



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI SÜRELERDEKİ MEKANİK VİBRASYONUN
ORTODONTİK KUVVETE BAĞLI OLUŞAN KÖK
REZORPSİYONUNA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ:
MİKRO-BT ÇALIŞMASI**

DOKTORA TEZİ

Mehmet GEDİK

**Samsun
Aralık – 2015**



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI SÜRELERDEKİ MEKANİK VİBRASYONUN
ORTODONTİK KUVVETE BAĞLI OLUŞAN KÖK
REZORPSİYONUNA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ:
MİKRO-BT ÇALIŞMASI**

DOKTORA TEZİ

Mehmet GEDİK

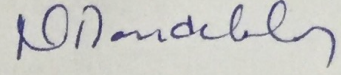
**Danışman
Doç. Dr. Selma ELEKDAĞ-TÜRK**

**Samsun
Aralık - 2015**

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

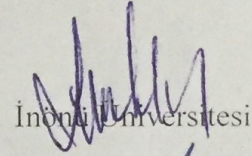
Mehmet GEDİK tarafından Doç. Dr. Selma ELEKDAĞ-TÜRK danışmanlığında hazırlanan “Farklı Sürelerdeki Mekanik Vibrasyonun Ortodontik Kuvvete Bağlı Oluşan Kök Rezorpsiyonuna Etkisinin Değerlendirilmesi: Mikro-BT Çalışması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 28/12/2015 tarihinde yapılan sınav ile Ortodonti Anabilim Dalında DOKTORA Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Nilüfer DARENDELİLER



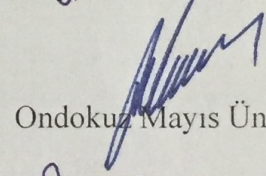
Gazi Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Sıddık MALKOÇ



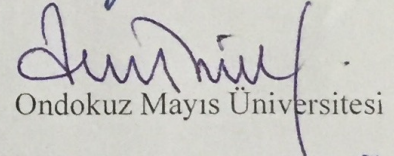
İnönü Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Peruze ÇELENK



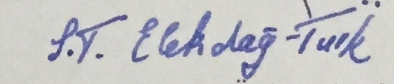
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Tamer TÜRK



Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Selma ELEKDAĞ-TÜRK



Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

.... / /

Doç. Dr. Aydın HİM
Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca yardımlarını benden esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Selma ELEKDAĞ-TÜRK'e,

Her ihtiyaç duyduğumda tez çalışmama ve eğitim sürecime kıymetli vaktini ayıran, sadece tez çalışmamda değil hayatımda da yeni bakış açıları kazandıran, bilgi ve yüreklendirmeleri ile daima yanımda olan kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Tamer TÜRK'e,

Mikro-BT taramalarımnda sağladığı imkanlarla yol gösteren, misafirperverliği ve engin tecrübelerini benden esirgemeyen, İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Sıddık MALKOÇ'a,

Yüzey analizlerinin gerçekleştirilmesinde titizlikle yardımcı olan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, misafirperverliği ve sonsuz sabrından dolayı sayın Dr. Banu ARAS'a,

Eğitim sürecimdeki destek ve katkılarından dolayı sevgili hocalarım sayın Prof. Dr. Selim ARICI, Prof. Dr. Mete ÖZER, Doç. Dr. Nursel ARICI'ya,

Bilgi ve tecrübelerinden çokça faydalandığım, doktora sürecim boyunca hem abim-ablam hem de hocalarım olarak bilfiil yanımda olan sayın Yrd. Doç. Dr. Alper ÖZ, Yrd. Doç. Dr. Sabahat Yazıcıoğlu ve Yrd. Doç. Dr. Zeynep ÖZ'e,

Berber çalışmış olmaktan mutluluk ve gurur duyduğum tüm klinik arkadaşlarıma,

Hayatım boyunca varlıklarıyla bana güç veren, her zaman sonsuz desteklerini yanımda hissettiğim sevgili aileme,

Tüm kalbiyle her an yanımda olan, bana yol gösteren, varlığıyla güç katan, sonsuz sevgisi ve sabrından dolayı eşim Feyza GEDİK'e

Teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ÖZET

FARKLI SÜRELERDEKİ MEKANİK VİBRASYONUN ORTODONTİK KUVVETE BAĞLI OLUŞAN KÖK REZORPSİYONUNA ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: MİKRO-BT ÇALIŞMASI

Amaç: Bu tez çalışmasının amacı farklı sürelerde uygulanan mekanik vibrasyonun, bukkal yönlü kuvvet uygulaması ile üst birinci premolar dişlerde oluşan kök rezorpsiyonuna etkisini Mikro-BT kullanarak değerlendirmektir.

Materyal ve Metot: Çalışmaya tedavisinde bilateral maksiller premolar çekimi planlanmış 40 birey dahil edildi. Mekanik vibrasyon uygulama sürelerine bağlı olarak (20 dk ve 40 dk) iki grup oluşturuldu. Sekiz hafta boyunca tüm bireylerin üst birinci premolar dişlerine 150 gram bukkal yönlü ortodontik kuvvet uygulandı. Ortodontik kuvvet uygulamasına eş zamanlı olarak bireyler kendilerine belirtilmiş olan dişlerine farklı sürelerde 50 Hz, 5 gr'lık mekanik vibrasyon uyguladı. Süreç sonunda maksiller premolar dişler kök yüzey incelemesi için çekildi. Kök yüzeyleri x-ışını mikrotomografi cihazında (SkyScan-1172, Belgium) tarandı. Elde edilen görüntülerde açık kaynaklı Fiji (ImageJ) yazılımı kullanılarak rezorpsiyon kraterlerinin hacimsel ölçümleri yapıldı. Çalışma öncesi ve sonrası alınan dental modeller Ortho Analyzer™ (3Shape, Copenhagen, Denmark) yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında aktarıldı ve diş hareketi ve rotasyon derecesi ölçüldü.

Bulgular: 20 dk grubunda vibrasyon uygulanan dişlerde daha fazla kök rezorpsiyonu izlenmesine rağmen kontrol grubu ile istatistiksel olarak önemli fark izlenmedi. 40 dk grubunda vibrasyon uygulanan dişlerde daha fazla kök rezorpsiyonu bulundu ve bu fark istatistiksel olarak önemliydi ($P<0,05$). Vibrasyon uygulanan dişlerde izlenen kök rezorpsiyonu 20 dk ve 40 dk grupları arasında istatistiksel olarak önemli fark göstermezken, kontrol grupları arasında önemli fark izlendi ($P<0,05$). 20 dk grubunda hem vibrasyon ($P<0,01$) hem de kontrol ($P<0,05$) dişlerinde 40 dk grubuna göre daha fazla rotasyon ve bukkal hareket izlendi.

Sonuç: Bu çalışmanın bulguları ışığında mekanik vibrasyonun uzun veya kısa süreli uygulanmasının kök rezorpsiyon miktarını azaltmaya etkisi olmadığı ifade edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Diş hareketi; kök rezorpsiyonu; mekanik vibrasyon; mikro-BT

Mehmet GEDİK, Doktora Tezi

Ondokuz Mayıs Üniversitesi - Samsun, Aralık-2015

ABSTRACT

**EVALUATION OF THE EFFECT OF MECHANICAL VIBRATION
FOR DIFFERENT DURATIONS ON ROOT RESORPTION INDUCED BY
ORTHODONTIC FORCE: A MICRO-CT STUDY**

Aim: The purpose of this study was to evaluate the effects of mechanical vibration for different durations on root resorption of maxillary first premolars induced with a buccal force via micro-CT.

Material and Methods: Forty patients requiring the extraction of upper first premolars composed this study. These patients were randomly divided into two groups (20 min and 40 min) according to the duration of mechanical vibration. In all subjects a buccally directed force of 150 grams was applied to the upper first premolars for 8 weeks. At the same time, the subjects applied mechanical vibration (50 Hz, 5 grams) to one of the randomly selected premolars for 20 min or for 40 min. After the force application period, the upper premolars were extracted. The root surface was scanned with an x-ray desktop micro-tomograph (SkyScan-1172, Belgium). The resorption craters in each cross section were located individually and exported to Fiji (ImageJ), an open source software, which made slice-by-slice quantitative volumetric measurements. Dental casts, obtained before and after the force application, were digitized by Ortho AnalyzerTM (3Shape, Copenhagen, Denmark). On the digital models, buccal tooth movement and rotation of the upper premolars were measured.

Results: A higher root resorption value was obtained for the vibration side than the control side in the 20 min group. A statistical difference was not observed for this group. In the 40 min group, a higher root resorption value was obtained for the vibration side than for the control side. This difference was significant ($P<0.05$). There was no significant difference between 20 min and 40 min vibration sides for root resorption. Nevertheless, a significant difference was observed between control sides of 20 min and 40 min ($P<0.05$). The 20 min group, both vibration side ($P<0.01$) and control side ($P<0.05$), showed more buccal tooth movement and rotation than the 40 min group.

Conclusion: According to the results of this study it can be concluded that the application of mechanical vibration for 20 and 40 minutes does not have any effect on the reduction of root resorption.

Key Words: Mechanical vibration; micro-CT; tooth movement; root resorption

Mehmet GEDİK, Ph.D. Thesis

Ondokuz Mayıs University - Samsun, December-2015

SİMGELER VE KISALTMALAR

BMP	: Bitmap
gr	: Gram
kg	: Kilogram
kV	: Kilovolt
mg	: Miligram
Mikro-BT	: Mikro-bilgisayarlı tomografi
mm³	: Milimetre küp
MP	: Megapiksel
OOİKR	: Ortodontik olarak indüklenmiş iltihabi kök rezorpsiyonu
PDL	: Periodontal ligament
PGE₁	: Prostaglandin E ₁
PGE₂	: Prostaglandin E ₂
RANKL	: Osteoklast diferansiyasyon faktörü/ osteoprotegerin ligandı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TIFF	: Tagged image file format
TRAP	: Tartrate-resistant acid phosphatase
XTM	: X-ışını mikro-tomografi
µA	: Mikroamper
µm	: Mikrometre

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Sement	3
2.1.1. Sementin Tanımı ve Fonksiyonu	3
2.1.2. Sementin Tipleri ve Sınıflandırması	3
2.1.3. Sementin Kompozisyonu ve Bileşenleri	4
2.1.4. Sementin Gelişimi	5
2.2. Kök Rezorpsiyonu	6
2.2.1. Kök Rezorpsiyonunun Tanımı	6
2.2.2. Ortodontik Olarak İndüklenmiş İltihabi Kök Rezorpsiyonu	7
2.2.3. Diş Hareketi ve Kök Rezorpsiyonu	15
2.2.4. Kök Rezorpsiyonu İnsidansı	16
2.2.5. Kök Rezorpsiyonunu Araştırma Yöntemleri	17
2.2.6. Kök Yüzey Tamiri ve OOİİKR'nin Tedavisi	18
2.3. Mekanik Vibrasyon	19
2.3.1. Mekanik Vibrasyonun Medikal Alanda Kullanımı	19
2.3.2. Mekanik Vibrasyonun Ortodontide Kullanımı	20
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Bireylerin Seçimi ve Çalışma Gruplarının Oluşturulması	23
3.2. Aparey Yapımı ve Klinik Uygulama	24
3.3. Dişlerin Çekimi	26
3.4. Köklerin Üç Boyutlu İncelenmesi	26
3.4.1. Kök Yüzey İnceleme Hazırlıkları	26
3.4.2. Görüntülerin Oluşturulması	27
3.5. Ortodontik Modellerin Değerlendirilmesi	29
3.6. İstatistiksel Değerlendirme	30
4. BULGULAR	31

4.1. Vibrasyon Grubuna İlişkin Bulgular	31
4.2. 20 dk Grubunda Grup İçi Karşılaştırmalar.....	31
4.3. 40 dk Grubunda Grup İçi Karşılaştırmalar	31
4.4. Vibrasyon Sonrası Kök Rezorpsiyonunun 20 dk ve 40 dk Grupları Arasında Karşılaştırılması	32
4.5 Kontrol Dişlerinde Kök Rezorpsiyonunun 20 dk ve 40 dk Grupları Arasında Karşılaştırılması	32
4.6. Farklı Sürelerde Mekanik Vibrasyon Uygulaması İle Premolar Dişlerde Meydana Gelen Bukkal Hareket Ve Rotasyonun Karşılaştırılması.....	33
5. TARTIŞMA	43
5.1. Bireylerin Seçimi, Grupların Oluşturulması	43
5.2. Mekanik Vibrasyon Protokolü ve Kuvvet Uygulama Mekanığı.....	44
5.3. Kök Kraterlerini Belirlem Yöntemleri ve Model Analizi	45
5.4. Rezorpsiyon Miktarının Grup İçi Karşılaştırılması.....	46
5.5. Rezorpsiyon Miktarının Gruplar Arasında Karşılaştırılması	48
5.6. Birinci Premolar Dişlerde Meydana Gelen Diş Hareketi ve Rotasyonun Karşılaştırılması	50
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	54
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	71

1. GİRİŞ

Kök rezorpsiyonu ortodontik diş hareketlerinin kaçınılmaz sonucu olarak dentin ve/veya sement dokusunun madde kaybını içeren iltihabi süreçtir. Bu süreç fizyolojik veya patolojik olabilir. Fizyolojik kök rezorpsiyonu, daimi dişler sürerken süt dişlerinde normal olarak meydana gelir. Daimi dişlerde de fizyolojik diş hareketleri ile ilişkili olarak küçük miktarda görülebilir (Vlaskalic ve ark., 1998). Patolojik kök rezorpsiyonu ise çok sayıda faktörün tetiklediği inflamatuvar bir cevaptır.

Kök rezorpsiyonu ve ortodonti arasındaki bağlantı ilk defa Ottolengui tarafından 1914 yılında tanımlanmıştır (Ottolengui, 1914). Brezniak ve Wasserstein (2002a), ortodontik tedavi sırasında oluşan kök rezorpsiyonunu tarif etmek için ortodontik olarak indüklenmiş iltihabi kök rezorpsiyonu (OOİKR) terimini kullanmışlardır.

