin kırılma anındaki stres miktarıdır. Test sırasında ortaya çıkan stres nedeniyle çatlak ilerler ve büyür. Test edilen materyalin bu çatlığa karşı gösterdiği direnç, kırılma dayanımı olarak bilinir(182).

İnternal stres, bir maddeye kuvvet uygulandığında tepki olarak gelişen zıt yöndeki kuvvettir. Birimi Megapaskal (MPa) veya Newton(N) olarak kaydedilir. İntraoral kuvvetler dinamik kuvvetlerdir; dişlere ve restorasyonlara belli bir kuvvet binmektedir. Ağız içi restorasyonların ömrü, kuvvetin şiddet ve yönüne bağlı olarak, değişebilmektedir. Materyallere uygulanan kuvvet sonucu oluşan gerilim, kuvvetin uygulanma yönüne göre değişiklik gösterip; çekme,basma gibifarklı adlandırılmaktadırlar(183).

Kırılma dayanımı testlerinde, cihaz ve dişte yükleme koşulları önemlidir. Yükleme tipi, yükleme hızı, yükleme uygulama alanı, yük uygulama açısı, yük uygulama ucu ve destek dokuların taklidi, yükleme koşullarını oluşturur. Yük uygulama açısı, posterior ve anterior dişlerde farklı açılarda olabilir. Anterior keserlerde çiğnemenin taklit edilebilmesi için 15°-30°-45° gibi farklı açılarda oblik kuvvetler yüklenir. Posterior dişlerde ise daha çok dişin uzun aksına paralel kuvvetler tercih edilir. Yükleme için uygun hızın 0.5-2mm/dk aralığında olması tavsiye edilmektedir. Yükleme hızı, oral kuvvetleri taklit etmelidir; yüksek hız verildiğinde materyalde eşit olmayan gerilimler oluşmaktadır. Düşük hız verildiğinde ise çiğneme fonksiyonları taklit edilememektedir(184). Yükleme tipleri statik ve dinamik yükleme olarak ikiye ayrılmaktadır. Statik yükleme sırasında;

kuvvet sıfır N olarak başlayıp, kırılma gerçekleşene kadar kuvvet yükseltilir ve bu sayede maksimum kuvvet dayanımı ölçülür. Dinamik yüklemde ise belirli bir kuvvet verilip, materyalin bu kuvvet karşısındaki değişimi kaydedilir. Kuvvet, materyallere ağız içi çiğneme hareketlerini taklit etmesi için oblik veya dik açılarda verilebilir(185).

Materyallerin kırılma dayanımını ölçmek için, universal test cihazın vitro olarak kullanılmaktadır (Resim 2.1). Universal test cihazıyla materyalin basınç dayanımı, bükme, kesme, gerilme dayanımı ölçülmektedir. Test cihazına uygun olarak yerleştirilen örnekler belirli bir hız ve ekseninde kuvvet yüklenmektedir. Kuvvetin hızı mm/dk olarak ayarlanmaktadır. Örneklerin kırılmasına neden olan kuvvet test cihazında ölçülerek bilgisayar üzerinde Nveya MPa olarak veri kaydı yapılmaktadır(186).



Resim 2. 1.AG-5 kNG Universal Test Cihazı (Shimadzu, Tokyo, Japonya)

Bu çalışmanın amacı, üst molar dişlerde bulunan MB2 kanalın farklı apikal boyutlarda genişletilmesinin dişin kırılma dayanımı üzerinde etkisine bakmaktır.

3. MATERİYAL ve METOD

Bu tez çalışması, Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurul'u tarafından 26.04.2023 tarihli GAÜNDHKA EK. 2023/102 numaralı onayını takiben, Gaziantep Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi.

3.1 Örneklerin Seçilmesi

Çalışmamız ile konu ve içerik olarak benzerlik gösteren güncel çalışmaların verileri kullanılarak (18,87, 188) her grubun örneklem büyüklüğü belirlendi. Örneklem büyüklüğünün hesaplanmasında 'G*Power 3.1 software; Heinrich Heine University, Dusseldorf, Germany' yazılımı kullanıldı. Hesaplama, her grup için örneklem miktarının minimum 8 olması gerektiğini gösterdi. ($\alpha = 0.05$ $\beta = 0.95$) Ancak çalışma sırasında oluşabilecek aksaklıklar düşünülerek her grupta 12 diş olması planlandı.

Ortodontik ve periodontal nedenlerle çekilen çürüksüz 60 adet insan maksiller 1. ve 2. molar diş seçildi. Çalışmaya dahil edilmek üzere seçilecek dişlerin kırık, çatlak ya da çürük olmamasına, dişlere daha önceden endodontik tedavi veya herhangi bir restorasyon yapılmamış olmasına, dişlerde kök rezorbsiyonu bulunmamasına ve kurvatürlü ($>10^\circ$) mezial kökü olmamasına dikkat edildi.

Çalışma gruplarındaki örneklerin birbirleri ile benzerliğini değerlendirmek ve farklılıkların sonuca etkisini en aza indirmek amacıyla oluşan 5 grup ağırlık, mezio-distal ve bukkal-lingual çap açısından tek yönlü varyans analizi ile karşılaştırıldı. 3 değişken yönünden grupların istatistiksel olarak benzer (homojen) olduğu görüldü ($p > .05$). İstatistiksel olarak anlamlılık değeri $p = 0.05$ olarak belirlendi.

Dişler üzerindeki diş taşları, yumuşak doku artıkları ve kalsifiye birikintiler periodontal kretuar kullanılarak mekanik olarak temizlendi. Dişler %2.5'lik sodyum hipoklorit (NaOCl) içerisinde 5

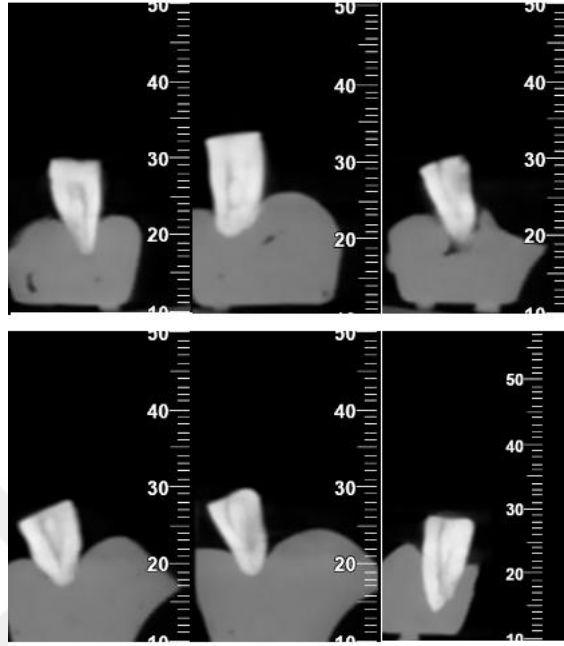
dakika bırakılarak dezenfekte edildi. Dişlerdaha sonra çalışmada kullanılıncaya kadar distile su içerisinde nemli ortamda ve oda sıcaklığında bekletildi.

3.2 CBCT görüntülerinin elde edilmesi

60 adet MB kök, 13 mm olacak şekilde separe yardımıyla alındı. Elde edilen kökler tek tek numaralandırıldı ve ölçü silikonuna (Zhermack-Zeta Plus C Tipi,Rovigo,İtalya) gömüldü ve tomografi cihazında (PlanmecaPromax 3D,Helsinki, Finlandiya) üç boyutlu olarak görüntülendi.Taramalar 110 kVp, 1-20 mA'da 6x6 görüş alanı ile, yüksek çözünürlükte (0.05 mm voksel boyutu) yapıldı. (Resim 3.1)CBCT kullanımı konusunda eğitimli veya denetimli bir endodontist tarafından incelenen örnekler içerisinde MB2 kanalı, ana kanal ile apikal üçlüde birleşen kökler çalışmaya dahil edildi; bunu sağlamayan örnekler değiştirildi. Seçilen örnekler stereomikroskop (LeicaMicrosystems 3000,Heerbrugg, İsviçre) ile çatlak yönünden incelendi, çatlak ve kırık olan örnekler değiştirildi. Örnekler her grupta 12 adet olacak rastgele beş gruba ayrıldı.



Resim 3. 1.CBCT taraması için silikona gömülen mezial kökler



Resim 3. 2. Mb2 kanalların tomografi görüntüleri

3.3 Örneklerin Hazırlanması ve Preparasyonu

Çalışmada kök kanal preparasyonu işlemleri bir endodontist tarafından tüm kök kanalları Rooter X3000 endodontik motor sistemi (FKG Dentaire, İsviçre), kullanılarak iRace döner eğe sistemi (FKG Dentaire, Le Locle, İsviçre)) ile prepare edildi.

MB1 kanal boyları, boya ulaşan #08 K tipi el eğesi (FKG Dentaire, Le Locle, İsviçre) ile apikalden çıkılıp, 1 mm kısa olacak şekilde belirlendi. Çalışmada apikal üçlüde birleşen kanalları incelendiği için MB2 kanalın MB1 ile birleştiği nokta, MB1 kanala boya giden uygun el eğesi gönderilip, eğe MB1 kanal içinde iken MB2 kanala #08 K tipi el eğesi ilerletilerek belirlendi ve MB2 kanalının MB1 ile birleştiği noktaya göre MB2 kanalın boyu tespit edildi.

Genişletme prosedüründe boy tespitinden sonra K tipi #15 (FKG Dentaire, Le Locle, İsviçre) ‘e kadar ön genişletme yapıldı. Daha sonra döner eğe sistemi kullanılarak sırasıyla #10.04, #15.04, #20.04, #25.04, #30.04, #35.04 ile çalışma grubuna göre final genişletmeler yapıldı.

Genişletme prosedürlerinde, her eğe değişiminde 2cc %2.5NaOCl ile 30 gauge yandan delikli Max-i Probe irrigasyon iğnesi (DentsplyRinn, York, PA, ABD) alışma boyundan 1mm kısa olacak şekilde kullanılarak irrigasyon yapıldı. Final eğelemeden sonra gruplarda belirtilen irrigasyon solüsyonları her biri 5ml/dk olacak şekilde irrigasyon işlemigerekleştirilmiştir.

Final irrigasyonu olarak her kanal için sırasıyla;

- 10 cc %2.5 NaOCl (Cerkamed, Stalowa Wola, Polonya)
- 10 cc distile su
- 10 cc% 17 EDTA (Cerkamed, Stalowa Wola, Polonya)
- 10 cc distile su olarak yapıldı

Çalışmada final apikal preparasyon boylarına göre beş gruba ayrıldı. Grupların hepsinde MB1 final apikal preparasyon çapı #35.04 olacak şekilde prepare edildi. Sırasıyla gruplar şöyle idi;

Kontrol grubu: Sadece MB1 kanal #35.04 olarak genişletilip, MB2 kanalda herhangi bir genişletme uygulanmadı.