OOİKR'nin etiyolojik faktörleri henüz kesin olarak açıklanamamıştır. Bu faktörler ya hastanın biyolojik durumu ya da tedavi mekanizması ile ilişkili olabilmektedir (Brezniak ve Wasserstein, 2002b). Etiyolojik ve mekanik faktörler; bireysel yatkınlık, genetik, hormonal bozukluklar, ilaçlar, medikal hikaye, beslenme, yaş, cinsiyet, diş, hareketinin tipi, miktarı, süresi, ortodontik kuvvetin büyüklüğü ve aparey tipi gibi bir çok etkeni içerebilir (Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

Kök rezorpsiyonunun nasıl önleneceğine dair bir fikir birliği olmamasına rağmen bir kaç strateji ile OOİKR azaltılabileceği düşünülür. Tedavi süresini kısaltmak, hafif aralıklı kuvvetler uygulamak, ailesel eğilim ve medikal hikayeyi değerlendirmek, eğer rezorpsiyon belirlenmişse tedaviyi mümkün olan en kısa sürede bitirmek veya mekanik vibrasyon uygulayarak periodontal dokuların devamlılığını korumak bunlardan bazılarıdır (Vlaskalic ve ark., 1998).

Mekanik vibrasyon noninvaziv ve hasta tarafından kolay tolere edilebilen bir yöntemdir. Mekanik vibrasyon uygulamasının hayvan ve insan çalışmalarında mineralizasyon ve kemik formasyonunu hızlandırdığı gösterilmiştir (Nishimura ve ark., 2008). Bu durum diş hareketini hızlandırarak tedavi süresini kısalttığı gibi kök rezorpsiyonunun da azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda yapılan çalışmalar ortodontik tedaviye eş zamanlı mekanik vibrasyon uygulamasıyla aktif tedavi süresinin azaltılması üzerine odaklanmıştır (Nishimura ve ark., 2008; Woodhouse ve ark., 2015; Yadav ve ark., 2015a).

Oluşan kök rezorpsiyonunun ölçümünün araştırıldığı bir çalışmada, hacimsel ölçüm için bilgisayarlı mikro-tomografi kullanılmıştır. Bu yöntemde yapılan nicel ölçümler önceki çalışmalarda kullanılan iki boyutlu radyografi, ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobuna göre daha doğru ve güvenilir olduğu gösterilmiştir (Dudic ve ark., 2008).

Bu tez çalışmasının amacı bukkal yönlü kuvvet uygulaması ile üst birinci premolar dişlerde oluşan kök rezorpsiyonuna farklı sürelerde uygulanan mekanik vibrasyonun etkisini araştırmaktır. Çalışmanın hipotezi, ortodontik tedaviyle eş zamanlı uygulanan mekanik vibrasyonun daha uzun sürelerde tatbik edilmesinin kök rezorpsiyonunu azaltacağıdır. Böylece ortodontik tedavinin en fazla yol açtığı iatrojenik problem olan kök rezorpsiyonu elimine edilmiş olup, mekanik vibrasyon metodunda optimum klinik protokolün oluşturulması mümkün olacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Sement

2.1.1. Sementin Tanımı ve Fonksiyonu

Sement diş kökünü kaplayan ve kök dentinine sıkıca kilitlenen kemik benzeri mineralize olmuş bağ dokusudur. Kemikten farklı olarak sement kan damarı ve sinir hücresi içermez, hayat boyu kalınlaşır ve rezorpsiyona daha dirençlidir (Bosshardt ve Selvig, 1997; Thilander, 2012; Nanci, 2014).

Sementin başlıca temel görevi periodontal ligamentin (PDL) kollajen fiberlerinin kök yüzeyine bağlanması için ara yüzeyi oluşturmaktır. Dişin tamir ve yeniden şekillenmesinde, kökün bütünlüğünün devamlılığında, pulpanın korunmasında katkıda bulunur (Bosshardt ve Selvig, 1997; Cho ve Garant, 2000; Nanci, 2014).

2.1.2. Sementin Tipleri ve Sınıflaması

Sement bulunduğu konuma, kökenine, içeriğine ve fonksiyonuna bağlı olarak farklılık gösterdiği için araştırmacılar tarafından geniş bir sınıflama yapılmıştır (Bosshardt ve Selvig, 1997; Cho ve Garant, 2000; Newman ve ark., 2002; Nanci, 2014).

Sement matriksinde sementosit içerip içermemesine göre hücreli, hücreli, formasyon zamanına göre primer veya sekonder, matrix kollajen fibrillerin köken aldığı bölgeye göre intrinsik (içsel) veya ekstrinsik (dışsal) olmak üzere sınıflandırılmıştır (Bosshardt ve Schroeder, 1996; Bosshardt ve Selvig, 1997; Newman ve ark., 2002; Nanci, 2014).

Hücreli Fibrilsiz Sement: Dişin koronalinde bulunan kalınlığı 1 ile 15 µm arasında değişen hiç bir hücre ve kollajen fibrilli içermeyen mineralize olmuş sementtir. Kollajen fibrillerin olmayışı bu sementin dişin bağlantısında görev almadığını gösterir.

Hücreli Dışsal-Fibrilli Sement: Sementoblast ve fibroblastlar tarafından üretilen içeriğinin hemen hemen tamamını Sharpey lif demetlerin oluşturduğu hücreli sement tipidir. Kalınlığı 30 ile 230 µm arasında değişebilir. Diş kökünün servikal üçlüsünde bulunur ve apikale doğru uzanabilir.

Hücreli Karma Tabakalı Sement: Sementoblast ve fibroblastlar tarafından beraber üretilir. Özellikle kökün apikal üçlüsünde ve furkasyon bölgesinde bulunan

kalınlığı 100 ile 1000 µm arasında değişen dışsal (Sharpey) ve içsel fibrillerin oluşturduğu hücreli sement tipidir.

Hücreli İçsel Fiber Sement: Sementoblastlar tarafından üretilen hücre içeren fakat dışsal kollajen fibril içermeyen sement tipidir. Tamir sürecine katılır, rezorpsiyon lakünalarını doldurur.

Intermediate Sement: Bazı dişlerin sement ve dentin birleşim hattında kötü tanımlanmış bölgeler olarak tanımlanır ve içerisinde kalsifiye olmuş temel maddenin (ground substance) içine gömülmüş Hertwig epitel kınının artıkları görülebilir.

2.1.3. Sementin Kompozisyonu ve Bileşenleri

Sement uniform yapıda olmadığı için farklı sement türleri arasında oransal olarak kimyasal içerik değişkendir (Nanci, 2014). Sementin kompozisyonu kemiğin içeriğine çok benzerdir. Islak ağırlığının %65'ini inorganik materyaller, %23'ünü organik materyaller ve %12'sini su oluştururken hacim olarak yaklaşık %45'ini inorganik materyal, %33'ünü organik materyal ve %22'sini su oluşturur (Srivicharnkul ve ark, 2005; Nanci, 2014).

Organik Matriks: Sementin organik matriksinin temelini PDL'nin dışsal fibrilleri (Sharpey) ve sementoblastlar tarafından üretilen içsel fibriller oluşturur. Bu fibrillerin %90'nı Tip-I kollajen, %5'i Tip-III kollajenlerden meydana gelir (Bosshardt ve Selvig, 1997; Nanci, 2014).

Sementin içinde kemik dokusuyla da ilişkili olan kollajen olmayan alkalın fosfataz, kemik sialoprotein, dentin matriks protein-1, dentin sialoprotein, fibronektin, osteokalsin, osteonektin, osteopontin, proteoglikanlar gibi proteinlerde bulunur (Nanci, 2014).

Kollajen olmayan bu proteinler kök formasyonu sırasında mineralizasyonu veya protein sentezinin başlamasında, hücrelerin çoğalmasında, başka yerlere göçünde ve tutunmasında görev alırlar (Zeichner-David, 2006).

Mineral Bileşenleri: Diğer sert dokularda olduğu gibi sementin mineral içeriğini hidroksiapatit $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ ve küçük miktarda amorf kalsiyum fosfataz oluşturur (Nanci, 2014).

Mineral bileşenlerinin miktarı sement tipi, yeri ve kök rezorpsiyon aktivitesine göre değişiklik gösterir (Bosshardt ve Selvig, 1997; Nanci, 2014). Örneğin hücre dışal fibrilli sement, hücreli içsel sement ve hücreli karma tabakalı semente göre daha yüksek oranda mineralizedir. Bu farklılığın sebebi kalsifiye olmamış alanların mevcudiyeti ile ilişkili olabilir (Bosshardt ve Selvig, 1997).

Sement diğer sert dokular ile kıyaslandığında yüksek florid konsantrasyonuna sahip olduğu bulunmuştur. Florid konsantrasyonu sementin kuru ağırlığının %0,9'unu oluşturur. Sementte florid konsantrasyonu yaşla ve floridli beslenme ile artış gösterir (Bosshardt ve Selvig, 1997).

2.1.4. Sementin Gelişimi

Sementi içeren periodontal dokuların gelişimini düzenleyen moleküler ve hücre mekanizmaları henüz tamamen anlaşılmamış olmasına rağmen ektomezanşim kökenli dental folikül hücrelerinin sementi oluşturma yeteneğine sahip olduğu iyi bilinmektedir (Eliades ve ark., 2005).

Sementin formasyonu prefonksiyonel ve fonksiyonel olarak iki gelişim sürecine ayrılır. Sementin prefonksiyon kısmı kök gelişimi süresince oluşur. İnsanlar için sementin prefonksiyonel gelişimi daimi diş köklerinin oluşum (3,75 ile 7,75 yıl) süresini kapsar. Sement fonksiyonel gelişimi ise diş oklüzal seviyeye ulaştığında başlar ve yaşam boyunca devam eder (Bosshardt ve Selvig, 1997).

Sementoprojenitör hücrelerden sementoblastların farklılaşması ve dentin-sement birleşimi oluşması mekan ve zaman bakımından dentinin formasyonu ile yakın ilişkilidir. Bu yüzden sementogenezisin başlaması kök oluşumunu çevreleyen 200-300 µm aralığında dairesel dar bir bantta sınırlanmıştır (Bosshardt ve Selvig, 1997).

Mine organı son boyutuna ulaştığında kök formasyonu başlar. Mine organının servikalinde mine epitelinin iç ve dış hücre tabakaları birleşerek Hertwig kök epitel kınını oluşturur (Bosshardt ve Schroeder, 1996; Hammarström, 1997). İki katmanlı hücre tabakasından oluşan Hertwig kök epitel kını apikal kısmındaki diyafram yapısıyla dental papillayı dental folikülden ayırır (Bosshardt ve Selvig, 1997; Cho ve Garant, 2000).

Hertwig kök kınınının iç kısmında dental papilladan köken alan hücreler mezanşimal bir etkileşimle odontoblastlara dönüşürler. Olgunlaşan odontoblastlarca ilk

kök dentin mantosu matriksi oluşturulup dentin matriksinin mineralizasyonundan önce iç epitel hücrelerine ulaştığı anda Hertwig epitel kök kınının sürekliliği kırılır (Bosshardt ve Schroeder, 1996).

Hertwig kök kını parçalandığı zaman progenitör hücreler yeni yapılmış fakat henüz mineralize olmamış dentin matriksine doğru göç eder. Bu progenitör hücrelerin sitoplazmik çıkıntıları dentin kollajenleri arasına girer ve kök yüzeyi boyunca uzanarak dentinin dış yüzeyi üzerine yeni bir matriks tabakası (presementum veya sementoid) depolanmaya başlar (Bosshardt ve Selvig, 1997; Cho ve Garant, 2000; Eliades ve ark., 2005).

2.2. Kök Rezorpsiyonu

2.2.1. Kök Rezorpsiyonunun Tanımı

Kök rezorpsiyonu diş yapısının kaybı ile sonuçlanan fizyolojik veya patolojik süreçleri tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir.

Fizyolojik kök rezorpsiyonu doğal olarak oluşur ve ilk olarak diş erüpsiyonu sürecinde süt dişlerin köklerinin rezorpsiyonu anlamına gelir. Ayrıca, zaman içinde meydana gelen fizyolojik değişikliklerin bir sonucu olarak daha az bir ölçüde daimi dişlerde de görülebilir (Nanci, 2014).

Diğer yandan patolojik kök rezorpsiyonu genellikle travma, hastalık veya iatrojenik nedenlerden kaynaklanan kök yüzeyinin eksternal rezorpsiyonu ya da kök kanalının internal rezorpsiyonu ile sonuçlanan istenmeyen bir durumdur. Eksternal patolojik rezorpsiyon periodonsiyumun içinde başlayarak dentinin ve sementin dış yüzeyini etkiler (Nanci, 2014).

Kök rezorpsiyonu son yüzyılda yoğun olarak çalışılmıştır. Daimi dişlerdeki kök rezorpsiyonunu ilk belgelendiren ve tartışan Bates (1856), olmuştur. 1914 yılında ise Ottolengui tarafından kök rezorpsiyonu ve ortodontik diş hareketi arasındaki bağlantı ortaya konmuştur (Ottolengui, 1914).

Yaklaşık yüzyıl önce Ketcham (1927), yaptığı çalışmada maksiller dişlerin mandibular dişlerden daha fazla etkilendiğini belirtmiştir ve ortodontik tedavi görmemiş bireylerde de kök rezorpsiyonunu gözlemlemiştir. Kök rezorpsiyonu etiolojisinde

hormonal veya diyet faktörlerin rol oynayabileceği sonucuna varılmıştır (Ketcham, 1927; 1929; Brezniak ve Wasserstein, 1993a).

Rezorpsiyon ve absorpsiyon terimleri, apikal kök materyalinin kaybı ile ilgili literatürlerde birbirinin yerine kullanılmıştır. 1932 yılında Becks ve Marshall (1932), geniş bir literatür incelemesi yaparak şekillenmiş yapıların kan veya lenf dolaşımı ile yıkımının gerçekleştiği durumlarda tıbbi ve dental makalelerde rezorpsiyon teriminin kullanılmasının daha anlamlı oluşu sonucuna varmışlardır.

Enflamasyonun tüm karakteristik özellikleri (rubor, calor, dolor, tumor, fonksiyon kaybı) ortodontik kuvvet uygulamalarında lokal olarak ortaya çıkar. Diş hareketini oluşturacak bu enflamasyon aslında kök rezorpsiyon sürecinin arkasındaki temel bileşendir. Bu sebeple Brezniak ve Wasserstein (2002a), ortodontik tedavilerle oluşan kök rezorpsiyonlarını tanımlamak için ortodontik olarak indüklenmiş iltihabi kök rezorpsiyonu (OOİKR, Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption-OIIR) terimini önermiştir.

2.2.2. Ortodontik Olarak İndüklenmiş İltihabi Kök Rezorpsiyonu

OOİKR son derece karmaşık ve çeşitli bileşenden oluşan (kuvvetleri, diş kökünü, kemiği, hücreleri, çevresindeki matrisi ve bazı bilinen biyolojik habercileri içeren) steril enflamatuvar bir süreçtir (Brezniak ve Wasserstein, 2002b).