Grup 20.04: MB1 kanalı #35.04, MB2 kanal #20.04 olarak bitirildi.

Grup 25.04: MB1 kanalı #35.04, MB2 kanal #25.04 olarak bitirildi.

Grup 30.04: MB1 kanalı #35.04, MB2 kanal #30.04 olarak bitirildi.

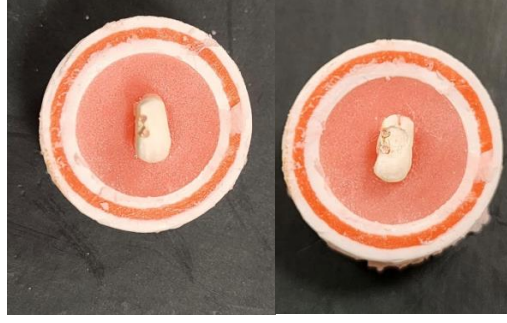
Grup 35.04: MB1 kanalı #35.04, MB2 kanal #35.04 olarak bitirildi.

Kanallar uygun boyutlarda paperpointlerle (FKG Dentaire, Le Locle ,İsviçre) kurutulup, AH Plus (Dentsply, Viyana, Avusturya) kanal patıyla , final apikal çapına göre uygun gütalar (FKG Dentaire, Le Locle , İsviçre) seçilerek tek kon yöntemi kullanılarak dolduruldu.

3.4 Kırık Dayanımı Testi

Benzer çalışmalarda belirtildiği gibi (18) periodontal ligament aralığını taklit etmek amacıyla tüm diş kökleri, koronalden 2 mm kısa olacak şekilde modelaj mumu ile kaplanıp, otopolimerizanakril (Imicryl, Konya, Türkiye) bloklar (yükseklik 15mm, çap 40 mm) içerisine gömüldü. Akril polimerizasyonu tamamlandıktan sonra kökler akilden çıkarılıp üzerindeki mumlar sıcak su yardımı ile uzaklaştırıldı. Periodontal ligamenti taklit etmesi amacıyla dişler silikon ölçü(Zhermack-Zeta Plus C TipiRovigo,İtalya) materyali ile kaplandı ve tekrar akril soketlerine yerleştirildi.

Benzer çalışmalarda kullanılan yöntemler örnek alınarak(18) kırma dayanım testi düzeneği hazırlandı. Örnekler AG-5 kNGUniversal test cihazına (Shimadzu, Tokyo, Japonya) bağlandı. Cihaz üzerinde iki parçadan oluşan bir düzenek hazırlandı. Alt parçaya akril bloklar içine gömülmüş çalışma örnekleri, üst parçaya ise kuvvet uygulanmasını sağlayacak 2 mm çapı olan kırma ucu yerleştirildi. Örneklerin; aksiyal alanının tam merkezine karşılık gelen noktadan, kökün uzun aksına paralel olarak 0.5 mm/dakika sabit hızda kuvvet uygulanarak kırılma dayanımı testiTrapezium X programı (Shimadzu, Tokyo, Japonya) ile gerçekleştirildi. Örneklerin tamamında gözle görülebilir kırık hattı gözlemlendi. Kırılma anındaki kuvvet N olarak elektronik ortamda excel dosyası olarak kaydedildi.



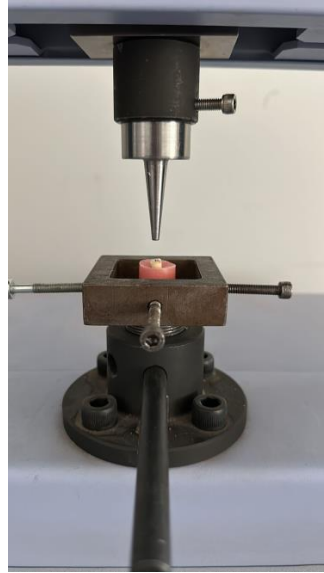
Resim 3. 3. 25.04 grubundan kırma testi öncesi ve sonrası görüntüler



Resim 3. 4. 30.04 grubundan kırma testi öncesi ve sonrası görüntüler



Resim 3. 5. Universal test cihazı ile yapılan kırma düzeneği



Resim 3. 6.Kırma ucu görüntüsü

3.5. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizde Jamovi (versiyon: 2.3.28) istatistik programı kullanılmıştır. Verilerin normal dağılımı Shapiro-Wilk, Kolmogorov Simirnov, Anderson-Darling testleri ve Q-Q grafikleri ile test edilmiştir. Test sonuçlarında normal dağılım elde edildiği için, gruplar arası karşılaştırma tek yönlü varyans analizi ile yapılmıştır. İkili karşılaştırmalar ise Tukey çoklu karşılaştırma testi ile yapılmıştır. Anlamlılık $p<0.05$ 'e ayarlanmıştır.



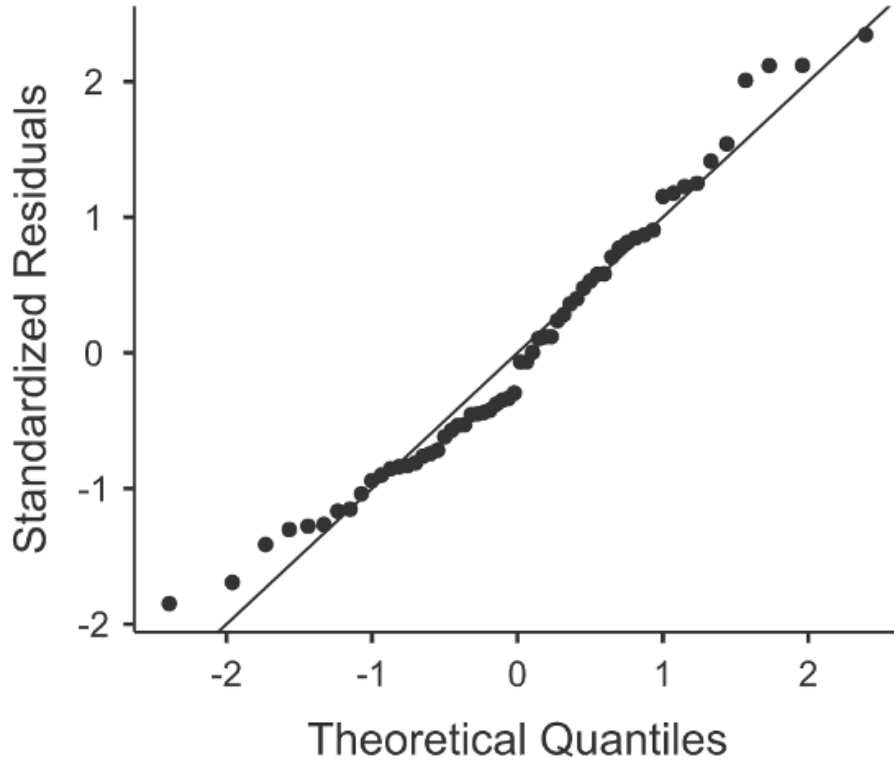
4.BULGULAR

4.1. Verilerin Normal Dağılıp Dağılmadıklarının Değerlendirilmesi

Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling istatistiksel veri sonuçlarına göre veriler normal dağılım göstermiştir ($p>0.05$) (Tablo 4.1). Q-Q grafiği incelendiğinde de dağılımların çizgi üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.1).

Tablo 4. 1. Normalite testleri ve sonuçları

Normalite Testleri	istatistik	p-değeri
Shapiro-Wilk	969	129
Kolmogorov-Smirnov	115	375
Anderson-Darling	576	129



Şekil 4.1. Veri dağılımlarının Q-Q grafiğinde gösterilmesi

4.2. Gruplar Arası Kırılma Dayanımının Karşılaştırılması

En yüksek kırılma dayanımı sırasıyla en fazla kontrol, #20.04, #25.04, #30.04 ve #35.04 gruplarında elde edilmiştir (Tablo 4.2). Tek yönlü varyans analizine göre gruplar arasında anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Tablo 4.3). Kontrol, #20.04 ve #25.04 grupları arasında kırılma dayanımı açısından anlamlı bir farklılık elde edilmemiştir ($p > 0.05$). Bu üç gruptaki kırılma dayanımları #30.04, #35.04 gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı miktarda daha fazlaydı ($p < 0.05$). #30.04 ve #35.04 grupları arasında ise anlamlı bir farklılık elde edilmemiştir ($p > 0.05$) (Tablo 4.4). Gruplar arası kırılma dayanım verilerinin grafiksel gösterimi şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4. 2. Grupların tanımlayıcı ortalama, standart sapma, standart hata istatistik verilerinin tablo olarak gösterilmesi
(Farklı harfler gruplar arası anlamlı farklılığı gösterir ($p < 0,05$).)