Brezniak ve Wasserstein (2002a), OOİKR'yi şiddetine göre üç dereceye ayırmıştır:

Yeniden şekillenmenin gerçekleştiği semental veya yüzeysel rezorpsiyon: Bu süreçte yalnızca sement tabakasının dış yüzeyinde rezorpsiyon oluşur ve bu rezorbe olmuş alanlar daha sonra tamamen yeniden şekillenir. Trabeküler kemiğin yeniden şekillenme sürecine benzer.

Derin rezorpsiyon, tamir gerçekleştiği dentin rezorpsiyonu: Bu süreçte dentinin dış tabakaları ve sement rezorbe olur ve rezorbe olmuş alanların tamiri genellikle yeni sement dokusu ile gerçekleşir. Rezorpsiyon ve tamir aşamalarının sonunda kökün son şekli başlangıç şeklinden farklıdır.

Sirkumferensiyal apikal kök rezorpsiyonu: Kök apeksini oluşturan sert dokuların

tamamen rezorbe olduğu ve kök ksalmasının belirgin olduğu aşamadır. Sementin altındaki sert dokular kaybedildiğinde yeniden şekillenme mümkün değildir. Dş yüzeyin tamiri genellikle sement tabakası ile olur (Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

OOKR'nin hücresel sürecinde nekrotik dokuyu uzaklaştırmada izlenen ilk hücreler tek çekirdekli olan TRAP (Tartrate Resistant Acid Phosphatase) negatiflerdir ve bunlar trtıkl kenar içermezler (Brudvik ve Rygh, 1993). Makrofaj benzeri bu hücreler muhtemelen ortodontik kuvvet uygulaması sonucunda oluşan steril nekrotik dokudan gelen sinyaller tarafından aktive edilir. Makrofajlar hematopoetik kökenden gelen p hücrelerdir ve rolleri nekrotik dokular ortadan kaldırmaktır (Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

Brudvik ve Rygh (1993), dokuların uzaklaştırılmasının ilk olarak PDL kan desteğinin olduğu hiyalinize bölgesinin çevresinde başladığı belirtmişlerdir. Hiyalinize bölgenin uzaklaştırılması sırasında kökün dş yüzeyine yakın bölgeler zarar görebilir ve altta bulunan çok yoğun mineralize sement açığa çıkabilir.

Hiyalinize bölgenin altındaki kök yüzeyi yalnızca bir kaç gün içerisinde rezorbe olur sonra çevresinde tamir süreci başlar (Brezniak ve Wasserstein, 2002a). Rezorpsiyon süreci, hiyalinize doku tamamen ortadan kaldırılana ve/veya ortodontik kuvvetin miktarı azalana kadar devam etmektedir. Kök yüzeyindeki lakünalar genişleyerek kuvvet uygulaması ile ortaya çıkan basınç dolaylı olarak azalır. Basıncın azalması ile beraber sementte tamir mekanizmaları çalışmaya başlamaktadır (Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

OOKR'yi Etkileyen Faktörler

Ortodontik tedavilerin kaçınılmaz yan etkisi olarak oluşan kök rezorpsiyonu birçok faktörün etkilediği patolojik bir süreçtir. Brezniak ve Wasserstein (1993b), OOKR'larının etiyolojisini biyolojik ve mekanik faktörler adı altında açıklamıştır.

Biyolojik Faktörler

1. Bireysel Yatkınlık

Ortodontik tedavi gören veya görmeyen bireylerde kök rezorpsiyonunu belirlemede önemli bir faktördür. Bu potansiyel süt veya daimi dişlerin hepsi için vardır

ve farklı dişlerde farklı derecelerde olabilir.

2. Genetik

Newman (1975), yaptığı çalışmada hastaların etiyolojik ve genetik farklılıkları nedeniyle kök rezorpsiyonu ve genetik ilişkisini kesin olarak ortaya koyamamıştır fakat otozomal dominant, otozomal resesif ve polijenik kalıtım geçişlerin mümkün olabileceği iddia etmiştir. Al-Qawasmı ve ark. (2003), yaptığı çalışma bu iddiayı desteklemektedir. Harris ve ark. (1997), genetik yatkınlığın oranını üç köklü dişlerde %70 olarak belirtmişleridir.

3. Sistemik Faktörler

Hormonal Hastalıklar

Hipoparatiroidizm, hipofosfatemi, tiroid fonksiyon bozuklukları, şeker hastalığını (Diabetes mellitus) ve Paget hastalığı gibi endokrin bozuklukları ile kök rezorpsiyonunu ilişkilendiren yayımlar bulunmasına rağmen hormonal bozuklukların doğrudan kök rezorpsiyonuna yol açtığı söylenemez. Ancak rezorpsiyonu artıracak etkileri olduğu kabul edilmektedir (Becks, 1939; Linge ve Linge, 1983; Brezniak ve Wasserstein, 1993b; Poumpros ve ark., 1994; Davidovitch ve Krishnan, 2009).

Astım ve Alerji

McNab ve ark. (1999), sabit ortodontik tedaviden sonra astımlı bireylerde çok daha fazla kök rezorpsiyonu meydana geldiğini belirtmiştir.

Owman-Moll ve Kuroi (2000), alerjinin OOİKR görülme sıklığını artırdığını bildirmiş fakat bu sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Nishioka ve ark. (2006), Japon toplumunda yaptığı çalışmada alerji, kök morfolojisi anomalileri ve astımın ortodontik diş hareketi sırasında gelişen aşırı kök rezorpsiyonları açısından yüksek risk faktörü olduğunu bildirilmiştir.

İlaç Kullanımı

Prostaglandinler: Prostaglandin-E₂ ve kalsiyum glukonatın lokal olarak enjekte edildiği ratlarda diş hareketi hızlandırırken kök rezorpsiyonunun azaldığı bildirilmiştir (Seifi ve ark., 2003).

Sekhavat ve ark. (2002), ratlarda yaptığı çalışmada sentetik prostaglandin-E₁ analogu olan Misoprostol'un uygulamasının ortodontik diş hareketini artırırken kök rezorpsiyonunda minimal artışa yol açtığını bildirmiştir.

Kortikosteroidler: Alerji, dermatit, astım ve egzama ve bağışıklık sistemini etkileyen hastalıkların tedavisinde kullanılan kortikosteroid ilaçların diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerine etkilerini araştıran çalışmalar mevcuttur (Ashcraft ve ark., 1992; Ong ve ark., 2000).

Ashcraft ve ark. (1992), osteoporotik doz olan 15 mg/kg'lık kortizon asetatın etkisini değerlendirdikleri hayvan çalışmasında kortizon asetatın sıkışma bölgelerindeki kök rezorpsiyon eğilimini büyük oranda arttırdığı bildirmiştir.

Ratlar üzerinde yapılan araştırmada Ong ve ark. (2000), 1 mg/kg gibi düşük dozda oral prednisolon uygulamasının diş hareketini etkilemeksizin kök rezorpsiyonunu azalttığı bildirilmiştir.

Nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar (NSAİ): Villa ve ark. (2005), NSAİ ilaçlardan olan Nabumetone'nin plasebo verilen gruba göre kök rezorpsiyonu, pulpitis ve ağrıyı istatistiksel olarak anlamlı oranda azalttığını fakat diş hareket hızını değiştirmediğini bildirmişlerdir.

Kameyama ve ark. (1994), gerçekleştirdikleri rat çalışmasında aspirinin prostaglandin üretimini baskılayarak odontoklast sayısını ve kök rezorpsiyonunu azalttığını bulunmuştur.

Bisfosfonatlar: Osteoporoz gibi bazı kemik metabolizma hastalıkları olan bireylerde kullanılan bisfosfonatların diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerine etkilerinin incelendiği rat çalışmasında Liu ve ark. (2004), bisfosfonat grubundan nitrojen içermeyen Clodronate'ın ortodontik diş hareketini ve osteoklast sayısını ve dolayısıyla kök rezorpsiyonunu azalttığını bildirmişlerdir.

Adachi ve ark. (1994), bisfosfonat grubu ilaçlardan Risedronate'ın diş hareket miktarında uygulanma dozuna bağlı olarak anlamlı düzeyde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir.

4. Cinsiyet

Kadın ve erkek bireyler arasında ortodontik kök rezorpsiyonu açısından bir fark olup olmadığı henüz netlik kazanan bir konu değildir.

Bir kısım araştırmacı cinsiyetler arası kök rezorpsiyonu görülme oranında bir farklılık olmadığı görüşünü savunur (Linge ve Linge, 1983; Harris ve ark., 1997; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Fritz ve ark., 2003). Bazı araştırmacılar ise kadınların erkeklere oranla ortodontik tedaviye bağlı kök rezorpsiyonuna daha yatkın olduklarını belirtmektedirler (Kjær, 1995; Horiuchi ve ark., 1998).

5. Maloklüzyonun Tipi

Araştırmacılar maloklüzyon şiddetine bağlı olarak diş hareket miktarı ve tedavi süresi arttığından oluşacak kök rezorpsiyonun da artabileceğini bildirmişlerdir (Linge ve Linge, 1991; Harris ve Butler, 1992; Hendrix ve ark., 1994; Brin ve ark., 2003; Segal ve ark., 2004).

Springkarnboriboon ve ark. (2003), ratlarda yapmış olduğu çalışmada oklüzyon dışı kalmış dişlerde görülen hipofonksiyonel periodonsiyumun kök rezorpsiyonu riskini artırdığını bildirmişlerdir.

6. Dental Anomali

Birçok araştırmada anormal kök morfolojisi, mine invajinasyonları, kama şekilli lateraller ve taurodontizm gibi diş gelişimi sırasında dentin ve sement yapısını etkileyen malformasyonların kök rezorpsiyonu riskini artırdığı belirtilmiştir (Levander ve Malmgren, 1988; Sameshima ve Sinclair, 2001a; Oyama ve ark., 2007).

Mavragani ve ark. (2006), dental invajinasyonun rezorpsiyon açısından bir risk faktörü olmadığını bildirmiştir.

Bu görüşlerin aksine dental anomali varlığının kök rezorpsiyon riskini artırdığını bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (Lee ve ark., 1999; Kook ve ark., 2003).

7. Endodontik Tedavi

Wickwire ve ark. (1974), yaptıkları çalışmada ortodontik tedavi öncesinde endodontik tedavi görmüş dişlerde daha yüksek oranda kök rezorpsiyonu olduğunu

bildirmişlerdir.

Hamilton ve Gutmann (1999), Spurrier ve ark. (1990), Mirabella ve Artun (1995), endodontik tedavi sonrası dentin yoğunluğu ve sertliğinin artmasına bağlı olarak rezorpsiyona karşı dirençte artış olacağını ileri sürmüştür.

Ioannidou-Marathiotou ve ark. (2013), yaptıkları meta-analiz çalışmasında endodontik olarak tedavi edilen dişlerde vital dişlere oranla daha az kök rezorpsiyonu görüldüğünü bildirmişlerdir.

8. Travma

Geçirilmiş travma hikayesi olan dişlerde ortodontik tedavinin kök rezorpsiyonunu arttırabileceği fikri birçok araştırmacı tarafından kabul görmektedir (Hines, 1979; Malmgren ve ark., 1982; Linge ve Linge, 1983; Brin ve ark., 1991; Kjær, 1995; Hamilton ve Gutmann, 1999).

9. Beslenme

Bir kısım yazar kötü beslenme veya beslenme dengesizliğinin kök rezorpsiyonu için önemli bir etiyolojik faktör olmadığını söylese de kalsiyum ve D vitamini eksikliği olan ratlarda yapılan çalışmalarda OOİİKR'nin daha fazla olduğu görülmüştür (Brezniak ve Wasserstein, 1993b).

Bunların dışında ağır çiğneme kuvvetleri, oklüzal travma ve kronik bruksizm, kök rezorpsiyon riskini arttıran faktörlerdir (Harris, 2000).

Mekanik Faktörler

1. Tedavi süresi

Uzun süreli ortodontik tedaviler sonucunda kök rezorpsiyonu miktarının arttığı pek çok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Rudolph, 1940; Dougherty, 1968; Stenvik ve Mjör, 1970; Reitan, 1974; Linge ve Linge, 1983; Sharpe ve ark., 1987; Levander ve Malmgren, 1988; Brezniak ve Wasserstein, 1993a; Beck ve Harris, 1994; Vlaskalic ve ark., 1998).

2. Ortodontik Kuvvetler

Kuvvetin Büyüklüğü

Ortodontik kuvvetin büyüklüğü kök rezorpsiyonu ile yakından ilişkilidir. Harry ve Sims (1982), taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak yaptıkları çalışmada rezorpsiyon kraterlerinin sayısının kök yüzeyinin üzerindeki stres miktarına bağlı olduğunu ve kuvvet miktarı arttıkça rezorpsiyon miktarının da arttığını belirtmiştir.

Schwarz (1932), optimum ortodontik kuvvetin periodontal kapiller basıncına (26 gr/cm²) denk olduğunu ve bu değer üzerindeki kuvvetlerin ise periodontal iskemiye oluşturarak kök rezorpsiyonuna yol açacağını bildirmiştir.

Darendeliler ve ark. (2004), farklı kuvvet değerlerinin kök rezorpsiyonu üzerine etkisini araştırmıştır. Hafif kuvvet uyguladıkları dişlerde oluşan ortalama rezorpsiyon miktarını kontrol grubu dişlere kıyasla 3,49 kat daha fazla bulmuşlardır. Ağır kuvvetlerin etkisiyle oluşan ortalama rezorpsiyon miktarını kontrol grubu dişleri ile karşılaştırdıklarında ağır kuvvet grubu dişlerinde ortalama kök rezorpsiyon miktarının 11,59 kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Harris ve ark. (2006), mikro bilgisayarlı tomografi (Mikro-BT) kullandıkları çalışmada artan ortodontik kuvvet etkisiyle rezorpsiyon hacminin de arttığını bildirmişlerdir.

Kuvvetin Tipi

Rygh (1977), kuvvetin sürekli olması halinde hiyalin dokunun eliminasyonu sonrasında rezorptif aktivitenin devam edeceğini ve hiyalin dokunun uzaklaştırılmasının yerini sement dokusunun rezorpsiyonunun alacağını bildirmiştir. Eğer ortodontik kuvvet belli bir değer altına düşer veya kesilirse rezorpsiyon kraterlerinin tamir olacağını belirtmektedir.

Sementin tamirine izin verildiği, sürekli olmayan kuvvetlerin uygulandığı veya tedaviye ara verildiği durumlarda daha az miktarda kök rezorpsiyonunun görüleceği farklı çalışmalar da mevcuttur (Oppenheim, 1942; Levander ve ark., 1994; Acar ve ark., 1999; Weiland, 2003).