Gruplar	n	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
Kontrol	12	1180.53 ^a	305.64	88.23
#20.04	12	955.54 ^a	295.46	85.29
#25.04	12	979.97 ^a	355.77	102.70
#30.04	12	611.80 ^b	223.22	64.44
#35.04	12	601.95 ^b	203.68	58.80

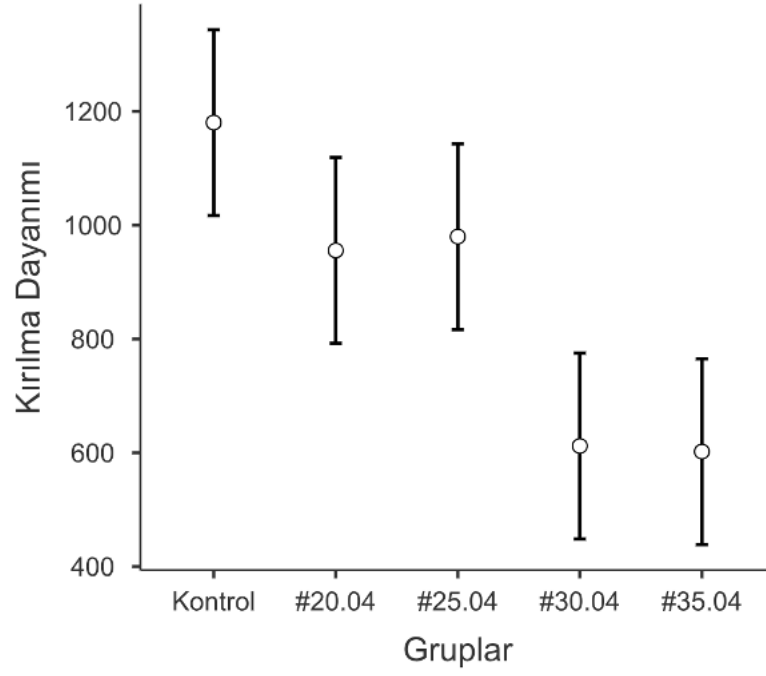
Tablo 4. 3. Tek yönlü varyans analizi sonuçları

	F	Serbestlik derecesi 1	Serbestlik derecesi 2	p-değeri
Kırılma Dayanımı	10.389	4	27.207	< .001

Tablo 4. 4. Tukey çoklu karşılaştırma testi ile grupların ikili karşılaştırılma sonuçları

		Kontrol	#20.04	#25.04	#30.04	#35.04
Kontrol	Ortalamalar arası fark	—	224.991	200.564	568.733	578.587
	p-değeri	—	303	419	< .001	< .001
#20.04	Ortalamalar arası fark		—	-24.427	343.742	353.596
	p-değeri		—	1	33	27
#25.04	Ortalamalar arası fark			—	368.169	378.023
	p-değeri			—	19	15
#30.04	Ortalamalar arası fark				—	9.854

	p-değeri				—	1
--	----------	--	--	--	---	---



Şekil 4. 2. Grupların kırılma dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi



5.TARTIŞMA

VKK, endodontik tedavi sonrasında görülen önemli komplikasyonlardandır ve kötü prognoz gösterip genellikle çekim ile sonuçlandırıldığı için ciddi bir klinik sorundur. Endodontik tedavili dişlerde VKK'lerin rapor edilen sıklığı %4 ile %32 arasında değişmektedir(189-192). VKK sıklığındaki bu geniş aralık, klinik çalışmalarda bulunan VKK'lerin değerlendirme yöntemindeki heterojenliğe bağlı olabilir. VKK ile ilişkili izole periodontal cep varlığının, periodontal hastalık olarak yanlış tanısı gibi örnekler VKK'nin genel popülasyondaki gerçek sıklığını değerlendirmeyi zorlaştırır. Bazı durumlarda, endodontik tedavili dişlerin çekiminin nedeni olarak VKK atfedilmiş olsada; VKK, endodontik tedaviden önce de mevcut olması ihtimal dahilindedir.

Çekilmiş 736 diş üzerinde yapılan retrospektif kesitsel bir çalışmada, Yoshino ve ark.(191) dişlerin %31.7'sinin VKK nedeniyle çekildiğini, bunların %93.6'sının endodontik tedavili dişler olduğunu bulmuşlardır.Başka bir çalışmada Sugaya ve ark., klinik ve/veya radyografik olarak tespit edilen VKK'li 304 diş üzerinde retrospektif bir analiz gerçekleştirmiştir. Yazarlar, tespit edilen VKK'lerin %97'sinin endodontik tedavili dişlerde bulunduğunu, %2.3'ünün vital pulpası olan dişlerde ve %0.7'sinindevital pulpası olan ve kök dolgusu olmayan dişlerde olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde Tayvan'da yapılan retrospektif bir klinik çalışma, VKK'lerle çekilen dişlerin %86'sının daha önce endodontik tedavili olduğunu göstermiştir(193, 194).

VKK görülme sıklığı yaşla birlikte artar ve en çok 40 yaşın üzerindeki hastalarda görülür (19, 191). Bunun nedeni dişlerin çeşitli restoratif döngülerden geçmiş olması ve parafonksiyonel aktivitenin kümülatif etkisi olabilir(195).VKK'lerin etiyolojisi çok faktörlü olmasına rağmen, çeşitli risk faktörleri öne sürülmüştür. Bunlar içerisinde, endodontik tedavi sırasında PSD'nin zayıflaması önemli faktörlerdendir. Clark ve KhademiPSD'yikrestal kemik seviyesinin yaklaşık 4 mm koronal ve apikalinde uzanan diş bölgesi olarak tanımlamışlardır. Dişlerin sağ kalımları, uzun süreli canlılık ve optimal fonksiyonu PSD'nin korunması ile ilişkilidir (196).

Preparasyon çapının (taper), VKK oluşturma riski açısından birçok çalışma yapılmıştır(18, 178, 197, 198).Sabeti ve ark., 30 adet çekilmiş maksillermoların distal kökünde yaptıkları çalışmada, 0.04 taper, 0.06 taper ve 0.08 taperlardapreparasyonlar yapmıştır. Çalışma sonucunda 0.04 taper ile şekillendirilen dişler en yüksek kırılma direncine sahip iken, 0.08 taper en düşük kırılma direncini göstermiştir. 0.04 taper ve 0.06 taper arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır(174).

Zogheib ve ark., yaptıkları çalışmada 0.04 taper ve 0.06 taper arasında kırılma direnci açısından anlamlı bir fark bulamamışlardır. 0.04 taper olan grupta daha olumlu ve onarılabilir kırıklar ve daha korunmuş bir servikal bölge kaydetmişlerdir. 0.06 taperpreparasyonlarının özellikle servikal bölgede (onarılamaz kırıklar), koronoradikler kırıklar lehine daha fazla olduğunu göstermişlerdir. Bunu; endodontik tedavi görmüş dişlerde, servikal kısımdaki stresi daha küçük taperpreparasyonların, daha yüksek taperpreparasyonlara göre daha iyi azaltma eğiliminde olduğu şeklinde açıklamışlardır(180).

Bu çalışmalara bakıldığında, güncel literatür bilgisi kök kanallarının preaparasyon ebat ve çapının 0.02-0.04 taper arasında kalması gerektiğini, bununla birlikte 0.06 ve 0.08 gibi yüksek taperlara çıkılmaması gerektiğini söylemektedir(174, 180, 199, 200). Bu durum dişten dişe farklılık göstermektedir ve dişlerin kök kanal morfolojisi bu anlamda önemli bir etkindir. Bunun dışında gözden kaçırılan MB2, MMK gibi gizli kök kanallarıda tedavide başarısızlık etkenlerinden biridir. Yüksek taperlardapreparasyon yapılmaması durumu, bu kanallar içinde geçerli olup, bununla ilgili yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Bunun da sebebi son on yıllık periyotta bu kanallar literatürde kendine yer bulmuştur. Bu kanalların, ana kanal ile birleşip birleşmemesi başarıyı etkilemekle birlikte, genişletme çapı da önemli bir parametredir. Kırılma direncine ilişkin birçok çalışma, in vitro deneysel koşullar altında farklı döner sistemlerle prepare edilen kökleri karşılaştırmıştır(179, 201-203). Bunun yanında, aynı tasarımıdaki ancak farklı konikliğe sahip eğeleri karşılaştırıp ve diğer metodolojik farklılıklara rağmen sonuçları bizim çalışmamızın sonuçlarına benzeyen çalışmalarda vardır(18, 173, 204).

Zarei ve ark., 80 adet çekilmiş mandibular ve maksillermolar üzerinde #30.02 ve #30.04 taperlarda genişletme yapıp, farklı taperlarınsmear tabakasının uzaklaştırılmasında irrigantların

ve şelat ajanlarının etkinliği üzerindeki etkisini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda #30.02 ve #30.04 grupları benzer sonuçlar vermiştir(199).

Arvaniti ve ark., 45 adet çekilmiş mandibular keser dişte farklı taperların kök kanal temizlemesi üzerinde etkisine bakmışlardır. Çalışmada #30.04, #30.06, #30.08 taperlarda genişletmeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda 0.04, 0.06 ve 0.08 konikliklerle kök kanal preparasyonu kanal temizliğini etkilememiştir(169).

Lin ve ark., 80 adet çekilmiş mandibular premolar dişte, #25.04 ve #25.06 taperlardapreparasyon yapıp; farklı taperların kırılma dayanımı üzerinde etkisine bakmışlardır. Çalışma sonucunda #25.04 grubunun kırılma dayanımı, #25.06 grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur(200).

Benzer biçimde Krikeli ve ark., 58 adet maksillerkanin dişte, # 40.02, #40.04, #40.06 taperlarda preaparasyon yapıp, kırılma dayanımları açısından karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda #40.06 grubu en düşük kırılma dayanımı göstermiş; diğer iki grup arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir(173). Sonuçlar çalışmamızla benzer olmakla birlikte; bu çalışmada kullanılan kırma ucunun sivri olması kanalda kamala etkisi oluşturacağı ve ucun gütalara gömülmesi ile sonuçları etkileyebileceğini düşünmekteyiz. Çalışmamızda kullanılan kırma ucu ise kanal ağzını yeterli düzeyde kapatıp, verilen dikey kuvvet doğrudan köke iletilmektedir (Resim 3.6).

0.06 taperın kırık dayanımını düşürdüğü, 0.04, 0.06, 0.08 taperların kanal temizliğinde farklılık göstermemesi bu tür çalışmalarda gösterildiği için, çalışmamızda klinik olarak daha anlamlı ve yaygın kullanımı olan 0.04 taper döner aletler ile preparasyon gerçekleştirildi.

Yared ve Dagher yaptıkları çalışmada, 60 adet çekilmiş maksiller santral dişi #25.02 ve #40.02 apikal çaplarda genişletip, bir haftalık kalsiyum hidroksit pansumanının kök kanallarının bakteriyel enfeksiyonu üzerindeki etkisine bakmışlardır. Preparasyon sonrası ve bir hafta kalsiyum hidroksit pansumanı sonrasında #25.02 ve #40.02 boyutlu ege grupları arasında

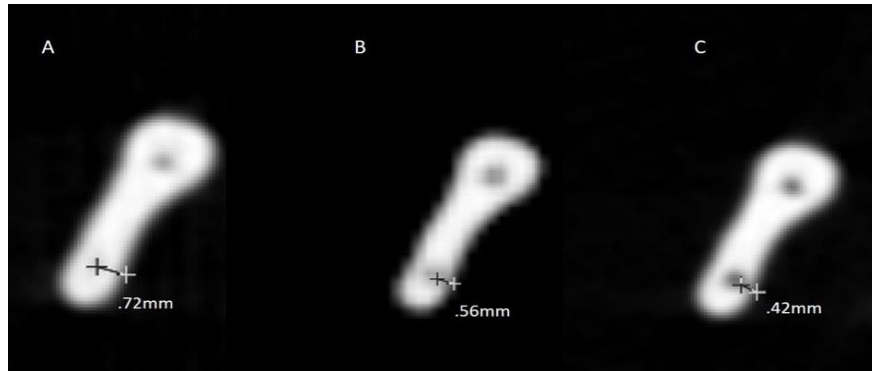
istatistiksel olarak anlamlı bir fark kaydedilmemiştir(6).Coldero ve ark. ile Albrecht ve ark. yaptıkları çalışmalarda kanal içi bakteriyel azalma için aşırı apikal preparasyonun gerekli olmadığı sonucuna varmışlardır (7, 205). Literatürdeki diğerçalışmalar da göz önüne alındığında, temel kök hazırlığının apikal boyutu #20-25, taperın ise 0.04 olması gerektiği söylenebilir. Kök kanalında apikal üçlü bölgesine yeterli miktarda irrigasyonun solüsyonun ulaşmasında bu boyutlardaki genişletmelerin için yeterli olduğudüşünülmektedir. Tüm bu bilgiler doğrultusunda MB1 kanaldan daha dar olduğu bilinen MB2 kanal için; bu çalışmada #20.04 boyutlarındaki preparasyon en küçük deney grubu olarak seçildi.