Özkalaycı (2010), sürekli ve kesik kontrollü ortodontik kuvvetlerin kök rezorpsiyonuna etkisini araştırmıştır. Kesikli kuvvetlerin sürekli kuvvetlere oranla daha az kök rezorpsiyonuna yol açtığını belirtmiştir. Aras ve ark. (2012), yapmış olduğu çalışma da bu sonuçları destekler niteliktedir.

3. Tedavi Yöntemi ve Kullanılan Apareyler

Stuteville (1938), hareketli apareyler ile dişleri bukkal ve labial yönde çok hızlı yer değiştirebileceğini ve yardımcı zembeklerin dişlere çok fazla jigging yaptıracağını belirtmiştir. Sabit apareylerin dişlere çok fazla jigging yapmasına izin vermeyeceğinden dolayı hareketli apareylere göre daha az kök rezorpsiyonu olacağını bildirmiştir.

Bu görüşün aksine Linge ve Linge (1983), hareketli ortodontik aygıtlar ve sabit apareyler ile tedavi edilen hastaları radyografik olarak karşılaştırmış ve hareketli aygıtlar ile tedavi olan bireylerde daha az kök rezorpsiyonuna rastlamıştır. Başka bir çalışmasında Linge ve Linge (1991), aktivatörlerle Edgewise mekaniklerini karşılaştırmıştır. Aktivatör grubunda apikal kök rezorpsiyonuna rastlamazken sabit ortodontik mekaniklerin köşeli ark tellerinin ve sınıf-II elastiklerin uygulandığı grupta belirgin miktarda apikal kök rezorpsiyonu bulmuşlardır.

Malmgren ve ark. (1982), yapmış oldukları çalışmada Begg tekniği ile tedavi edilen bireylerde Edgewise tekniğine göre daha fazla kök rezorpsiyonuna rastlamıştır. Mavragani ve ark. (2000), ise standart Edgewise ve straight-wire tekniği karşılaştırmış ve daha hafif ve devamlı kuvvet uygulama olanağı sunan straight-wire tekniğinde daha az rezorpsiyon oluşturduğu belirtilmiştir.

Pandis ve ark. (2008), geleneksel braketler ile pasif kendinden bağlanabilen braketlerin kök rezorpsiyonu oluşum açısından bir farklılık oluşturmadığını ifade etmektedir.

Mirabella ve Artun (1995), tedavi sırasında kullanılan değişik kalınlıktaki ark telleri ve çeneler arası kullanılan elastikleri kök rezorpsiyonu oluşumu açısından karşılaştırdıkları çalışmada farklılıkların olmadığını ifade etmektedir. Benzer şekilde Sameshima ve Sinclair (2001b), braketlerin slot genişliği ve kullanılan ark tipinin kök rezorpsiyonu açısından etkisiz olduğu bildirilmiştir.

Hızlı üst çene genişletme aygıtları premolar ve molar dişlere ağır bukkal yönlü kuvvet uygulayarak bu dişlerin köklerini kortikal kemiğe doğru sıkıştırır. Bu yüzden hızlı üst çene genişletme uygulaması dişlerin bukkal kök yüzeyinde şiddetli rezorpsiyona sebep olabilmektedir (Thilander, 2012).

Çolak (2012), hızlı üst çene genişletmesi ve yavaş üst çene genişletmesi sonunda

meydana gelen kök rezorpsiyonlarını Mikro-BT kullanarak incelemiştir. Hızlı üst çene genişletmede yavaş üst çene genişletmeye göre daha az kök rezorpsiyonu bulmuştur.

Hızlı ve yavaş çene genişletmelerinin birbirleri ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığı çalışmalarda kök rezorpsiyonu açısından anlamlı bir fark olmadığı belirten araştırmacılar da vardır (Barber ve Sims, 1981; Sameshima ve Sinclair, 2001b).

Barbagallo ve ark. (2008), 25 gr'lık ortodontik kuvvet ve termoplastik aparey takılarak hareket ettirilen dişler arasında birbirine yakın düzeyde rezorpsiyon belirlemişlerdir.

4. Diş Çekimi

Sameshima ve Sinclair (2001b), çekimli tedavilerin çekimsizlere oranla daha fazla rezorpsiyon oluşturduğunu bildirmiştir. Bunun nedenini tedavi süresinin uzamasının kök rezorpsiyonunda etkili bir faktör oluşuyla açıklamıştır. McNab ve ark. (2000), çekimli tedavilerin daha fazla kök rezorpsiyonuna yol açmasının nedenlerini maksiller kesici apekslerinin retraksiyon derecesi ve overjet eliminasyonu için dişlerin katedeceği mesafenin miktarı olarak göstermiştir.

2.2.3. Diş Hareketi ve Kök Rezorpsiyonu

Günümüzde ortodontik diş hareketinin mekanizması iki teoriyle açıklanır. Bunlar biyoelektrik ve PDL'deki basınç-gerilim teorileridir.

Biyoelektrik teori diş hareketini alveoler kemiğin esneyip bükülmesiyle oluşan "piezoelektrik" adı verilen elektrik sinyallerin kemik metabolizmasında oluşturduğu değişikliklere bağlar. Basınç-gerilim teorisi ise diş hareketini PDL'deki kan akışındaki değişimlerle ortaya çıktığı düşünülen kimyasal habercilerin yol açtığı hücrel değişiklikler ile ilişkilendirir (Proffit ve ark., 2014).

Ortodontik kuvvetin biyolojik sınırı aşmadığı durumlarda hücrelerin mekanik deformasyonuna bağlı olarak osteoklastik aktivite ortaya çıkmakta "frontal rezorpsiyon" yani direkt kemik rezorpsiyonu gerçekleşmektedir. Kuvvetin biyolojik sınırın üzerinde olduğu yani hiyalinize alanların meydana geldiği durumlarda "undermining resorption" veya indirekt kemik rezorpsiyonu gerçekleşmektedir. İndirekt kemik rezorpsiyonunda nekrotik alanlara komşu bölgelerde osteoklastların faaliyeti görülmektedir (Proffit ve

ark., 2014).

Kök rezorpsiyonları açısından değerlendirildiğinde rezorpsiyonun hiyalinize doku alanlarına komşu sementte başlama eğilimi dikkat çekicidir (Reitan, 1974; Brudvik ve Rygh, 1994).

Brudvik ve Rygh (1993), ratlarda yaptığı çalışmada kök rezorpsiyonunun hücrel sürecinde ilk olarak yer alan TRAP (Tartrate Resistant Acid Phosphatase) adı verilen tek çekirdekli makrofaj benzeri hücrelerin hiyalinize alanların uzaklaştırılmasında da yer aldığını bildirmiş ve OOİKR'nin hiyalinize dokunun uzaklaştırılmasının bir parçası olduğunu doğrulamıştır. Bu makrofaj benzeri hücreler steril nekrotik dokudan gelen sinyallerle aktive olmakta ve yine nekrotik dokunun uzaklaştırılmasında rol almaktadır.

Rezorpsiyon süreci kuvvet azalana kadar veya hiyalinize doku uzaklaştırılmaya kadar devam etmektedir. Bütün kök yüzeyini kaplayan rezorpsiyon kraterleri dolaylı olarak yeni kuvvetler uygulanana kadar basıncın azalmasına neden olacaktır. Bu sayede rezorpsiyon süreci tersine dönecek ve sement tamirine izin verilecektir (Brezniak ve Wasserstein, 2002a).

2.2.4. Kök Rezorpsiyonu İnsidansı

Kök rezorpsiyonu ortodontik olarak tedavi edilen veya edilmeyen bireylerin her ikisinde de görülen bir durumdur. Fakat tedavi gören bireylerde kök kısılması çok daha fazladır (Killiany, 1999).

Henry ve Weinmann (1951), ortodontik tedavi görmemiş 15 kadavrada 261 dişi histolojik olarak incelemiş ve kök rezorpsiyonu görülme oranını %90'dan daha büyük bulmuştur. Araştırmalarında kök rezorpsiyonunun apikal bölgede daha fazla olduğunu ve sırayla bunu mesial, bukkal, distal, lingual yüzeylerin takip ettiğini belirtmiştir. Aynı zamanla rezorpsiyonun yaşla beraber arttığını ifade etmişlerdir.

İlk kez Ketcham (1927), ortodontik tedavi etkisiyle oluşan kök rezorpsiyonunu radyolojik olarak göstermiştir. Rudolph (1940), yapmış olduğu çalışmada ortodontik tedavi gören hastalarda kök rezorpsiyon oranını %75 ile %100 olarak belirtmişken tedavi görmeyen bireylerde bu oranı %5 bulmuştur.

Levander ve Malmgren (1988), Edgewise veya Begg tekniği ile tedavi edilen

bireylerden alınan radyografi kayıtlarında 610 adet üst kesici kök rezorpsiyonu açısından değerlendirmişler ve yalnızca dişlerin %1'inde aşırı kök rezorpsiyonu olduğunu göstermişlerdir.

Lupi ve ark. (1996), tedavi görmemiş bireylerde kök rezorpsiyon oranı %15 iken bir yıllık tedavi sonrasında bu oranın %73'e çıktığını belirtmiştir. Kurol ve ark. (1996), histolojik ve radyolojik tekniği beraber kullandıkları çalışmada ortodontik tedavi gören bireylerde kök rezorpsiyon insidansını %93 bulmuştur.

Kök uzunluğunun üçte birini ya da 4 mm'yi geçen madde kaybının olduğu vakalar şiddetli rezorpsiyon olarak tanımlanır (Newman, 1975; Malmgren ve ark., 1982; Levander ve Malmgren, 1988). Çoğu vakada OOİKR miktarı minimum ya da klinik açıdan önemli kabul edilmez. Şiddetli kök rezorpsiyonu yalnızca dişlerin %1 ile 5'inde görülür (Weltman ve ark., 2010).

2.2.5. Kök Rezorpsiyonunu Araştırma Yöntemleri

Radyografiler

Panoramik radyografiler tüm ağız yapılarını görüntüleyebilmeleri, düşük radyasyon dozu gerektirmeleri, fazla zaman gerektirmeden elde edilebilmeleri gibi avantajlara sahiptirler (Sameshima ve Asgarifar, 2001; White ve Pharoah, 2008).

Fakat McNab ve ark. (1999), panoramik radyografilerde kök rezorpsiyonun incelenmesi sırasında oluşabilecek magnifikasyon farkının dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Sameshima ve Asgarifar (2001), kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesinde periapikal radyografilerin tercih edilmesini önermektedir.

Leach ve ark. (2001), OOİKR'yi açığortay ve paralel teknik ile çekilen periapikal radyografiler ile değerlendirdiği çalışmasında açığortay tekniğiyle alınan periapikal radyografilerin standart olmamaları nedeniyle rezorpsiyon miktarının tespitinde kullanılmasının güvenilir olmadığı bildirilmiştir.

Kök rezorpsiyonu miktarının saptanmasında lateral sefalometrilere kullanılabilir (Parker ve Harris, 1998; Leach ve ark., 2001; Kuperstein, 2005). Meydana gelen magnifikasyon farkları ve süperimpozisyonlar sebebiyle kök rezorpsiyonunun tespitinde zayıf kaldıkları gerçeğini değiştirmemektedir (Chan ve

Darendeliler, 2004).

Son zamanlarda kullanım oranı artan dijital radyografi yönteminin geleneksel yöntemdekinden daha az radyasyon dozu gerektirmesi, görüntü üzerinde büyütme, kontrastı artırma ve renklendirmenin yapılabilmesi gibi özellikleriyle de kök rezorpsiyonunun daha iyi değerlendirilmesine imkan sağlaması açısından avantajları vardır (Leach ve ark., 2001).

X-Işını Mikro-Tomografi (XTM)

Kök rezorpsiyonunun teşhisinde iki boyutlu değerlendirme olanağı tanıyan geleneksel radyografiler yeterli olmamaktadır. Bu sebeple yüksek çözünürlüklü üç boyutlu mikro-BT görüntüleri ortodontik tedavinin istenmeyen yan etkilerinin derecesini tahmin etmek için kriter standart olarak kabul edilmiştir (Dudic ve ark., 2008).

Bilgisayarlı tomografilerden elde edilen görüntüler iki boyutludur ve pikselin x ve y düzlemleri üzerindeki boyutlarına göre değerlendirilir. Birim yüzeydeki piksel sayısı ile çözünürlük doğru orantılıdır. X-ışını mikro-tomografi ile elde edilen veriler üç boyutludur. Bu sayede anatomik bir yapıda hacimsel inceleme ve hesaplamalar yapılabilmektedir. Üç boyutlu görüntülemelerde birim ölçü voxeldir. Voxel, hacimsel hesabı x, y ve z koordinatları üzerindeki değerlere göre yapılıdır (Stock, 1999).

2.2.6. Kök Yüzey Tamiri ve OOİKR'nin Tedavisi

Kök yüzey tamir süreci uygulanan ortodontik kuvvet belirli bir seviyenin altına düştüğünde veya kesildiğinde başlar (Rygh, 1977; Brudvik ve Rygh, 1995; Cheng ve ark., 2009).

Owman-Moll ve ark. (1995b), OOİKR'nin tamirini araştırdıkları çalışmada 64 adet üst premolar dişi ışık mikroskopu kullanarak incelemişler ve dişlerin üç farklı bölgesinden (servikal, orta ve apikal) rastgele histolojik kesit almışlardır. Araştırmacılar rezorbe olmuş alanlarının %28'inin retansiyondan bir hafta sonra tamire başladığını ve bu oranın sekiz hafta sonra %75'e çıktığını bildirmiştir.

Diğer bir çalışmada Owman-Moll ve Kurol (1998), retansiyonun başlamasından 2 hafta sonra rezorpsiyon tamirinin %38 oranında olduğunu ve 6-7 hafta sonra bu oranın %82'ye çıktığını belirtmiştir.

Cheng ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada 80 adet üst birinci premolar dişinin kök rezorpsiyonunu mikro-BT kullanarak değerlendirmişlerdir. Hafif ve ağır kuvvet olarak iki grup oluşturmuşlar ve bu grupları da zamana göre ikiye ayırmışlardır. Buna göre 4 ve 8 haftalık pasif retansiyon sonrasında dişleri çekmişlerdir. Sonuç olarak tamir edilen sementin toplam miktarının retansiyon süresine veya ortodontik kuvvetin miktarına bağlı olmadığını belirtmişlerdir.

Brudvik ve Rygh (1995), ratlar üzerinde yaptıkları çalışmada rezorpsiyon kraterlerinin tamirinin PDL'den gelen fibroblast benzeri hücrelerin göçü ile rezorpsiyon lakünalarının periferinde başladığını belirtirken, Owman-Moll ve Kurol (1998), 32 adet maksiller birinci premoları histolojik olarak inceledikleri çalışmada iyileşme sürecinin rezorpsiyon kavitesinin merkezinde başladığını iddia eder.

Başlangıç tamir sementi sıklıkla hücrelidir. Fakat rezorpsiyon kraterlerinin dolması devam ettikçe hızlıca hücreli semente dönüşür (Owman-Moll ve Kurol, 1998).

Tamir sürecinin hızlı olduğu durumlarda iyileşme hücreli sement ile gerçekleşirken tamirin yavaş olduğu iyileşmelerde hücreli sement ile gerçekleşir (Vardimon ve ark., 1993).

2.3. Mekanik Vibrasyon

Vibrasyon titreşimli hareketle karakterize mekanik bir uyarandır ve vibrasyonu tanımlayan bazı kriterler vardır (Cardinale ve Wakeling, 2005; Rauch, 2009).

Vibrasyon genliği (amplitude) titreşim hareketinin boyutu, iki tepe noktası arasındaki yer değişikliği, milimetre (mm) olarak tarif edilir.

Vibrasyonun frekansı 1 saniyedeki titreşim döngüsünün sayısıdır ve Hertz (Hz) olarak ölçülür.

Vibrasyonun büyüklüğü (magnitude) yer çekimi alanın etkisiyle oluşur ve birimi gramdır (gr, $1 \text{ gr} = 9,8 \text{ m/s}^2$) (Cardinale ve Wakeling, 2005; Rauch, 2009; Grove, 2011).

2.3.1. Mekanik Vibrasyonun Medikal Alanda Kullanımı

1980'lerin ortalarından itibaren tıp alanında tedavi ve fiziksel performansı arttırmak amacıyla vibrasyon çalışmaları yapılmaya başlamıştır. Vibrasyon tedavisinin terapötik etkisi Wolff yasasına dayalı olarak trabeküler kemiğin mekanik ortama adapte

olmasına dayanır (Frost, 1994).

Çalışmalarda tüm vücut vibrasyonunun (30, 45, 90 Hz) kemik yoğunluğu ve morfolojisi üzerindeki anabolik aktiviteyi etkilediği gösterilmiştir (Xie ve ark., 2006; Judex ve ark., 2007; Li ve ark., 2015; Xie ve ark., 2015; Yadav ve ark., 2015a).

Rubin ve ark. (2001), yaptıkları hayvan çalışmasında günlük 20 dakika 30 Hz, 0,3 gr'lık mekanik vibrasyon uygulamışlardır. Araştırmada son derece küçük mekanik uyarıların kemik morfolojisinin belirlenmesinde etkili olduğu ve yüksek sıklıkla, düşük büyüklükte mekanik sinyallerin kemik oluşumunu uyardığını belirtmişlerdir.

Li ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada ratlara günde 15 dakika 35 Hz, 0,25 gr'lık düşük büyüklükte yüksek frekansta mekanik vibrasyon uygulamışlardır. Çalışmada düşük büyüklük ve yüksek frekanslı mekanik titreşimlerin osteojenik proteinlerin salgılanmasını etkileyerek kemik oluşumunu artırdığını göstermişlerdir.

Vibrasyon tedavisi medikal alanda kemik yoğunluğunun azalmış olduğu bireylerde, yürüme engelli hastalarda ve cerrahi iyileşmelerinde kemik ve kas kütlelerinin korumak veya geliştirmek amacıyla kullanılmıştır (Gilsanz ve ark., 2006).

Prisby ve ark. (2008), insan ve hayvanlarda vibrasyonun iskeletsel etkisine baktıkları derleme çalışmasında vibrasyon aletlerinin bilimsel temeli sürekli artmasına rağmen mevcut literatürler optimal vibrasyon protokolünü tam olarak açıklayamadıklarını bildirmişlerdir.

Titreşim tedavisinin avantajı noninvaziv, nonfarmakolojik olmasıdır (Rubin ve ark., 2002; Xie ve ark., 2006; Li ve ark., 2015; Xie ve ark., 2015).

2.3.2. Mekanik Vibrasyonun Ortodontide Kullanımı

Yüksek frekans düşük büyüklükte vibrasyonun ortodonti alanında kullanılması periodontal ve kemik dokunun tekrardan şekillenmesini hızlandırarak ortodontik diş hareketi oranını artırmak amacına dayanır (Nishimura ve ark., 2008).

Son zamanlarda yapılan çalışmalar ortodontik tedavi ile eş zamanlı mekanik vibrasyon uygulaması yalnızca ortodontik tedavi süresini değil ek olarak tedavi sırasında oluşan kök rezorpsiyonunu ve ağrıları azaltmaya yönelik olmuştur (Tan, 2011; Leethanakula ve ark., 2015; Lobre ve ark., 2015).

PDL ve alveolar kemikteki histolojik ve morfolojik farklılıklar nedeniyle hayvan çalışmalarının sonuçlarını insanlar için tahmin etmek zordur. Fakat bu eksiklikleri ile ratlar hala ortodontik diş hareketini incelemek için iyi bir model olarak kabul edilir (Ren ve ark, 2004).

Darendeliler ve ark. (2007), 44 adet Wistar ratında yapmış olduğu çalışmada atımlı elektromanyetik alan (PEMF) ve mıknatıslar kullanarak yüksek frekanslı, düşük büyüklüklü vibrasyonun etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar manyetik ve mekanik kuvvetlerin diş hareketi üzerine etkisini PEMF bağımlı vibrasyon uygulanarak artırılabilceği sonucuna varmışlardır.

Nishimura ve ark. (2008), Wistar ratlarında diş hareketi ve kök rezorpsiyonu miktarına araştırmıştır. Vibrasyon uygulamasının PDL içinde RANKL (Osteoklast Diferansiyasyon Faktörü/ Osteoprotegerin Ligandı) seviyesini artırarak ortodontik diş hareketini artırdığını ve kök rezorpsiyonunda ek artışa yol açmadığını bildirmişlerdir.

Kalajzic ve ark. (2014), dışarıdan uygulanan vibrasyonun diş hareketi, PDL ve kemiğin yeniden şekillenmesine etkisini araştırmışlardır. Günlük 10 dakika, 30 Hz'lik 0,4 N vibrasyon uygulamasının ratlardaki diş hareket hızını önemli derecede azalttığını bildirmişlerdir.

Tan (2011), ortodontik kuvvet uygulaması ile oluşan kök rezorpsiyonu üzerine mekanik vibrasyonun etkisini 30 Hz'lik 20 gr'lık bir titreşim değerine sahip AcceleDent (Orthoaccel Technologies, Inc., Bellaire, USA) cihazını kullanarak incelemiştir. AcceleDent cihazını kullanan bireylerde kök rezorpsiyonu miktarında artış veya azalma arasında anlamlı bir fark bulamamıştır.

Grove (2011), yapmış olduğu çalışmasında 113 Hz'lik mekanik vibrasyon uygulamasının kök rezorpsiyonuna etkisini incelemiştir. Günlük 10 dakikalık mekanik vibrasyon uygulamasının kök rezorpsiyonunu azaltmada ve önlemede yararlı olduğunu bildirmiştir.

Kopher ve Mao (2003), yılında 15 adet 6 haftalık Yeni Zelanda beyaz tavşanında premaksiller sutur ve nazofrontal suturdaki büyümeyi aktive etmek amacıyla statik ve periyodik kuvvet uygulamışlardır. 1 Hz, 5 N'luk periyodik ve 5 N'luk statik kuvveti 12 gün boyunca günlük 10 dakika uygulamışlardır. Sutural genişlik miktarı, sutural hücre

sayısı ve yeni kemik formasyonunda artış bulmuşlar ve periyodik kuvvet uygulamanın sutural büyümei anlamlı derece artırdığını rapor etmişlerdir.

Yadav ve ark. (2015a), düşük frekanslı mekanik vibrasyon uygulamasının diş hareketi üzerine etkisini araştırmıştır. 5, 10, 20 Hz'lik düşük frekanslı mekanik vibrasyonun diş hareketini hızlandırmadığını bildirmişlerdir.

Bir başka çalışmasında Yadav ve ark. (2015b), düşük büyüklükteki mekanik vibrasyonun ortodontik tedavi sonrası retansiyon üzerine etkisini araştırmışlardır. 30 Hz'lik düşük frekanslı mekanik vibrasyonun ortodontik tedavi sonrası relapsı önlemede etkili olmadığını bildirmişlerdir.

Seo ve ark. (2015), mekanik vibrasyonun sürtünme üzerine etkisini aktif ve pasif kendinden kapaklı braketler kullanarak incelemiştir. AcceleDent (Orthoaccel Technologies, Inc., Bellaire, USA) cihazının hem aktif hem de pasif kapaklı braketlerde sürtünmeyi azalttığını belirtmişlerdir.

Woodhouse ve ark. (2015), sabit ortodontik apareyler ile tedavi ettikleri hastalarda seviyeleme aşamasında mekanik vibrasyonun etkinliğini incelemiştir. AcceleDent (Orthoaccel Technologies, Inc., Bellaire, USA) cihazı kullanan ve kullanmayan gruplar arasında seviyeleme aşaması ve tedavi süresinde kısılma açısından bir fark olmadığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Bireylerin Seçimi ve Çalışma Gruplarının Oluşturulması

Bu çalışmaya, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı kliniğine başvuran yaşları 13-18 arasında değişen, tedavisinde üst çenede çift taraflı premolar çekimi planlanmış 40 birey dahil edildi. Çalışmaya katılan bireylerin daimi dişlenme ve kök ucu gelişiminin tamamlanması kriterine özen gösterildi.

Çalışmaya başlamadan önce Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi Etik Kurulu'ndan, çalışmanın etik kurallara uygun olduğuna dair 146 sayılı belge alındı (Ek 1). Bireylerin çalışmaya katılabilmesi için gereken koşulları sağlayıp sağlamadıkları anamnez, klinik muayene ve radyografik değerlendirmeler ile belirlendi. Çalışmaya katılacak bireylerde aranacak koşullar şunlardı:

1. Kraniofasial ve dentoalveolar anomalinin olmaması,
2. Hastanın daha önce ortodontik tedavi görmemesi,
3. Dentisyonu etkileyecek herhangi bir medikal hikayesinin olmaması,
4. Birinci küçük azı dişlerinde dolgu, kanal tedavisi vs olmaması,
5. Birinci küçük azı dişlerin kök uçlarının kapanmış olması,
6. Periodontal probleminin olmaması,
7. Anamnezinde travma, diş sıkma, parafonksiyonel alışkanlıklarının olmaması.

Tedaviye alınma kriterlerini karşılayan bireylere ve velilerine katılacakları araştırma projesinin amacı ve işlem basamakları hakkında sözlü bilgilendirme yapıldı. Çalışmada yer almak isteyen gönüllünün kendisinden ve/veya yasal temsilcilerinden imzalı aydınlatılmış onam formu alındı (Ek 2).

Toplam 40 bireyin oluşturduğu çalışma grubunun 29'u kız 11'i erkektir. Bu bireyler cinsiyet dağılımı eşit olacak şekilde rastgele iki gruba ayrıldı. Yaş ortalaması $16,64 \pm 1,54$ yıl olan 20 birey (14 kadın, 6 erkek) günde 20 dakikalık mekanik vibrasyon uygulayan (20 dk) grubunu oluştururken, yaş ortalaması $16,08 \pm 1,26$ yıl olan diğer 20 birey (15 kadın, 5 erkek) günde 40 dakikalık mekanik vibrasyon uygulayan (40 dk) grubunu oluşturdu.

3.2. Aparey Yapımı ve Klinik Uygulama

Bireylerden aparey yapımı için üst çenelerinden aljinat ölçü alındı. Alınan bu ölçülere sert alçı dökülerek çalışma modeli elde edildi. Çalışma modelinde sağ ve sol üst birinci molar dişler arasına 0,09 mm'lik çelik telden transpalatal ark büküldü. Bu transpalatal arklara bukkal hareketler sırasında dişlerin olası çatışmalarını önlemek amacıyla oklüzyon yükseltici akrilik plaklar eklendi. Yalnızca birinci molar dişlerin oklüzyonunu kapsayan akrilik plakların kalınlığı ortalama 2 mm olacak şekilde yapıldı.

Akrilik oklüzyon yükseltici plaklar içeren transpalatal arkların gerekli tesviye ve polisaj işlemleri sonrası çalışma gruplarını oluşturan bireylerin üst diş kavilerine uyumluluğu ağız içerisinde kontrol edildi.

Apareylerin ağız içinde kontrol edilmesini ardından yapıştırma işlemine geçildi. Tutuculuğu artırmak için üst büyük azı dişlerin tüberkül tepelerine 30 saniye %37'lik fosforik asit (Scotchbond™, 3M Espe, USA) uygulandı. Asit uygulanan yüzeyler 20 saniye süre ile hava-su ile yıkandı ve takiben hava ile kurutuldu. Transpalatal arklar ışıkla sertleşen cam iyonomer siman (Transbond™ Plus, 3M Unitek, Monrovia, USA) ile üst büyük azı dişlerine yapıştırıldı.

Her iki grupta sağ ve sol birinci molar dişlerin ve 8 hafta sonrasında çekimi yapılacak olan birinci premolar dişlerin bukkal yüzeylerine 0.022×0.026 inç slotlu kendinden bağlanan (self-ligating) Speed (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada) tüpler ve braketler yapıştırıldı.

Bukkal tüp ve braketlerin yapıştırılmış olduğu birinci molar ve birinci premolar dişler arasına kuvvet kaynağı olarak 0.017×0.025 inç TMA (β -III Titanium, 3M Unitek, Monrovia, USA) kantilever zemberekler yerleştirildi.

150 gr'lık bukkal yönde sürekli kuvvet uygulayan zemberekler el ile büküldü. Braketlerin yapıştırılma, TMA zembereklerin büküm ve kuvvet ölçüm işlemleri bir tek hekim tarafından gerçekleştirildi.

TMA telde yapılan heliks bükümünün bukkal tüpün mesialine gelmesine özen gösterildi (Şekil 1).



Şekil 1. Transpalatal ark ve TMA zembereğlerin görüntüsü

Ardından hastalara 5 gr, 50 Hz'lık mekanik vibrasyon değerine sahip vibrasyon cihazı (Dentofast Ltd. Şti., Ankara, Türkiye) teslim edildi (Şekil 2). Cihazı hangi dişine nasıl uygulayacağı konusunda bilgilendirildi. 20 dk grubu günde bir kere kesintisiz, 40 dk grubu sabah 20 dakika, akşam 20 dakika olacak şekilde mekanik vibrasyon uygulaması yaptı. Cihazın kullanımını hatırlatmak için hastalar ve velileri her gün telefon ile arandı.