Kılıç ve ark., 55 adet çekilmiş mandibular birinci molar dişlerde MMK farklı apikal boyut ve taperda (#25.04- #25.06- #30.04- #30.06) genişletmiştir. İkili karşılaştırmalarda kontrol ve #25.04 grubu arasında kırılma direnci açısından önemli ölçüde fark olmadığı belirlemişlerdir. Ancak her iki grubun kırık dayanımının; #25.06, #30.04 ve #30.06 grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek kırılma direnci gösterdiği tespit etmişlerdir. Apikal preparasyon boyutunun artması ile kırılma direncinin azaldığını, yüksek konisite ile yapılan genişletmelerde kırılma direncinin azaldığını ve konisite artışının, apikal çap artışına göre kırılma direncini daha çok etkilediğini bulmuşlardır(18). Sonuçlar çalışmamız ile uyumlu idi fakat Kılıç ve ark., yaptığı çalışmada kullanılan dişlerde MMK kanalların hangi konfigürasyonlarda birleşip birleşmediği belirtilmemiştir. Çalışmamızda apikal üçlüde birleşen MB2 kanallar çalışmaya dahil edilmiştir. Ayrıca sonlanan veya koronalde birleşen kanalların kırık dayanımı üzerinde etkisinin, farklı çalışmalar ile araştırılması gerekmektedir.

Mandibularmolarlarınmezial kökleri, maksiller birinci premolarlar ve maksillermolarlarınmezial köklerindeki konkav yapılar periapikal radyografilerde saptanamaz. Tehlike bölgeleriolarak adlandırılan bu alanlar, var olan dentin kalınlığının az olmasından dolayı aşırı preparasyon ile bu alanların zayıflaması sonucu mikro çatlak veya kırık oluşumuna zemin hazırlamaya yatkındır (143, 144). Keleş ve Keskin yaptıkları çalışmada, MMK kanal etrafındaki dentinkalınlığı ve ‘tehlike bölgesi’ arasındaki ilişkiyi mikro bilgisayarlı tomografi ile incelenmiş ve görüntülerde renk kodlamaları ile yapılan incelemede preparasyon öncesi ve sonrası görüntüler karşılaştırılmıştır. Özellikle furkasyon bölgesinde ilk 3mm’de ve MMK kanal etrafında preparasyon öncesi zaten ince olan dentin duvarlarının, preparasyon sonrası daha da incelidiğigösterilmiştir(206).

Forghani ve ark., CBCT kullanarak maksiller birinci molar dişlerin MB2 kanallarının tehlike bölgesinde kalan dentin duvarın kalınlığını, 0.02 ve 0.04 taperlardapreparasyonsonrasında değerlendirmişlerdir. 0.02 ve 0.04 taperlarda ile dentin kalınlığında önemli bir azalma meydana gelmiştir. (Resim 5.1) Maksiller birinci molar dişlerinin MB2 kanallarında daha büyük taperlarda aletlerin kullanılması, kök kanalının koronal seviyesinde dentin kalınlığının 0.5mm'den az olan örneklerin sayısını artırdığı ve strip perforasyon riskini azaltmak için bu tür kök kanallarının preparasyonunda büyük taperlara sahip aletlerin dikkatli kullanılması gerektiği sonucuna varmıştır(207). Çalışmamızda #30.04 ve #35.04 gruplarında kırılma dayanımının düşmesininin, bu 'tehlike bölgeleri' ile ilişkili olduğunu; yüksek boyutlarda genişletmeye bağlı bu alanda PSD'nin incelmesini ve kırık dayanımı düşürüp VKK'ye neden olabileceğini düşünmekteyiz. Ancak literatürdekimaksillermolardişlerinMB2'ye yapılan genişletme boyutlarının kırılma dayanımına etkisi ile ilgili bilgi eksikliği nedeniyle sonuçlarımız diğer çalışmalar ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilememiştir.

Çalışmamızın sonuçları, daha fazla apikal genişletme ve taper artışının köklerin kırılma dayanımını azaltmadığı sonucuna varan Lam ve ark.ile çelişmektedir(208). Bu çelişkinin; kullanılan genişletme araçlarının final apikal ve koronal genişletme boyut ile taperlarının farklı olması ve buna bağlı sistemler arasında uzaklaştırılan dentin miktarlarının farklı olmasından dolayı sonuçları etkilediğini düşünmekteyiz.



Şekil 5. 1.Aksiyel kesit tomografi görüntüleri. A. Preparasyon öncesi B. 0.02 taper ile preparasyon C. 0.04 taper ile preparasyon (207)

Shemesh ve ark., kök kanalı preparasyonu öncesi ve sonrası dentinde defekt oluşumunu ile lateral kondensasyonun dentin çatlakları üzerine etkisine bakmışlardır. Sadece kanal preparasyonunun, kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde dentin defektleri gözlenmiştir. Lateral kondensasyon ile dolum yapılan grupta, tek kon yöntemi ile dolum yapılan gruba göre anlamlı düzeyde dentin efektleri gözlemlenmiştir. Çatlak çizgilerinin ve tamamlanmamış çatlakların, endodontik prosedürlerin tamamlanmasından sonra, preparasyon sonrası veya yeniden tedavi gibi ek tedavileri takiben veya çiğneme fonksiyonu ve oklüzal yükleme sırasında köke doğru aktarılan kuvvetler nedeniyle yayılıp VKK'ye dönüşebileceğini belirtmişlerdir(147). Dang ve ark. ile Saw ve ark. yaptıkları çalışmalarda da spreadera bağlı VKK riski olduğu bildikleri için dolayı; çalışmamızda bu riski elimine etmek için tek kon yöntemi ile dolum yapıldı. (145, 146)

Endodontide temel irrigasyon solüsyonu olarak kullanılan NaOCl'nin dentinin mekanik özelliklerinde değişikliğe neden olduğu konusu çalışmalarda incelenmiştir(209-211). NaOCl, organik dentin bileşenlerini çözmesi yoluyla dentinin mekanik özelliklerini değiştirebilir. NaOCl'nin bu etkinliği yüksek konsantrasyonda kullanıldığında daha belirgindir (212). Siqueira ve ark., %1 ile 5.25 NaOCl'in benzer antimikrobiyal etkililiğe sahip olduğunu bildirmiştir (213). Bu nedenle, klinik açıdan bakıldığında, kök kırığına duyarlılığı azaltmak ve kök kanal irrigasyonu için aşırı yüksek NaOCl konsantrasyonundan kaçınılmalıdır. Bu çalışmada örneklerin tamamında 10 cc %2.5'lik NaOCl, 2cc %17'lik EDTA ve 2cc distile su kullanılarak, irrigasyonun dentin üzerindeki zayıflatıcı etkisi azaltılmaya çalışılmıştır.

Doğal dişlerin kullanıldığı kırılma direnci çalışmalarında numunenin standardizasyonu önemli bir faktördür. Çekilmiş insan dişlerinin kullanımı ile alakalı olarak karşılaşılan yaygın bir problem; doğal dişlerin yüksek standart sapmalara sebep olması ve mekanik özellikler açısından çeşitlilik görülmesidir. Bu tür çalışmalarda doğal diş kullanmanın başka bir dezavantajı; dişlerin boyut bakımından çok geniş bir çeşitliliğe sahip olmasıdır. Bu özelliklerinin yanında dentin yapısındaki farklılıklar da standardizasyonu zorlaştırmaktadır. Bu farklılıklar hastanın yaşı, diş çekilmeden önce pulpanın durumu, çekim sırasında uygulanan kuvvetlere bağlı oluşan çatlaklar, çekim sonrası saklama koşulları, nem oranı ve dentinin yapısına bağlı olarak ortaya çıkmakta ve standart sapmanın çok geniş aralıkta olmasına neden olabilmektedir.

Kök boyutlarındaki değişiklikler, farklı koniklerle enstrümantasyon sonrasında kalan dentin kalınlığını etkileyebilir. Ayrıca kırılmaya en duyarlı kökler, MD çapı BL boyutuna göre dar olan köklerdir(214). Daha önceki çalışmalarda köklerin boyutları ihmal edilmiş veya yeterince incelenmemiştir(215, 216). Yalnızca Zandbiglari ve ark., standart uzunlukta ve BL çapındaki kökleri kullanmıştır(217). Ancak bu köklerin MD çapı ve ağırlığı incelenmemiştir. Çalışmamızda gruplar mezio distal, bukkopalatinal çap ve ağırlık ölçümleri ile gruplar arası standardizasyon hassasiyet ile sağlandı. Fiziksel olarak benzer dişler seçilerek, tarafsız standardize edilmiş gruplar oluşturulmasının morfolometrik özelliklerin kırık dayanımı açısından gruplar arasında fark oluşturmayacağını düşünmekteyiz. Çekim ve saklama süresi diş örneklerinin kırılma dayanımını artırabilir. Bu nedenle, bu çalışmada, çekilmiş dişler toplanmış ve kullanılmadan önce %0.9 fizyolojik salin içinde üç ay boyunca saklanmıştır(173, 218).