Şekil 2. Mekanik vibrasyon cihazı ve klinik uygulaması

Başlangıçta ve 4. haftada zembereğin aktivasyonu 150 gr'lık kuvvet büyüklüğü olacak şekilde ayarlandı. Aktivasyon transversal düzlemde bukkal yönlü heliks üzerinden bükülerek gerçekleştirildi. Kuvvet miktarı kuvvet ölçer saat (Strain Gauge, Dentaurum, Germany) yardımıyla ayarlandı.

Zemberekte oluşan tork kuvvetini engellemek amacıyla telin slota serbest olarak yerleşmesine ve kendinden bağlanan braketin kapağı açıldığında telin slot dışına

kendiliğinden çıkmasına dikkat edildi.

Hastalara tedavi süresince uymaları gereken kurallar, beslenme konusunda dikkat etmesi gereken noktalar braketlerin yapıştırıldığı seansta yapıldı. Bireylere ortodontik diş fırçası ve diş arası fırçası önerildi ve bunları nasıl kullanacakları klinikte pratik olarak gösterildi.

3.3. Dişlerin Çekimi

Sekiz haftalık kuvvet ve mekanik vibrasyon uygulamasını takiben molar ve premolar dişler üzerindeki tüp ve braketler söküldü. Ardından bireylerden ortodontik modeller ve fotoğraflar alındı.

Premolar dişlerin çekimi lokal anestezi altında gerçekleştirildi. Çekim işlemi aynı cerrah tarafından yapıldı. Kök yüzeyine zarar vermemek için çekim sırasında elevatör kullanılmamasına davyenin kök yüzeyi ile temas etmemesine dikkat edildi.

Çekim sonrası dişler üzerlerindeki kan ve doku artıklarını uzaklaştırmak amacıyla kök yüzeylerine dokunulmaksızın izotonik solüsyonla yapılan basınçsız yıkama işlemi takiben %10'luk formalin solüsyonu içeren 5 ml'lik steril tüplere (Sarstedt Ag & Co., Nümbrecht, Germany) yerleştirildi. İki hafta sonra formalin solüsyonu değiştirildi ve kök incelemesine kadar herhangi bir işlem yapılmadı.

3.4. Köklerin Üç Boyutlu İncelenmesi

3.4.1. Kök Yüzey İnceleme Hazırlıkları

Çalışmamızda kök yüzeylerini taranması ve analizi İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde bulunan SkyScan-1172 x-ışını mikro-tomografi cihazı (SkyScan-1172, SkyScan, Aartselaar, Belgium) ve CTAn yazılımı (CTAn, Bruker-microCT) ile gerçekleştirildi (Şekil 3).



Şekil 3. SkyScan-1172 x-ışını mikro-tomografi cihazı

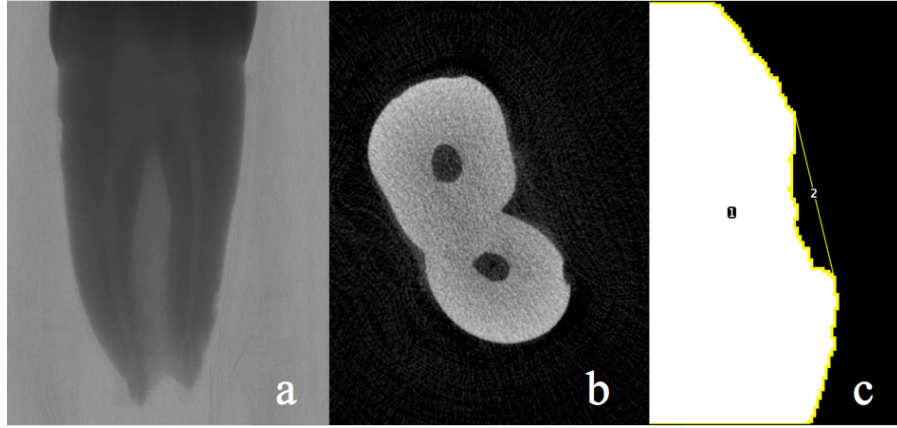
Dişler mikro-tomografi cihazın döner platformuna yerleştirilebilmesi için önce plastik taşıyıcılara dental mumlar ile kron düzeyinde sabitlendi. Hazırlanan örnekler, tomografi cihazının döner platformu ortasında bulunan yuvaya yerleştirilerek tarama işlemine geçildi.

3.4.2. Görüntülerin Oluşturulması

Tüm dişler 13,68 μm piksel çözünürlükte SkyScan-1172 x-ışını mikro-tomografi cihazı ile her bir diş mine sement bileşim hattının 2-3 mm koronalinden başlayarak kök ucunu içine alan kısım görüntülenecek şekilde tarandı. X-ışını tüpü, 100 kV, 100 μA ve 0,5 mm alüminyum filtreye ayarlandı.

Her bir diş için tarama işlemi 11 megapiksel (MP) kamera ile dişler kendi etrafında 0.40° rotasyon adımı yapacak şekilde yaklaşık 50-60 dakika sürdü. Böylelikle bir diş için toplamda 900 ile 1000 kesit x-ışını absorpsiyon radyografi oluşturuldu. Görüntüler 16 bit TIFF (Tagged Image File Format) formatında görüntü dosyası olarak kaydedildi. 16 bit TIFF dosyaları NRecon (version 1.6.10.2, Aartsellaar, Belgium) yazılımı aracılığı ile 8 bit'lik gri skala dinamik aralığında 2000×2000 pixel'lik bitmap (BMP) formatında dönüştürüldü.

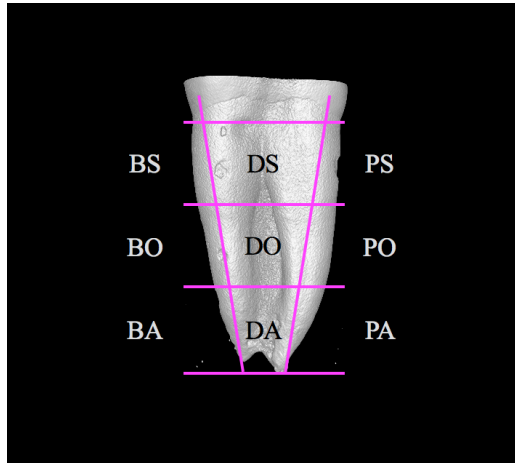
İki boyutlu aksiyal kesitlerde kök yüzeyindeki kraterler belirlenerek izole edildi. İzole edilen aksiyal kesitteki rezorpsiyon kraterlerinin hacmini hesaplamak için açık kaynaklı Fiji (ImageJ) yazılımı kullanıldı. ImageJ yazılımında convex hull modülü kullanılarak rezorpsiyon kraterlerinin kenarlarını çizgisel olarak birleştirildi ve bu çizginin altında kalan alanların hacimlerini hesaplandı (Şekil 4).



Şekil 4. a: Skyscan-1172 görüntüsü b: NRecon aksiyal kesit c: ImageJ hacim ölçümü

SkyScan-1172 x-ışını mikro-tomografi cihazı $13,68 \mu\text{m}$ piksel çözünürlükte tarandığında mm cinsinden birim vksel = $0.000002560108032 \text{ mm}^3$ e eşittir. Bu birim vksel değeri ImageJ programı ile bulunan vksel sayısı ile çarparak kraterin mm^3 cinsinden hacmi hesaplandı.

Kök yüzeylerindeki kraterlerin hacimsel değişiklikleri hem bölgesel hem de total olarak değerlendirildi. Bölgesel değişikliklerde palatal, distal, mesial yüzeyler ile servikal, orta ve apikal üçlüye bakıldı (Şekil 4). İstatistiksel analiz elde edilen bu veri grupları ile yapıldı.



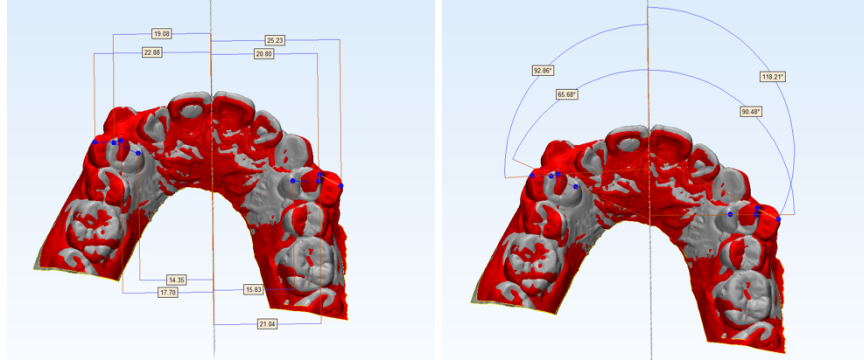
Şekil 5. Kök yüzeylerinin değerlendirilmesi; Bukkal-servikal (BS), Bukkal-orta (BO), Bukkal-apikal (BA), Palatal-servikal (PS), Palatal-orta (PO), Palatal-apikal (PA), Distal-servikal (DS), Distal-orta (DO), Distal-apikal (DA)

3.5. Ortodontik Modellerin Değerlendirilmesi

Çalışmaya dahil edilen bireylerin tedavi başlangıcında (0. hafta) ve bukkal kuvvet uygulaması sonrasında (8. hafta) aljinat ölçü maddesi ile ölçüleri alındı. Bu ölçülere sert alçı dökülerek bireylerin ortodontik modelleri elde edildi. Sonrasında bu modeller 3Shape model tarayıcısı (3Shape, Copenhagen, Denmark) ile taranarak üç boyutlu olarak bilgisayar ortamına aktarıldı.

Bilgisayar ortamında Ortho Analyzer™ (version 2008-1, 3Shape, Copenhagen, Denmark) yazılımı kullanılarak dental modeller belirlenen noktalar üzerinde karşılaştırılarak üzerinde açısal ve milimetrik ölçümler yapıldı.

Sekiz hafta süresince uygulanan bukkal kuvvetin etkisiyle meydana gelen rotasyon miktarları karşılaştırılan modeller üzerinde birinci premolar dişlerin bukkal ve palatinal tüberkül tepelerinden geçen doğrular ile oluşturulan referans düzlemi arasındaki açı hesaplanarak ölçüldü. Yine karşılaştırılan modeller üzerinde birinci premolar dişlerin hareket miktarları bukkal ve palatinal tüberkül tepelerin rehber düzleme dik uzaklıkları ölçülerek elde edildi (Şekil 5).



Şekil 6. Tedavi başı ve sonu modellerin karşılaştırılması ve model analizi

3.6. İstatistiksel Değerlendirme

Sekiz haftalık ortodontik kuvvet uygulaması ile beraber kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyon kraterlerinin önlenmesinde mekanik vibrasyon etkisi ve bu mekanik vibrasyonun süresinin etkinliği değerlendirildi. Toplam rezorpsiyon hacmi ile kökün farklı yüzey (bukkal, palatal, mesial ve distal) ve farklı seviyelerinde (servikal, orta ve apikal) oluşan rezorpsiyon hacimlerinin grup içi karşılaştırmada Wilcoxon, gruplar arası karşılaştırmada Mann-Whitney U testleri kullanıldı.

Birinci premolar dişlerin bukkal yöndeki hareketlerini değerlendirmek amacıyla yapılan model analizinde grup içi karşılaştırmalar Wilcoxon gruplar arası karşılaştırmalar Mann-Whitney U testi ile yapıldı.

4. BULGULAR

4.1. Vibrasyon Grubuna İlişkin Bulgular

20 dk grubuna ait üst birinci premolar dişlerde tüm kök yüzeyi, farklı yüzey (bukkal, palatal, mesial ve distal) ve farklı seviyelerde (servikal, orta ve apikal) ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 1'de gösterilmektedir.

40 dk grubuna ait üst birinci premolar premolar dişlerde tüm kök yüzeyi, farklı yüzey (bukkal, palatal, mesial ve distal) ve farklı seviyelerde (servikal, orta ve apikal) ölçülen rezorpsiyon krater hacimlerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 2'de gösterilmektedir.

4.2. 20 dk Grubunda Grup İçi Karşılaştırmalar

Sekiz haftalık mekanik vibrasyon uygulaması sonrası 20 dk grubuna ait üst birinci premolar dişlerde meydana gelen ortalama kök rezorpsiyonu miktarlarının grup içi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 3'te verilmektedir.

20 dk grubunda vibrasyon uygulanan dişlerin kök yüzeyinde ölçülen toplam kök rezorpsiyon miktarı ortalama $0,85746925 \text{ mm}^3$ iken kontrol grubundaki dişlerde ortalama $0,77967375 \text{ mm}^3$ olarak bulunmuştur. Vibrasyon uygulanan dişlerde daha fazla kök rezorpsiyonu görülmesine rağmen bu fark istatistiksel olarak önemli bulunmadı ($P>0,05$).

Kökün farklı yüzey farklı seviyelerinin karşılaştırılmasında 20 dakika vibrasyon uygulanan dişlerin palatal-orta bölgelerinde görülen rezorpsiyon miktarı ($0,02245640 \text{ mm}^3$) kontrol dişlerine göre ($0,05436775 \text{ mm}^3$) daha az olduğu ve bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($P<0,05$). Mesial-apikal bölgede 20 dakika vibrasyon uygulanan dişlerde oluşan rezorpsiyon ($0,01005600 \text{ mm}^3$) ile kontrol dişlerinde oluşan rezorpsiyon ($0,03636465 \text{ mm}^3$) arasında önemli fark bulundu ($P<0,05$).

4.3. 40 dk Grubunda Grup İçi Karşılaştırmalar

Sekiz haftalık mekanik vibrasyon uygulaması sonrası 40 dk grubuna ait üst birinci premolar dişlerde meydana gelen ortalama kök rezorpsiyonu miktarlarının grup içi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 4'te verilmektedir.

40 dk grubu için vibrasyon uygulanan dişlerin kök yüzeyinde ölçülen toplam

kök rezorpsiyon miktarı ortalama $0,67615055 \text{ mm}^3$ iken kontrol grubundaki dişlerde ortalama $0,54397985 \text{ mm}^3$ olarak ölçüldü. Toplam rezorpsiyon hacmindeki bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($P>0,05$).

4.4. Vibrasyon Sonrası Kök Rezorpsiyonunun 20 dk ve 40 dk Grupları Arasında Karşılaştırılması

20 ve 40 dk gruplarında vibrasyon uygulanan dişlerde 8 haftalık vibrasyon sonrası kök rezorpsiyonu değerlerinin gruplar arasında karşılaştırılmasına ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 5'te verilmektedir.