Yükleme hızı arttıkça, kök dentini içerisindeki çatlak oluşumu ve çatlak ilerlemesi için yeterli zaman bırakılmaması nedeniyle hatalı veriler ortaya çıkabilir. Bu sebeple, çalışmamızda yükleme hızı 0.5 mm/dk olarak uygulanmıştır. Dişlere ağız içindeki konumlarına bağlı olarak farklı doğrultulardaki baskın kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Çalışmamızda dikey doğrultuda kuvvet uyguladık. Farklı çalışmalarda genellikle keser dişlerde 45° oblik kuvvetler uygulanmasının sebebi, ağız ortamının taklit edilmek istenmesi veya diğer grup dişlerde lateral hareketlerin taklit edilmek istenmesidir. Ayrıca bu çalışmada köklerin çalışma boyu 13 mm ile sınırlandırılmıştır. Çalışma boyu arttıkça, koronalde prepare edilen alan artacağından dolayı daha büyük çalışma boylarındaki preparasyonlarda, farklı taperların ve apikal genişletmelerin etkisini değerlendirmek için daha ileri araştırmalar yapılmalıdır.

Otopolimerizan akrilik rezinin polimerizasyonu ekzotermik bir reaksiyondur. Oluşan polimerizasyon ısısından dolayı dentinde nem azalması, çatlak oluşması yoluyla örneklerin zayıflamasına neden olabilir; bu durum dolaylı olarak kırılma değerlerini etkileyebilirdi. Örneklerin otopolimerizan akrilik bloklara gömülme işlemi sırasında, akrilikte ilk polimerizasyon belirtileri görüldükten hemen sonra, örnekler bloklardan çıkarılmıştır. Böylece polimerizasyon ısısının dentin üzerindeki olası etkileri en aza indirgenmeye çalışılmıştır.

Çalışmamızda, kırma testi öncesinde tüm örneklerin kronları, D ve P kökleri uzaklaştırıldı. Bu, klinik taklit edilmesi mümkün olmayan bir durum olduğundan kırılma anındaki yükler mutlak değildir ve değişkenlik gösterebilir. Ayrıca dişler ağız ortamında termal, kimyasal ve fiziksel etkilere maruz kalmaktadır. Ve bu durum in vivo şartlardaki sonuçları ters yönde etkileyebilir. Bu sınırlamalar da göz önünde tutularak, çalışmanın amacının benzer şartlar altındaki farklı grupları birbiri ile kıyaslamak olduğu unutulmamalıdır. Benzer çalışmalar arasındaki fark, gerçek bir klinik farklılık göstermekten ziyade, uygulanan metodolojideki değişkenliğin çalışma tasarımındaki farklılığı yansıtmasından kaynaklanıyor olabilir(219).



6.SONUÇ

İn-vitro olarak yürüttüğümüz çalışmamızın sonuçlarını şu şekilde özetleyebiliriz;

Maksillermolar dişlerde bulunan MB2 kanallarda, apikal preparasyon boyutunun artması kırık dayanımını azaltmıştır.





7. KAYNAKÇA

1. Paredes-Vieyra J, Enriquez FJ. Success rate of single- versus two-visit root canal treatment of teeth with apical periodontitis: a randomized controlled trial. *J Endod.* 2012;38(9):1164-1169.
2. Orstavik D. *Essential endodontology: prevention and treatment of apical periodontitis.* John Wiley & Sons, 2020.
3. Baugh D, Wallace J. The role of apical instrumentation in root canal treatment: a review of the literature. *J Endod.* 2005;31(5):333-340.
4. Card SJ, Sigurdsson A, Orstavik D, Trope M. The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *J Endod.* 2002;28(11):779-783.
5. Rollison S, Barnett F, Stevens RH. Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to instrumentation technique and size. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002;94(3):366-371.
6. Yared GM, Dagher FE. Influence of apical enlargement on bacterial infection during treatment of apical periodontitis. *J Endod.* 1994;20(11):535-537.
7. Coldero LG, McHugh S, MacKenzie D, Saunders WP. Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement. *Int Endod J.* 2002;35(5):437-446.
8. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic topics.* 2005;10(1):30-76.
9. Martins JNR, Marques D, Silva E, Caramês J, Mata A, Versiani MA. Second mesiobuccal root canal in maxillary molars-A systematic review and meta-analysis of prevalence studies using cone beam computed tomography. *Arch Oral Biol.* 2020;113:104589.
10. Weinberg EM, Pereda AE, Khurana S, Lotlikar PP, Falcon C, Hirschberg C. Incidence of Middle Mesial Canals Based on Distance between Mesial Canal Orifices in Mandibular Molars: A Clinical and Cone-beam Computed Tomographic Analysis. *J Endod.* 2020;46(1):40-43.
11. Ray HA, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J.* 1995;28(1):12-18.
12. Salehrabi R, Rotstein I. Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *J Endod.* 2004;30(12):846-850.
13. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival. *Int Endod J.* 2011;44(7):610-625.
14. Kishen A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. *Endodontic topics.* 2006;13(1):57-83.
15. Patel S, Bhuva B, Bose R. Present status and future directions: vertical root fractures in root filled teeth. *Int Endod J.* 2022;55 Suppl 3(Suppl 3):804-826.
16. Fernandes AS, Dessai GS. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review. *Int J Prosthodont.* 2001;14(4):355-363.
17. Motiwala MA, Gul M, Ghafoor R. Effect of different access cavity designs on fracture toughness of endodontically treated teeth: a systematic review and network meta-analysis. *Evid Based Dent.* 2022.

18. Kılıç Y, Karataşlıoğlu E, Kaval ME. The effect of root canal preparation size and taper of middle mesial canals on fracture resistance of the mandibular molar teeth: An in vitro study. *Journal of endodontics*. 2021;47(9):1467-1471.
19. Pradeep Kumar AR, Shemesh H, Nivedhitha MS, Hashir MMJ, Arockiam S, Uma Maheswari TN, Natanasabapathy V. Diagnosis of Vertical Root Fractures by Cone-beam Computed Tomography in Root-filled Teeth with Confirmation by Direct Visualization: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Endod*. 2021;47(8):1198-1214.
20. Mannocci F, Cowie J. Restoration of endodontically treated teeth. *Br Dent J*. 2014;216(6):341-346.
21. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen's Pathways of the Pulp: Cohen's Pathways of the Pulp-E-Book. Elsevier Health Sciences, 2020.
22. Chugal N, Mallya SM, Kahler B, Lin LM. Endodontic Treatment Outcomes. *Dent Clin North Am*. 2017;61(1):59-80.
23. Chubb DWR. A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success. *Aust Endod J*. 2019;45(1):5-11.
24. Chugal NM, Clive JM, Spångberg LS. A prognostic model for assessment of the outcome of endodontic treatment: Effect of biologic and diagnostic variables. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2001;91(3):342-352.
25. Basmadjian-Charles CL, Farge P, Bourgeois DM, Lebrun T. Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *Int Dent J*. 2002;52(2):81-86.
26. Friedman S. Prognosis of initial endodontic therapy. *Endodontic topics*. 2002;2(1):59-88.
27. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*. 2004;30(8):559-567.
28. Ricucci D, Russo J, Rutberg M, Burleson JA, Spångberg LS. A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011;112(6):825-842.
29. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic topics*. 2012;27(1):74-102.
30. Wang R, Shen Y, Ma J, Huang D, Zhou X, Gao Y, Haapasalo M. Evaluation of the effect of needle position on irrigant flow in the C-shaped root canal using a computational fluid dynamics model. *Journal of endodontics*. 2015;41(6):931-936.
31. Boutsoukis C, Kishen A. Fluid dynamics of syringe-based irrigation to optimise antibiofilm efficacy in root-canal disinfection. *Roots*. 2012;4:22-31.
32. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic topics*. 2005;10(1):103-122.
33. Ruksakiet K, Hanák L, Farkas N, Hegyi P, Sadaeng W, Czumbel LM, Sang-Ngoen T, Garami A, Mikó A, Varga G, Lohinai Z. Antimicrobial Efficacy of Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite in Root Canal Disinfection: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *J Endod*. 2020;46(8):1032-1041.e1037.
34. Salzgeber RM, Brilliant JD. An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *J Endod*. 1977;3(10):394-398.
35. Alovisei M, Pasqualini D, Musso E, Bobbio E, Giuliano C, Mancino D, Scotti N, Berutti E. Influence of Contracted Endodontic Access on Root Canal Geometry: An In Vitro Study. *J Endod*. 2018;44(4):614-620.
36. Stropko JJ. Canal morphology of maxillary molars: clinical observations of canal configurations. *J Endod*. 1999;25(6):446-450.

37. Buhrley LJ, Barrows MJ, BeGole EA, Wenckus CS. Effect of magnification on locating the MB2 canal in maxillary molars. *J Endod.* 2002;28(4):324-327.
38. Baldassari-Cruz LA, Lilly JP, Rivera EM. The influence of dental operating microscope in locating the mesiobuccal canal orifice. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002;93(2):190-194.
39. Schwarze T, Baethge C, Stecher T, Geurtsen W. Identification of second canals in the mesiobuccal root of maxillary first and second molars using magnifying loupes or an operating microscope. *Aust Endod J.* 2002;28(2):57-60.
40. Görduysus MO, Görduysus M, Friedman S. Operating microscope improves negotiation of second mesiobuccal canals in maxillary molars. *J Endod.* 2001;27(11):683-686.
41. Coelho MS, Lacerda M, Silva MHC, Rios MA. Locating the second mesiobuccal canal in maxillary molars: challenges and solutions. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2018;10:195-202.
42. Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res.* 2000;79(6):1405-1409.
43. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod.* 2001;27(1):1-6.
44. Versiani MA, Basrani B, Sousa-Neto MD. The root canal anatomy in permanent dentition. 2019.
45. Degerness RA, Bowles WR. Dimension, anatomy and morphology of the mesiobuccal root canal system in maxillary molars. *J Endod.* 2010;36(6):985-989.
46. Bhavyaa R, Sujitha P, Muthu MS, Nirmal L, Patil SS. Prevalence of the Cusp of Carabelli: a systematic review and meta-analysis. *Ann Hum Biol.* 2021;48(7-8):572-584.
47. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1984;58(5):589-599.
48. Ibarrola JL, Knowles KI, Ludlow MO, McKinley IB, Jr. Factors affecting the negotiability of second mesiobuccal canals in maxillary molars. *J Endod.* 1997;23(4):236-238.
49. Nelson S, Ash Jr M, Jr Nelson S. Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion. 9th. St Louis: Saunders Elsevier. 2010:189-199.
50. Cleghorn BM, Goodacre CJ, Christie WH. Morphology of teeth and their root canal systems. *Endodontics.* 2008;6:151-210.
51. Vertucci FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontic topics.* 2005;10(1):3-29.
52. Ahmed HM, Abbott PV. Accessory roots in maxillary molar teeth: a review and endodontic considerations. *Aust Dent J.* 2012;57(2):123-131; quiz 248.
53. Versiani MA, Pécora JD, de Sousa-Neto MD. Root and root canal morphology of four-rooted maxillary second molars: a micro-computed tomography study. *J Endod.* 2012;38(7):977-982.
54. Ahmed HM, Hashem AA. Accessory roots and root canals in human anterior teeth: a review and clinical considerations. *Int Endod J.* 2016;49(8):724-736.
55. Versiani MA, Ordinola-Zapata R, Keleş A, Alcin H, Bramante CM, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Middle mesial canals in mandibular first molars: A micro-CT study in different populations. *Arch Oral Biol.* 2016;61:130-137.
56. Weine FS, Healey HJ, Gerstein H, Evanson L. Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1969;28(3):419-425.

57. Ahmed HM, Versiani MA, De-Deus G, Dummer PM. New proposal for classifying root and root canal morphology. *The Root Canal Anatomy in Permanent Dentition*. 2019;47-56.
58. Christie W, Peikoff M, Fogel H. Maxillary molars with two palatal roots: a retrospective clinical study. *Journal of endodontics*. 1991;17(2):80-84.
59. Baratto-Filho F, Fariniuk L, Ferreira E, Pécora JD, Cruz-Filho A, Sousa-Neto M. Clinical and macroscopic study of maxillary molars with two palatal roots. *International endodontic journal*. 2002;35(9):796-801.
60. Bellizzi R, Hartwell G. Evaluating the maxillary premolar with three canals for endodontic therapy. *Journal of Endodontics*. 1981;7(11):521-527.
61. Ahmed HMA, Cheung GSP. Accessory roots and root canals in maxillary premolar teeth: a review of a critical endodontic challenge. *ENDO-Endodontic Practice Today*. 2012;6(1):7-18.
62. Pomeranz HH, Eidelman DL, Goldberg MG. Treatment considerations of the middle mesial canal of mandibular first and second molars. *Journal of endodontics*. 1981;7(12):565-568.
63. Song JS, Choi H-J, Jung I-Y, Jung H-S, Kim S-O. The prevalence and morphologic classification of distolingual roots in the mandibular molars in a Korean population. *Journal of endodontics*. 2010;36(4):653-657.
64. Gulabivala K, Aung T, Alavi A, Ng YL. Root and canal morphology of Burmesian mandibular molars. *International endodontic journal*. 2001;34(5):359-370.
65. Sert S, Bayirli GS. Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the Turkish population. *Journal of endodontics*. 2004;30(6):391-398.
66. Versiani MA, Ordinola-Zapata R. Root canal anatomy: implications in biofilm disinfection. *The root canal biofilm*. 2015:155-187.
67. Ordinola-Zapata R, Versiani MA, Bramante CM. Root canal components. *The root canal anatomy in permanent dentition*. 2019:31-46.
68. Vertucci FJ, Gegauff A. Root canal morphology of the maxillary first premolar. *Journal of the American Dental Association* (1939). 1979;99(2):194-198.
69. Çalışkan M, Pehlivan Y. Prognosis of root-fractured permanent incisors. *Dental Traumatology*. 1996;12(3):129-136.
70. Lee JH, Kim KD, Lee JK, Park W, Jeong JS, Lee Y, Gu Y, Chang SW, Son WJ, Lee WC, Baek SH, Bae KS, Kum KY. Mesio buccal root canal anatomy of Korean maxillary first and second molars by cone-beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011;111(6):785-791.
71. Abarca J, Gómez B, Zaror C, Monardes H, Bustos L, Cantin M. Assessment of mesial root morphology and frequency of MB2 canals in maxillary molars using cone beam computed tomography. *Int J Morphol*. 2015;33(4):1333-1337.
72. Aktan AM, Yildirim C, Culha E, Demir E, Ciftci ME. Detection of second mesio buccal canals in maxillary first molars using a new angle of cone beam computed tomography. *Iranian Journal of Radiology*. 2016;13(4).
73. Ghobashy AM, Nagy MM, Bayoumi AA. Evaluation of Root and Canal Morphology of Maxillary Permanent Molars in an Egyptian Population by Cone-beam Computed Tomography. *J Endod*. 2017;43(7):1089-1092.
74. Khademi A, Zamani Naser A, Bahreinian Z, Mehdizadeh M, Najarian M, Khazaei S. Root Morphology and Canal Configuration of First and Second Maxillary Molars in a

Selected Iranian Population: A Cone-Beam Computed Tomography Evaluation. *Iran Endod J.* 2017;12(3):288-292.

75. Wang H, Ci B-W, Yu H-Y, Qin W, Yan Y-X, Wu B-L, Ma D-D. Evaluation of root and canal morphology of maxillary molars in a Southern Chinese subpopulation: a cone-beam computed tomographic study. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2017;10(4):7030-7039.

76. Alves CRG, Marques MM, Moreira MS, de Cara SPHM, Bueno CES, Lascala CÂ. Second mesiobuccal root canal of maxillary first molars in a Brazilian population in high-resolution cone-beam computed tomography. *Iranian Endodontic Journal.* 2018;13(1):71.

77. Alsaket YM, El-Ma'aita AM, Aqrabawi J, Alhadidi A. Prevalence and Configuration of the Second Mesiobuccal Canal in the Permanent Maxillary First Molar in Jordanian Population Sample. *Iran Endod J.* 2020;15(4):217-220.

78. Barbhui S, Shetty R, Joshi P, Mehta V, Mathur A, Sharma T, Chakraborty D, Porwal P, Meto A, Wahjuningrum DA, Luke AM, Pawar AM. Evaluation of Root Anatomy and Canal Configuration of Human Permanent Maxillary First Molar Using Cone-Beam Computed Tomography: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(16).

79. Mufadhal AA, Madfa AA. The morphology of permanent maxillary first molars evaluated by cone-beam computed tomography among a Yemeni population. *BMC Oral Health.* 2023;23(1):46.

80. Versiani MA, Pereira MR, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Root canal anatomy of maxillary and mandibular teeth. *The root canal anatomy in permanent dentition.* 2019:181-239.

81. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. Root and root canal morphology of the human permanent maxillary first molar: a literature review. *J Endod.* 2006;32(9):813-821.

82. Martins JNR, Alkawas MAM, Altaki Z, Bellardini G, Berti L, Boveda C, Chaniotis A, Flynn D, Gonzalez JA, Kottoor J, Marques MS, Monroe A, Ounsi HF, Parashos P, Plotino G, Ragnarsson MF, Aguilar RR, Santiago F, Seedat HC, Vargas W, von Zuben M, Zhang Y, Gu Y, Ginjeira A. Worldwide Analyses of Maxillary First Molar Second Mesiobuccal Prevalence: A Multicenter Cone-beam Computed Tomographic Study. *J Endod.* 2018;44(11):1641-1649.e1641.

83. Gu Y, Lee JK, Spångberg LS, Lee Y, Park CM, Seo DG, Chang SW, Hur MS, Hong ST, Kum KY. Minimum-intensity projection for in-depth morphology study of mesiobuccal root. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(5):671-677.

84. Hargreaves KM, Cohen S. *Pathways of the Pulp* 10th ed., 6391-654, Mosby, St. Louis; 2011.

85. Wolcott J, Ishley D, Kennedy W, Johnson S, Minnich S. Clinical investigation of second mesiobuccal canals in endodontically treated and retreated maxillary molars. *J Endod.* 2002;28(6):477-479.

86. Huuonen S, Kvist T, Gröndahl K, Molander A. Diagnostic value of computed tomography in re-treatment of root fillings in maxillary molars. *Int Endod J.* 2006;39(10):827-833.

87. Karabucak B, Bunes A, Chehoud C, Kohli MR, Setzer F. Prevalence of Apical Periodontitis in Endodontically Treated Premolars and Molars with Untreated Canal: A Cone-beam Computed Tomography Study. *J Endod.* 2016;42(4):538-541.

88. Reis AG, Grazziotin-Soares R, Barletta FB, Fontanella VR, Mahl CR. Second canal in mesiobuccal root of maxillary molars is correlated with root third and patient age: a cone-beam computed tomographic study. *J Endod.* 2013;39(5):588-592.

89. Guo J, Vahidnia A, Sedghizadeh P, Enciso R. Evaluation of root and canal morphology of maxillary permanent first molars in a North American population by cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2014;40(5):635-639.
90. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015;120(4):508-512.
91. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F. European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. *Int Endod J.* 2019;52(12):1675-1678.
92. Mizoguchi Y. 6 Significant among-population associations found between dental characters and environmental factors. *Anthropological perspectives on tooth morphology: Genetics, evolution, variation.* 2013;66:108.
93. Capitaneanu C, Willems G, Thevissen P. A systematic review of odontological sex estimation methods. *J Forensic Odontostomatol.* 2017;35(2):1-19.
94. Özgür E, SAĞSEN B, KAHRAMAN Y. MAKSİLLER MOLAR DIŞLERDEKİ KÖK KANAL SAYISI İNSİDANSININ OPERASYON MİKROSKOBU İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: İN VİVO. *Sağlık Bilimleri Dergisi.* 2007;16(2):73-79.
95. Jing YN, Ye X, Liu DG, Zhang ZY, Ma XC. [Cone-beam computed tomography was used for study of root and canal morphology of maxillary first and second molars]. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2014;46(6):958-962.
96. Altunsoy M, Ok E, Nur BG, Aglarci OS, Gungor E, Colak M. Root canal morphology analysis of maxillary permanent first and second molars in a southeastern Turkish population using cone-beam computed tomography. *Journal of Dental Sciences.* 2015;10(4):401-407.
97. Naseri M, Safi Y, Akbarzadeh Baghban A, Khayat A, Eftekhari L. Survey of Anatomy and Root Canal Morphology of Maxillary First Molars Regarding Age and Gender in an Iranian Population Using Cone-Beam Computed Tomography. *Iran Endod J.* 2016;11(4):298-303.
98. Fernandes NA, Herbst D, Postma TC, Bunn BK. The prevalence of second canals in the mesiobuccal root of maxillary molars: A cone beam computed tomography study. *Aust Endod J.* 2019;45(1):46-50.
99. Kewalramani R, Murthy CS, Gupta R. The second mesiobuccal canal in three-rooted maxillary first molar of Karnataka Indians sub-populations: A cone-beam computed tomography study. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2019;9(4):347-351.
100. Kim Y, Lee SJ, Woo J. Morphology of maxillary first and second molars analyzed by cone-beam computed tomography in a Korean population: variations in the number of roots and canals and the incidence of fusion. *J Endod.* 2012;38(8):1063-1068.
101. Rezaeian M, Rouhani Tonekaboni M, Iranmanesh F. Evaluating the Root Canal Morphology of Permanent Maxillary First Molars in Iranian Population. *Iran Endod J.* 2018;13(1):78-82.
102. Ordinola-Zapata R, Martins JNR, Plascencia H, Versiani MA, Bramante CM. The MB3 canal in maxillary molars: a micro-CT study. *Clin Oral Investig.* 2020;24(11):4109-4121.
103. Suresh M, Karthikeyan K, Mahalaxmi S. Maxillary Second Molar with Fused Root and Six Canals- A Case Report. *J Clin Diagn Res.* 2017;11(4):Zd35-zd37.
104. Kulild JC, Peters DD. Incidence and configuration of canal systems in the mesiobuccal root of maxillary first and second molars. *J Endod.* 1990;16(7):311-317.
105. al Shalabi RM, Omer OE, Glennon J, Jennings M, Claffey NM. Root canal anatomy of maxillary first and second permanent molars. *Int Endod J.* 2000;33(5):405-414.