Mekanik vibrasyon uygulanan dişlerin kök yüzeyinde ölçülen toplam kök rezorpsiyon miktarı 20 dk grubunda ortalama $0,85746925 \text{ mm}^3$ 40 dk grubunda ortalama $0,67615055 \text{ mm}^3$ bulunmuştur. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı ($P<0,05$).

20 dakika mekanik vibrasyon uygulanan dişlerin servikal ($0,42313155 \text{ mm}^3$) ve bukkal ($0,31800855 \text{ mm}^3$) yüzeylerde ölçülen kök rezorpsiyonu 40 dk grubundaki dişlerin servikal ($0,22952925 \text{ mm}^3$) ve bukkal ($0,16145165 \text{ mm}^3$) yüzeylerde ölçülen rezorpsiyondan daha fazla olduğu ve farkın istatistiksel olarak önemli olduğu izlendi ($P<0,05$).

Kökün farklı yüzey ve farklı seviyelerinin karşılaştırılmasında bukkal-servikal bölgede 20 dk grubunda görülen ortalama rezorpsiyon miktarı ($0,23919170 \text{ mm}^3$) 40 dk grubunda görülen rezorpsiyon miktarından ($0,10910925 \text{ mm}^3$) daha fazla olduğu görüldü ve gruplar arasındaki farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($P<0,01$). Distal-orta bölgede 20 dk grubunda oluşan rezorpsiyon ($0,03079155 \text{ mm}^3$) ile 40 dk grubunda oluşan rezorpsiyon ($0,08057500 \text{ mm}^3$) arasında önemli fark bulundu ($P<0,05$).

4.5. Kontrol Dişlerinde Kök Rezorpsiyonunun 20 dk ve 40 dk Grupları Arasında Karşılaştırılması

Sekiz hafta süresince bukkal kuvvet uygulaması sonucu 20 ve 40 dk gruplarının kontrol dişlerinde meydana gelen kök rezorpsiyonu değerlerinin gruplar arasında karşılaştırılmasına ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 6'te verilmektedir.

Kontrol grubu dişlerin kök yüzeyinde ölçülen toplam kök rezorpsiyon miktarı

20 dk grubunda ortalama $0,77967375 \text{ mm}^3$ 40 dk grubunda ortalama $0,54397985 \text{ mm}^3$ bulunmuştur. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptandı ($P<0,05$).

Kökün farklı yüzeyleri (bukkal, palatal, distal ve mesial) karşılaştırıldığında 20 dk grubundaki kontrol dişlerin mesial yüzeylerde ölçülen kök rezorpsiyon hacmi ($0,28589500 \text{ mm}^3$) ile 40 dk grubundaki kontrol dişlerin yüzeylerde ölçülen rezorpsiyon hacmi ($0,14587920 \text{ mm}^3$) arasında istatistiksel olarak önemli fark bulundu ($P<0,05$).

Kontrol grubundaki dişlerin kökün farklı yüzey ve farklı seviyelerinin karşılaştırılmasında 20 dk grubunun bukkal-orta bölgesinde meydana gelen $0,06341535 \text{ mm}^3$ rezorpsiyon ile 40 dk grubunun bukkal-orta bölgesinde meydana gelen $0,02618245 \text{ mm}^3$ rezorpsiyon arasında önemli fark bulundu ($P<0,05$). Mesial-servikal bölgede 20 dk grubunda oluşan $0,13118235 \text{ mm}^3$ rezorpsiyon ile 40 dk grubunda oluşan $0,04513720 \text{ mm}^3$ rezorpsiyon arasında önemli fark bulundu ($P<0,05$). Benzer şekilde 20 dk grubunun mesial-orta bölgesinde oluşan $0,11834795 \text{ mm}^3$ 'lük rezorpsiyon ile 40 dk grubunun mesial-orta bölgesinde oluşan $0,06768975 \text{ mm}^3$ 'lük rezorpsiyon arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($P<0,05$).

4.6. Farklı Sürelerde Mekanik Vibrasyon Uygulaması İle Premolar Dişlerde Meydana Gelen Bukkal Hareket Ve Rotasyonun Karşılaştırılması

20 dk grubuna ait üst birinci premolar dişlerde meydana gelen bukkal diş hareketi ve rotasyona ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 7'de sunulmaktadır.

40 dk grubuna ait üst birinci premolar dişlerde meydana gelen bukkal diş hareketi ve rotasyona ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 8'de sunulmaktadır.

20 dk grubunda vibrasyon ve kontrol dişlerinde oluşan bukkal hareket ve rotasyonun grup içi karşılaştırılması Tablo 9'da verilmektedir.

Grup içi karşılaştırmada 20 dk grubunda vibrasyon ve kontrol dişlerinde bukkal hareket miktarı, palatal hareket miktarı ve rotasyon miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunamamıştır ($P>0,05$).

40 dk grubunda vibrasyon ve kontrol dişlerinde oluşan bukkal hareket ve rotasyonun grup içi karşılaştırılması Tablo 10'da verilmektedir.

Grup içi karşılaştırmada 40 dk grubunda vibrasyon ve kontrol dişlerinde bukkal hareket miktarı, palatal hareket miktarı ve rotasyon miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunamamıştır ($P>0,05$).

20 ve 40 dk grupları arasında st birinci premolar dişlerde oluşan bukkal hareketleri ve rotasyonlarının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 11'de gösterilmektedir.

Gruplar arası vibrasyon uygulana dişlerde meydana gelen bukkal hareket miktarı 20 dk grubunda 3,31 mm iken 40 dk grubunda 2,11 mm'dir. Palatinal hareket miktarı 20 dk grubunda 3,28 mm 40 dk grubunda 2,02 mm'dir. 40 dk grubunda daha az gerçekleşen diş hareketi istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0,01$).

Gruplar arası kontrol dişlerinde meydana gelen bukkal hareket miktarı 20 dk grubunda 3,70 mm 40 dk grubunda 2,63 mm'dir. Palatinal hareket miktarı 20 dk grubunda 3,81 mm 40 dk grubunda 2,52 mm'dir. 40 dk grubunda daha az gerçekleşen diş hareketi istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0,05$).

Vibrasyon uygulanan premolar dişlerde görülen rotasyon hareketi 20 dk grubunda $13,83^\circ$ 40 dk grubunda $6,88^\circ$ 'dir. Gruplar arası rotasyon derecesinde görülen bu fark istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur ($P<0,01$). Benzer farklılık kontrol grubu dişleri arasında da görülmektedir. 20 dk grubundaki kontrol dişinde oluşan $17, 24^\circ$ 'lik rotasyon 40 dk grubunda oluşan $9,60^\circ$ 'lik rotasyondan istatistiksel olarak anlamlıdır ($P<0,05$).

Tablo 1. 20 dk grubuna ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (N=20)

Vibrasyon	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
Toplam	0,120755	10,839061	0,85746925	0,110527360	0,494293380
Apikal	0,028696	0,565664	0,17477780	0,031147126	0,139294184
Orta	0,020586	0,708530	0,25956000	0,041230533	0,184388551
Servikal	0,021528	10,434464	0,42313155	0,074829097	0,334645894
Bukkal	0,012990	10,034760	0,31800855	0,052035969	0,232711929
Palatal	0,000000	0,572760	0,13598320	0,030034021	0,134316226
Mesial	0,000000	0,737969	0,31214155	0,056531822	0,252817994
Distal	0,000000	0,353187	0,09133605	0,020339532	0,090961150
Bukkal-Apikal	0,000000	0,109731	0,00769390	0,005638336	0,025215407
Bukkal-Orta	0,000000	0,245970	0,07112295	0,018200124	0,081393431
Bukkal-Servikal	0,012990	0,881737	0,23919170	0,042497127	0,190052928
Palatal-Apikal	0,000000	0,545236	0,11309990	0,027856632	0,124578645
Palatal-Orta	0,000000	0,164077	0,02245640	0,008828284	0,039481286
Palatal-Servikal	0,000000	0,008538	0,00042690	0,000426900	0,001909155
Mesial-Apikal	0,000000	0,077669	0,01005600	0,004417555	0,019755907
Mesial-Orta	0,000000	0,510954	0,13518925	0,030004080	0,134182325
Mesial-Servikal	0,000000	0,571319	0,16689635	0,043428675	0,194218939
Distal-Apikal	0,000000	0,216101	0,04392800	0,012866404	0,057540308
Distal-Orta	0,000000	0,190779	0,03079155	0,009770948	0,043697009
Distal-Servikal	0,000000	0,081650	0,01661660	0,006099964	0,027279868

Kontrol	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
Toplam	0,184924	10,442365	0,77967375	0,078608465	0,351547744
Apikal	0,000000	0,508624	0,19425220	0,037063605	0,165753480
Orta	0,018279	0,728417	0,26739485	0,044398101	0,198554345
Servikal	0,080579	0,816956	0,31802665	0,047218489	0,211167501
Bukkal	0,009657	0,482803	0,23476790	0,028722517	0,128451000
Palatal	0,000000	0,556209	0,15475185	0,033912119	0,151659609
Mesial	0,010089	0,588338	0,28589500	0,040923990	0,183017645
Distal	0,000000	0,301880	0,10425890	0,021254471	0,095052884
Bukkal-Apikal	0,000000	0,000000	0,00000000	0,000000000	0,000000000
Bukkal-Orta	0,000000	0,227297	0,06341535	0,015737573	0,070380567
Bukkal-Servikal	0,009657	0,377585	0,17135270	0,022862890	0,102245953
Palatal-Apikal	0,000000	0,479606	0,10038420	0,026874627	0,120186986
Palatal-Orta	0,000000	0,234137	0,05436775	0,015463590	0,069155279
Palatal-Servikal	0,000000	0,000000	0,00000000	0,000000000	0,000000000
Mesial-Apikal	0,000000	0,181041	0,03636465	0,013477500	0,060273214
Mesial-Orta	0,000000	0,348129	0,11834795	0,023957349	0,107140520
Mesial-Servikal	0,000000	0,527224	0,13118235	0,032908754	0,147172422
Distal-Apikal	0,000000	0,293852	0,05750340	0,018521321	0,082829866
Distal-Orta	0,000000	0,137852	0,03126385	0,009619168	0,043018228
Distal-Servikal	0,000000	0,116871	0,01549165	0,007387283	0,033036936

Tablo 2. 40 dk grubuna ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (N=20)

Vibrasyon	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
Toplam	0,254823	10,493280	0,67615055	0,069719976	0,311797214
Apikal	0,062526	0,518337	0,18647200	0,028763954	0,128636311
Orta	0,000000	0,606405	0,26014935	0,034307815	0,153429212
Servikal	0,000000	0,590955	0,22952925	0,038358692	0,171545286
Bukkal	0,031704	0,446199	0,16145165	0,027142165	0,121383451
Palatal	0,000000	0,474593	0,16517095	0,031984131	0,143037380
Mesial	0,000000	0,806585	0,19444435	0,041625704	0,186155807
Distal	0,000000	0,641668	0,15508400	0,035357663	0,158124277
Bukkal-Apikal	0,000000	0,007742	0,00038710	0,000387100	0,001731164
Bukkal-Orta	0,000000	0,368571	0,05195525	0,019721034	0,088195147
Bukkal-Servikal	0,000000	0,289331	0,10910925	0,017317099	0,077444422
Palatal-Apikal	0,000000	0,394113	0,10752790	0,022572235	0,100946104
Palatal-Orta	0,000000	0,246029	0,05616995	0,015694971	0,070190046
Palatal-Servikal	0,000000	0,026400	0,00147310	0,001320820	0,005906889
Mesial-Apikal	0,000000	0,185979	0,02821280	0,010137373	0,045335710
Mesial-Orta	0,000000	0,288068	0,07144925	0,019138323	0,085589184
Mesial-Servikal	0,000000	0,413864	0,09478220	0,026734730	0,119561346
Distal-Apikal	0,000000	0,321580	0,05034430	0,017039329	0,076202195
Distal-Orta	0,000000	0,376400	0,08057500	0,020345265	0,090986792
Distal-Servikal	0,000000	0,109399	0,02416475	0,007415004	0,033160906

Kontrol	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
Toplam	0,160232	10,079557	0,54397985	0,057434972	0,256857005
Apikal	0,036236	0,366111	0,13601765	0,016278616	0,072800182
Orta	0,027196	0,548403	0,19392255	0,029291355	0,130994921
Servikal	0,015217	0,721597	0,21403970	0,037875242	0,169383230
Bukkal	0,007115	0,452069	0,17009300	0,030534007	0,136552230
Palatal	0,000556	0,303539	0,10047990	0,016801176	0,075137145
Mesial	0,000000	0,592325	0,14587920	0,032100329	0,143557037
Distal	0,000000	0,375473	0,12752775	0,023833222	0,106585410
Bukkal-Apikal	0,000000	0,037224	0,00203975	0,001860367	0,008319813
Bukkal-Orta	0,000000	0,283693	0,02618245	0,014322024	0,064050037
Bukkal-Servikal	0,007115	0,386272	0,14187075	0,024096632	0,107763413
Palatal-Apikal	0,000000	0,301530	0,06782795	0,016086611	0,071941511
Palatal-Orta	0,000000	0,158542	0,03145435	0,009577743	0,042832970
Palatal-Servikal	0,000000	0,012501	0,00119750	0,000723803	0,003236945
Mesial-Apikal	0,000000	0,185449	0,03305220	0,010146856	0,045378119
Mesial-Orta	0,000000	0,445420	0,06768975	0,024137879	0,107947876
Mesial-Servikal	0,000000	0,200858	0,04513720	0,013428450	0,060053856
Distal-Apikal	0,000000	0,109629	0,03309780	0,006934592	0,031012438
Distal-Orta	0,000000	0,321079	0,06859595	0,019230698	0,086002296
Distal-Servikal	0,000000	0,181020	0,02583415	0,011246388	0,050295378

Tablo 3. 20 dk grubunda grup içi karşılaştırmaya ilişkin istatistiksel veriler (N=20)