106. Sert S, Bayirli GS. Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the Turkish population. *J Endod.* 2004;30(6):391-398.
107. Verma P, Love RM. A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth. *Int Endod J.* 2011;44(3):210-217.
108. Zhang R, Wang H, Tian YY, Yu X, Hu T, Dummer PM. Use of cone-beam computed tomography to evaluate root and canal morphology of mandibular molars in Chinese individuals. *Int Endod J.* 2011;44(11):990-999.
109. Harris SP, Bowles WR, Fok A, McClanahan SB. An anatomic investigation of the mandibular first molar using micro-computed tomography. *J Endod.* 2013;39(11):1374-1378.
110. Kim SY, Kim BS, Woo J, Kim Y. Morphology of mandibular first molars analyzed by cone-beam computed tomography in a Korean population: variations in the number of roots and canals. *J Endod.* 2013;39(12):1516-1521.
111. Friedman S, Moshonov J, Stabholz A. Five root canals in a mandibular first molar. *Endod Dent Traumatol.* 1986;2(5):226-228.
112. Ryan JL, Bowles WR, Baisden MK, McClanahan SB. Mandibular first molar with six separate canals. *J Endod.* 2011;37(6):878-880.
113. Reeh ES. Seven canals in a lower first molar. *J Endod.* 1998;24(7):497-499.
114. Rao A, Arathi R. Taurodontism of deciduous and permanent molars: report of two cases. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2006;24(1):42-44.
115. Tsesis I, Steinbock N, Rosenberg E, Kaufman AY. Endodontic treatment of developmental anomalies in posterior teeth: treatment of geminated/fused teeth--report of two cases. *Int Endod J.* 2003;36(5):372-379.
116. Schäfer E, Breuer D, Janzen S. The prevalence of three-rooted mandibular permanent first molars in a German population. *J Endod.* 2009;35(2):202-205.
117. Bolger WL, Schindler WG. A mandibular first molar with a C-shaped root configuration. *J Endod.* 1988;14(10):515-519.
118. Baugh D, Wallace J. Middle mesial canal of the mandibular first molar: a case report and literature review. *J Endod.* 2004;30(3):185-186.
119. Kottoor J, Sudha R, Velmurugan N. Middle distal canal of the mandibular first molar: a case report and literature review. *Int Endod J.* 2010;43(8):714-722.
120. Versiani MA, Martins JN, Basrani B. 3D visual glossary of terminology in root and root canal anatomy. *The Root Canal Anatomy in Permanent Dentition.* 2019:391-425.
121. Manning SA. Root canal anatomy of mandibular second molars. Part II. C-shaped canals. *Int Endod J.* 1990;23(1):40-45.
122. Jafarzadeh H, Wu YN. The C-shaped root canal configuration: a review. *J Endod.* 2007;33(5):517-523.
123. Weine FS, Pasiewicz RA, Rice RT. Canal configuration of the mandibular second molar using a clinically oriented in vitro method. *Journal of Endodontics.* 1988;14(5):207-213.
124. Yang ZP, Yang SF, Lin YC, Shay JC, Chi CY. C-shaped root canals in mandibular second molars in a Chinese population. *Dental traumatology.* 1988;4(4):160-163.
125. Weine FS, Association AE. The C-shaped mandibular second molar: incidence and other considerations. *Journal of Endodontics.* 1998;24(5):372-375.
126. Haddad GY, Nehme WB, Ounsi HF. Diagnosis, classification, and frequency of C-shaped canals in mandibular second molars in the Lebanese population. *Journal of endodontics.* 1999;25(4):268-271.

127. Jin G-C, Lee S-J, Roh B-D. Anatomical study of C-shaped canals in mandibular second molars by analysis of computed tomography. *Journal of endodontics*. 2006;32(1):10-13.
128. Rahimi S, Shahi S, Lotfi M, Zand V, Abdolrahimi M, Es' hagh R. Root canal configuration and the prevalence of C-shaped canals in mandibular second molars in an Iranian population. *Journal of oral science*. 2008;50(1):9-13.
129. Wang Y, Guo J, Yang HB, Han X, Yu Y. Incidence of C-shaped root canal systems in mandibular second molars in the native Chinese population by analysis of clinical methods. *Int J Oral Sci*. 2012;4(3):161-165.
130. Newton CW, McDonald S. A C-shaped canal configuration in a maxillary first molar. *J Endod*. 1984;10(8):397-399.
131. Fan B, Cheung GS, Fan M, Gutmann JL, Bian Z. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I--Anatomical features. *J Endod*. 2004;30(12):899-903.
132. Fan B, Cheung GS, Fan M, Gutmann JL, Fan W. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part II--Radiographic features. *J Endod*. 2004;30(12):904-908.
133. Fan B, Yang J, Gutmann JL, Fan M. Root canal systems in mandibular first premolars with C-shaped root configurations. Part I: Microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. *J Endod*. 2008;34(11):1337-1341.
134. von Zuben M, Martins JNR, Berti L, Cassim I, Flynn D, Gonzalez JA, Gu Y, Kottoor J, Monroe A, Rosas Aguilar R, Marques MS, Ginjeira A. Worldwide Prevalence of Mandibular Second Molar C-Shaped Morphologies Evaluated by Cone-Beam Computed Tomography. *J Endod*. 2017;43(9):1442-1447.
135. Tamse A. Vertical root fractures of endodontically treated teeth. *Ingle's endodontics 6th ed* Hamilton: BC Decker Inc. 2008:676-689.
136. Helfer AR, Melnick S, Schilder H. Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1972;34(4):661-670.
137. Huang T-JG, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *Journal of endodontics*. 1992;18(5):209-215.
138. Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *Journal of endodontics*. 1992;18(7):332-335.
139. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *Journal of Endodontics*. 1997;23(8):533-534.
140. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation. *Journal of Endodontics*. 2010;36(4):679-690.
141. Velardi JP, Alquria TA, Alfidous RA, Griffin IL, Tordik PA, Martinho FC. Efficacy of Gentle Wave System and Passive Ultrasonic Irrigation with Minimally Invasive and Conventional Instrumentation Technique against *Enterococcus faecalis* Lipoteichoic Acid in Infected Root Canals. *J Endod*. 2022;48(6):768-774.
142. Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J*. 2003;36(2):93-99.
143. Elayouti A, Chu AL, Kimionis I, Klein C, Weiger R, Löst C. Efficacy of rotary instruments with great taper in preparing oval root canals. *Int Endod J*. 2008;41(12):1088-1092.

144. Katz A, Wasenstein-Kohn S, Tamse A, Zuckerman O. Residual dentin thickness in bifurcated maxillary premolars after root canal and dowel space preparation. *J Endod.* 2006;32(3):202-205.
145. Dang DA, Walton RE. Vertical root fracture and root distortion: effect of spreader design. *J Endod.* 1989;15(7):294-301.
146. Saw LH, Messer HH. Root strains associated with different obturation techniques. *J Endod.* 1995;21(6):314-320.
147. Shemesh H, Bier CA, Wu MK, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR. The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *Int Endod J.* 2009;42(3):208-213.
148. Schmidt KJ, Walker TL, Johnson JD, Nicoll BK. Comparison of nickel-titanium and stainless-steel spreader penetration and accessory cone fit in curved canals. *J Endod.* 2000;26(1):42-44.
149. Khan S, Inamdar MN, Munaga S, Ali SA, Rawtiya M, Ahmad E. Evaluation of Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Filled with Gutta-Percha and Resilon Obturating Material: An In Vitro Study. *J Int Oral Health.* 2015;7(Suppl 2):21-25.
150. Gross MJ, Turner CH. Intra-radicular hydrostatic pressure changes during the cementation of post-retained crowns. *J Oral Rehabil.* 1983;10(3):237-249.
151. Cooney JP, Caputo AA, Trabert KC. Retention and stress distribution of tapered-end endodontic posts. *J Prosthet Dent.* 1986;55(5):540-546.
152. Cheung W. A review of the management of endodontically treated teeth. Post, core and the final restoration. *J Am Dent Assoc.* 2005;136(5):611-619.
153. Libman WJ, Nicholls JI. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. *International Journal of Prosthodontics.* 1995;8(2).
154. Wu MK, Pehlivan Y, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Microleakage along apical root fillings and cemented posts. *J Prosthet Dent.* 1998;79(3):264-269.
155. Pierrisnard L, Bohin F, Renault P, Barquins M. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis. *J Prosthet Dent.* 2002;88(4):442-448.
156. Bier CA, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu MK. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod.* 2009;35(2):236-238.
157. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths. *J Endod.* 2011;37(4):522-525.
158. Barreto MS, Moraes Rdo A, Rosa RA, Moreira CH, Só MV, Bier CA. Vertical root fractures and dentin defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling. *J Endod.* 2012;38(8):1135-1139.
159. Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, Kuden C, Kasan Z. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod.* 2012;38(2):232-235.
160. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod.* 2013;39(4):501-504.
161. Hin ES, Wu MK, Wesselink PR, Shemesh H. Effects of self-adjusting file, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod.* 2013;39(2):262-264.

162. Paraskevopoulou MT, Khabbaz MG. Influence of taper of root canal shape on the intracanal bacterial reduction. *The Open Dentistry Journal*. 2016;10:568.
163. 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):721-724.
164. Nair PR, Sjögren U, Krey G, Kahnberg K-E, Sundqvist G. Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *Journal of endodontics*. 1990;16(12):580-588.
165. Ørstavik D, Kerekes K, Molven O. Effects of extensive apical reaming and calcium hydroxide dressing on bacterial infection during treatment of apical periodontitis: a pilot study. *International Endodontic Journal*. 1991;24(1):1-7.
166. Wu M-K, Wesselink PR. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1995;79(4):492-496.
167. Siqueira Jr JF, Araújo MC, Garcia PF, Fraga RC, Dantas CJS. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *Journal of endodontics*. 1997;23(8):499-502.
168. Buchanan LS. The standardized-taper root canal preparation--Part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments. *Int Endod J*. 2000;33(6):516-529.
169. Arvaniti IS, Khabbaz MG. Influence of root canal taper on its cleanliness: a scanning electron microscopic study. *J Endod*. 2011;37(6):871-874.
170. Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, Arslan H, Topçu MÇ, Yeter KY. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *Journal of endodontics*. 2015;41(2):261-264.
171. Li S-h, Lu Y, Song D, Zhou X, Zheng Q-h, Gao Y, Huang D-m. Occurrence of dentinal microcracks in severely curved root canals with ProTaper universal, WaveOne, and ProTaper next file systems. *Journal of endodontics*. 2015;41(11):1875-1879.
172. Askerbeyli Örs S, Serper A. Influence of nickel-titanium rotary systems with varying tapers on the biomechanical behaviour of maxillary first premolars under occlusal forces: a finite element analysis study. *International Endodontic Journal*. 2018;51(5):529-540.
173. Krikeli E, Mikrogeorgis G, Lyroutdia K. In vitro comparative study of the influence of instrument taper on the fracture resistance of endodontically treated teeth: an integrative approach-based analysis. *Journal of endodontics*. 2018;44(9):1407-1411.
174. Sabeti M, Kazem M, Dianat O, Bahrololumi N, Beglou A, Rahimpour K, Dehnavi F. Impact of Access Cavity Design and Root Canal Taper on Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: An Ex Vivo Investigation. *J Endod*. 2018;44(9):1402-1406.
175. Aksoy Ç, Keriş EY, Yaman SD, Ocak M, Geneci F, Çelik HH. Evaluation of XP-endo Shaper, Reciproc Blue, and ProTaper Universal NiTi Systems on Dentinal Microcrack Formation Using Micro-Computed Tomography. *J Endod*. 2019;45(3):338-342.
176. Munari LS, Bowles WR, Fok ASL. Relationship between Canal Enlargement and Fracture Load of Root Dentin Sections. *Dent Mater*. 2019;35(5):818-824.
177. Doğanay Yıldız E, Fidan ME, Sakarya RE, Dinçer B. The effect of taper and apical preparation size on fracture resistance of roots. *Aust Endod J*. 2021;47(1):67-72.
178. Lin GSS, Singbal KP, Noorani TY, Penukonda R. Vertical root fracture resistance and dentinal crack formation of root canal-

treated teeth instrumented with different nickel-titanium rotary systems: an in-vitro study. *Odontology*. 2022;110(1):106-112.

179. Capar ID, Altunsoy M, Arslan H, Ertas H, Aydinbelge HA. Fracture strength of roots instrumented with self-adjusting file and the ProTaper rotary systems. *Journal of endodontics*. 2014;40(4):551-554.

180. Zogheib C, Sfeir G, Plotino G, De Deus G, Daou M, Khalil I. Impact of minimal root canal taper on the fracture resistance of endodontically treated bicuspids. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*. 2018;8(2):179.

181. Tian SY, Wei B, Jiang WR, Liang YH. Fracture Resistance of Roots in Mandibular Premolars Following Root Canal Instrumentation of Different Sizes. *Chinese Journal of Dental Research*. 2019;22(3).

182. Magne P, Belser UC. Porcelain versus composite inlays/onlays: effects of mechanical loads on stress distribution, adhesion, and crown flexure. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2003;23(6):543-555.

183. Roylance D. Mechanical properties of materials. 2008.

184. Anusavice K, Kakar K, Ferree N. Which mechanical and physical testing methods are relevant for predicting the clinical performance of ceramic-based dental prostheses? *Clinical Oral Implants Research*. 2007;18:218-231.

185. Cagidiaco MC, Goracci C, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Clinical studies of fiber posts: a literature review. *International Journal of Prosthodontics*. 2008;21(4).

186. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Effect of new obturating materials on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics*. 2007;33(6):732-736.

187. Plotino G, Özyürek T, Grande NM, Gündoğar M. Influence of size and taper of basic root canal preparation on root canal cleanliness: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J*. 2019;52(3):343-351.

188. Augusto CM, Barbosa AFA, Guimarães CC, Lima CO, Ferreira CM, Sassone LM, Silva E. A laboratory study of the impact of ultraconservative access cavities and minimal root canal tapers on the ability to shape canals in extracted mandibular molars and their fracture resistance. *Int Endod J*. 2020;53(11):1516-1529.

189. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod*. 1990;16(10):498-504.

190. Touré B, Faye B, Kane AW, Lo CM, Niang B, Boucher Y. Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study. *J Endod*. 2011;37(11):1512-1515.

191. Yoshino K, Ito K, Kuroda M, Sugihara N. Prevalence of vertical root fracture as the reason for tooth extraction in dental clinics. *Clin Oral Investig*. 2015;19(6):1405-1409.

192. von Arx T, Maldonado P, Bornstein MM. Occurrence of Vertical Root Fractures after Apical Surgery: A Retrospective Analysis. *J Endod*. 2021;47(2):239-246.

193. Sugaya T, Nakatsuka M, Inoue K, Tanaka S, Miyaji H, Sakagami R, Kawamami M. Comparison of fracture sites and post lengths in longitudinal root fractures. *J Endod*. 2015;41(2):159-163.

194. Liao WC, Tsai YL, Wang CY, Chang MC, Huang WL, Lin HJ, Liu HC, Chan CP, Chang SH, Jeng JH. Clinical and Radiographic Characteristics of Vertical Root Fractures in Endodontically and Nonendodontically Treated Teeth. *J Endod*. 2017;43(5):687-693.

195. Tang W, Wu Y, Smales RJ. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *J Endod*. 2010;36(4):609-617.
196. Clark D, Khademi J. Modern molare endodontic access and directed dentin conservation. *Dent Clin North Am*. 2010;54(2):249-273.
197. Kim HC, Lee MH, Yum J, Versluis A, Lee CJ, Kim BM. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod*. 2010;36(7):1195-1199.
198. Zogheib C, Sfeir G, Plotino G, Deus G, Daou M, Khalil I. Impact of Minimal Root Canal Taper on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Bicuspids. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2018;8(2):179-183.
199. Zarei M, Javidi M, Afkhami F, Tanbakuchi B, Zadeh MM, Mohammadi MM. Influence of Root Canal Tapering on Smear Layer Removal. *N Y State Dent J*. 2016;82(3):35-38.
200. Lin GSS, Singbal KP, Noorani TY, Penukonda R. Vertical root fracture resistance and dentinal crack formation of root canal-treated teeth instrumented with different nickel–titanium rotary systems: an in-vitro study. *Odontology*. 2022;110(1):106-112.
201. Çiçek E, Aslan MA, Akkoçan O. Comparison of the Resistance of Teeth Instrumented with Different Nickel-Titanium Systems to Vertical Root Fracture: An In Vitro Study. *Journal of Endodontics*. 2015;41(10):1682-1685.
202. Nur BG, Ok E, Altunsoy M, Tanriver M, Capar ID. Fracture strength of roots instrumented with three different single file systems in curved root canals. *Eur J Dent*. 2015;9(2):189-193.
203. Pawar A, Barfiwala D, Pawar M, Metzger Z, Kfir A, Jain N. Assessment of the fracture resistance of teeth instrumented using 2 rotary and 2 reciprocating files versus the Self-Adjusting File (SAF): An ex vivo comparative study on mandibular premolars. *Journal of Conservative Dentistry*. 2016;19(2):138-142.
204. Singla M, Aggarwal V, Logani A, Shah N. Comparative evaluation of rotary ProTaper, Profile, and conventional step back technique on reduction in *Enterococcus faecalis* colony-forming units and vertical root fracture resistance of root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2010;109(3):e105-e110.
205. Albrecht LJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of ProFile GT files. *J Endod*. 2004;30(6):425-428.
206. Keleş A, Keskin C. Detectability of Middle Mesial Root Canal Orifices by Troughing Technique in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomographic Study. *Journal of Endodontics*. 2017;43.
207. Forghani M, Hamed A, Khorasani M, Moushekhian S, Kheirabadi N. Dentine Thickness of Second Mesibuccal Canals in First Maxillary Molars Prepared with Rotary Instruments. *Iran Endod J*. 2022;17(3):126-131.
208. Lam PP, Palamara JE, Messer HH. Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation. *J Endod*. 2005;31(7):529-532.
209. Sim TP, Knowles JC, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J*. 2001;34(2):120-132.
210. Souza EM, Calixto AM, Lima CN, Pappen FG, De-Deus G. Similar influence of stabilized alkaline and neutral sodium hypochlorite solutions on the fracture resistance of root canal-treated bovine teeth. *J Endod*. 2014;40(10):1600-1603.

211. Virdee SS, Farnell DJJ, Silva MA, Camilleri J, Cooper PR, Tomson PL. The influence of irrigant activation, concentration and contact time on sodium hypochlorite penetration into root dentine: an ex vivo experiment. *Int Endod J*. 2020;53(7):986-997.
212. Pascon FM, Kantovitz KR, Sacramento PA, Nobre-dos-Santos M, Puppini-Rontani RM. Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *J Dent*. 2009;37(12):903-908.
213. Siqueira JF, Jr., Rôças IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod*. 2000;26(6):331-334.
214. Lertchirakarn V, Palamara JEA, Messer HH. Patterns of Vertical Root Fracture: Factors Affecting Stress Distribution in the Root Canal. *Journal of Endodontics*. 2003;29(8):523-528.
215. Lam PPS, Palamara JEA, Messer HH. Fracture Strength of Tooth Roots following Canal Preparation by Hand and Rotary Instrumentation. *Journal of Endodontics*. 2005;31(7):529-532.
216. Hegde MN, Shetty S, Godara N. "Evaluation of fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotary instrumentation"-An in vitro study. *Endodontology*. 2008;20(1):22-29.
217. Zandbiglari T, Davids H, Schäfer E. Influence of instrument taper on the resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2006;101(1):126-131.
218. Rundquist BD, Versluis A. How does canal taper affect root stresses? *Int Endod J*. 2006;39(3):226-237.
219. Yuan K, Niu C, Xie Q, Jiang W, Gao L, Huang Z, Ma R. Comparative evaluation of the impact of minimally invasive preparation vs. conventional straight-line preparation on tooth biomechanics: a finite element analysis. *Eur J Oral Sci*. 2016;124(6):591-596.