	Vibrasyon		Kontrol		P
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
Toplam	0,85746925	0,494293380	0,77967375	0,351547744	0,455
Apikal	0,17477780	0,139294184	0,19425220	0,165753480	0,433
Orta	0,25956000	0,184388551	0,26739485	0,198554345	0,881
Servikal	0,42313155	0,334645894	0,31802665	0,211167501	0,093
Bukkal	0,31800855	0,232711929	0,23476790	0,128451000	0,117
Palatal	0,13598320	0,134316226	0,15475185	0,151659609	0,940
Mesial	0,31214155	0,252817994	0,28589500	0,183017645	0,823
Distal	0,09133605	0,090961150	0,10425890	0,095052884	0,550
Bukkal-Apikal	0,00769390	0,025215407	0,00000000	0,000000000	0,109
Bukkal-Orta	0,07112295	0,081393431	0,06341535	0,070380567	0,841
Bukkal-Servikal	0,23919170	0,190052928	0,17135270	0,102245953	0,067
Palatal-Apikal	0,11309990	0,124578645	0,10038420	0,120186986	0,391
Palatal-Orta	0,02245640	0,039481286	0,05436775	0,069155279	0,034*
Palatal-Servikal	0,00042690	0,001909155	0,00000000	0,000000000	0,317
Mesial-Apikal	0,01005600	0,019755907	0,03636465	0,060273214	0,028*
Mesial-Orta	0,13518925	0,134182325	0,11834795	0,107140520	0,765
Mesial-Servikal	0,16689635	0,194218939	0,13118235	0,147172422	0,526
Distal-Apikal	0,04392800	0,057540308	0,05750340	0,082829866	0,427
Distal-Orta	0,03079155	0,043697009	0,03126385	0,043018228	0,981
Distal-Servikal	0,01661660	0,027279868	0,01549165	0,033036936	0,875

* P<0,05

Tablo 4. 40 dk grubunda grup içi karşılaştırmaya ilişkin istatistiksel veriler (N=20)

	Vibrasyon		Kontrol		P
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
Toplam	0,67615055	0,311797214	0,54397985	0,256857005	0,033*
Apikal	0,18647200	0,128636311	0,13601765	0,072800182	0,191
Orta	0,26014935	0,153429212	0,19392255	0,130994921	0,117
Servikal	0,22952925	0,171545286	0,21403970	0,169383230	0,627
Bukkal	0,16145165	0,121383451	0,17009300	0,136552230	0,478
Palatal	0,16517095	0,143037380	0,10047990	0,075137145	0,079
Mesial	0,19444435	0,186155807	0,14587920	0,143557037	0,135
Distal	0,15508400	0,158124277	0,12752775	0,106585410	0,794
Bukkal-Apikal	0,00038710	0,001731164	0,00203975	0,008319813	0,593
Bukkal-Orta	0,05195525	0,088195147	0,02618245	0,064050037	0,136
Bukkal-Servikal	0,10910925	0,077444422	0,14187075	0,107763413	0,218
Palatal-Apikal	0,10752790	0,100946104	0,06782795	0,071941511	0,100
Palatal-Orta	0,05616995	0,070190046	0,03145435	0,042832970	0,117
Palatal-Servikal	0,00147310	0,005906889	0,00119750	0,003236945	0,715
Mesial-Apikal	0,02821280	0,045335710	0,03305220	0,045378119	0,865
Mesial-Orta	0,07144925	0,085589184	0,06768975	0,107947876	0,795
Mesial-Servikal	0,09478220	0,119561346	0,04513720	0,060053856	0,157
Distal-Apikal	0,05034430	0,076202195	0,03309780	0,031012438	0,445
Distal-Orta	0,08057500	0,090986792	0,06859595	0,086002296	0,658
Distal-Servikal	0,02416475	0,033160906	0,02583415	0,050295378	0,753

* P≤0,05

Tablo 5. 20 ve 40 dk gruplarında vibrasyon sonrası kök rezorpsiyonu değerlerinin gruplar arasında karşılaştırılmasına ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (N=20)

	20 dk Grubu		40 dk Grubu		P
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
Toplam	0,85746925	0,494293380	0,67615055	0,311797214	0,341
Apikal	0,17477780	0,139294184	0,18647200	0,128636311	0,758
Orta	0,25956000	0,184388551	0,26014935	0,153429212	0,820
Servikal	0,42313155	0,334645894	0,22952925	0,171545286	0,026*
Bukkal	0,31800855	0,232711929	0,16145165	0,121383451	0,012*
Palatal	0,13598320	0,134316226	0,16517095	0,143037380	0,529
Mesial	0,31214155	0,252817994	0,19444435	0,186155807	0,221
Distal	0,09133605	0,090961150	0,15508400	0,158124277	0,192
Bukkal-Apikal	0,00769390	0,025215407	0,00038710	0,001731164	0,565
Bukkal-Orta	0,07112295	0,081393431	0,05195525	0,088195147	0,602
Bukkal-Servikal	0,23919170	0,190052928	0,10910925	0,077444422	0,004**
Palatal-Apikal	0,11309990	0,124578645	0,10752790	0,100946104	1,000
Palatal-Orta	0,02245640	0,039481286	0,05616995	0,070190046	0,091
Palatal-Servikal	0,00042690	0,001909155	0,00147310	0,005906889	0,799
Mesial-Apikal	0,01005600	0,019755907	0,02821280	0,045335710	0,192
Mesial-Orta	0,13518925	0,134182325	0,07144925	0,085589184	0,060
Mesial-Servikal	0,16689635	0,194218939	0,09478220	0,119561346	0,341
Distal-Apikal	0,04392800	0,057540308	0,05034430	0,076202195	0,862
Distal-Orta	0,03079155	0,043697009	0,08057500	0,090986792	0,023*
Distal-Servikal	0,01661660	0,027279868	0,02416475	0,033160906	0,512

* P≤0,05 ** P≤0,01

Tablo 6. 20 ve 40 dk gruplarında kontrol dişlerinde kök rezorpsiyonu değerlerinin gruplar arasında karşılaştırılmasına ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (N=20)

	20 dk Grubu		40 dk Grubu		P
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
Toplam	0,77967375	0,351547744	0,54397985	0,256857005	0,026*
Apikal	0,19425220	0,165753480	0,13601765	0,072800182	0,529
Orta	0,26739485	0,198554345	0,19392255	0,130994921	0,301
Servikal	0,31802665	0,211167501	0,21403970	0,169383230	0,052
Bukkal	0,23476790	0,128451000	0,17009300	0,136552230	0,086
Palatal	0,15475185	0,151659609	0,10047990	0,075137145	0,253
Mesial	0,28589500	0,183017645	0,14587920	0,143557037	0,012*
Distal	0,10425890	0,095052884	0,12752775	0,106585410	0,461
Bukkal-Apikal	0,00000000	0,000000000	0,00203975	0,008319813	0,602
Bukkal-Orta	0,06341535	0,070380567	0,02618245	0,064050037	0,035*
Bukkal-Servikal	0,17135270	0,102245953	0,14187075	0,107763413	0,253
Palatal-Apikal	0,10038420	0,120186986	0,06782795	0,071941511	0,461
Palatal-Orta	0,05436775	0,069155279	0,03145435	0,042832970	0,461
Palatal-Servikal	0,00000000	0,000000000	0,00119750	0,003236945	0,289
Mesial-Apikal	0,03636465	0,060273214	0,03305220	0,045378119	0,583
Mesial-Orta	0,11834795	0,107140520	0,06768975	0,107947876	0,040*
Mesial-Servikal	0,13118235	0,147172422	0,04513720	0,060053856	0,015*
Distal-Apikal	0,05750340	0,082829866	0,03309780	0,031012438	0,968
Distal-Orta	0,03126385	0,043018228	0,06859595	0,086002296	0,134
Distal-Servikal	0,01549165	0,033036936	0,02583415	0,050295378	0,883

* P≤0,05

Tablo 7. 20 dk grubunda premolar dişlerin bukkal hareketleri ve rotasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (N=20)

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
Vibrasyon					
Bukkal tüberkül	0,91	6,33	3,31	0,35	1,55
Palatinal tüberkül	1,11	7,12	3,28	0,39	1,73
Rotasyon	1,76	31,42	13,83	2,07	9,24
Kontrol					
Bukkal tüberkül	0,59	6,36	3,70	0,36	1,61
Palatinal tüberkül	0,98	6,70	3,81	0,41	1,82
Rotasyon	2,65	33,61	17,24	2,37	10,59

Tablo 8. 40 dk grubunda premolar dişlerin bukkal hareketleri ve rotasyonlarına ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler (N=20)

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
Vibrasyon					
Bukkal tüberkül	0,01	6,14	2,11	0,32	1,40
Palatinal tüberkül	0,03	6,46	2,02	0,35	1,51
Rotasyon	0,44	20,93	6,88	1,18	5,15
Kontrol					
Bukkal tüberkül	0,60	5,40	2,63	0,31	1,33
Palatinal tüberkül	0,53	5,30	2,52	0,30	1,32
Rotasyon	0,01	6,14	2,11	0,32	1,40

Tablo 9. 20 dk grubunda premolar dişlerin bukkal hareket ve rotasyonlarının grup içi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular (N=20)

	Vibrasyon		Kontrol		P
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
Bukkal tüberkül	3,31	1,55	3,70	1,61	0,279
Palatinal tüberkül	3,28	1,73	3,81	1,82	0,191
Rotasyon	13,83	9,24	17,24	10,59	0,263

Tablo 10. 40 dk grubunda premolar dişlerin bukkal hareket ve rotasyonlarının grup içi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular (N=20)

	Vibrasyon		Kontrol		P
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
Bukkal tüberkül	2,11	1,40	2,63	1,33	0,112
Palatinal tüberkül	2,02	1,51	2,52	1,32	0,117
Rotasyon	6,88	5,15	9,60	6,97	0,243

Tablo 11. Premolar dişlerin bukkal hareketleri ve rotasyonlarının 20 dk ve 40 dk grupları arasında karşılaştırılmasına ilişkin bulgular (N=20).

	20 dk Grubu		40 dk Grubu		P
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
Vibrasyon					
Bukkal tüberkül	3,31	1,55	2,11	1,40	0,007**
Palatinal tüberkül	3,28	1,73	2,02	1,51	0,008**
Rotasyon	13,83	9,24	6,88	5,15	0,004**
Kontrol					
Bukkal tüberkül	3,70	1,61	2,63	1,33	0,044*
Palatinal tüberkül	3,81	1,82	2,52	1,32	0,030*
Rotasyon	17,24	10,59	9,60	6,97	0,024*

* $P \leq 0,05$ ** $P \leq 0,01$

5. TARTIŞMA

5.1. Bireylerin Seçimi, Grupların Oluşturulması

Kök rezorpsiyonunda daha önce benzer çalışmalar yapan araştırmacıların hasta seçiminde belirledikleri kriterler bizim çalışmamızda da referans olarak alındı (Malek ve ark., 2001; Özkalaycı, 2010; Aras ve ark., 2012; Çolak, 2012).

Çalışmamızda bireysel farklılığı en aza indirmek, alt ve üst çene arasındaki kemik yoğunluğuna bağlı değişiklikleri ortadan kaldırmak, kuvvet uygulaması ile oluşan diş hareketi ve bu hareket sonucunda meydana gelen kök rezorpsiyonunu sağlıklı bir şekilde karşılaştırmak amacıyla uygulama bölgesi olarak üst çene seçildi.

Mekanik vibrasyonun etkinliği ile uygulama süresinin etkisinin değerlendirildiği çalışmamıza katılan tüm bireylerin ortodontik tedavileri için üst birinci premolar diş çekimi gerekiyor olması şartı arandı.

Apeksifikasyon tam olarak tamamlanmadığı durumlarda kök rezorpsiyonuna verilen cevaplarda farklılık olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur (Rudolph, 1940; Rosenberg, 1972; Linge ve Linge, 1983; 1991). Bu sebeple üst birinci premolar dişlerin apeksifikasyonun tamamlanmasına dikkat edildi.

Kök rezorpsiyonu ve cinsiyet bağlantısı arasında yapılan araştırmaların bir kısmı bu ikisi arasında bir ilişki olmadığını söylese de (Massler ve Malone, 1954; McFadden ve ark., 1989; Beck ve Harris, 1994; Harris ve ark., 1997; Parker ve Harris, 1998; Sameshima ve Sinclair, 2001a; 2001b; Jiang ve ark., 2010) bazı araştırmacılar (Newman, 1975; Kjær, 1995) kadınların erkeklere göre daha yatkın olduğunu belirtmiştir. Bu sebeple çalışmamızda cinsiyet dağılımı dengeli olacak şekilde bireylerin gruplara dağıtımını rastgele yapıldı.

OOİİKR'nin oluşumunda yaşın etkili bir faktör olduğu bildiren araştırmacılar bulunmakla birlikte (Mirabella ve Artun, 1995; Sameshima ve Sinclair, 2001a) tersini savunan araştırmacılar da mevcuttur (Harris ve Baker, 1990; Hendrix ve ark., 1994; Owman-Moll ve ark., 1995b; Baumrind ve ark., 1996; Harris ve ark., 1997; Owman-Moll ve Kuroi, 1998).

Bizim çalışmamızı oluşturan 40 bireyin kronolojik yaş ortalaması $16,36 \pm 1,4$ yıldır ve kronolojik yaş dağılımı 13-18 yıl arasında değişmektedir. OOİİKR çalışmalarda

kronolojik yaşların benzer dağılım gösterdiği izlenmektedir (Paetyangkul ve ark., 2009; Özkalaycı, 2010; Aras ve ark., 2012; Montenegro 2012; Eross ve ark., 2015).

5.2. Mekanik Vibrasyon Protokolü ve Kuvvet Uygulama Mekanığı

Yapılan araştırmalar mekanik vibrasyon uygulamasının kemiğın yeniden şekillenmesinde ve yapım hızında artış sağladığını göstermiştir (Rubin ve ark., 1992; 2001; 2004; Kopher ve Mao 2003; Omar ve ark., 2008).

Rubin ve ark. (2004), yapmış olduğu çalışmada kemik kaybı görülen postmenopozal kadınlarda düşük büyüklükte mekanik vibrasyonun etkinliğini araştırmıştır. Araştırmaya 70 birey katılmıştır ve bireyler vibrasyon uygulayan düzlemin üzerinde günlük 20 dakika bekletilmiştir. Bir yıllık araştırma sonunda 30 Hz, 0,2 gr'lık mekanik vibrasyonun kemik kaybını azaltmada etkili olduğunu ifade etmiştir. Diğeri bir çalışmasında Rubin ve ark. (2006), 30 Hz, 0,3 gr'lık mekanik vibrasyonun tüm vücut vibrasyon uygulamalarında insanlar için standart olabileceğini belirtmiştir.

Prisby ve ark. (2008), literatür çalışmasında hayvanlarda ve insanlarda mekanik vibrasyonun etkilerini araştırmıştır. Mekanik vibrasyon uygulamasının giderek bilimsel temelinin arttığını fakat güncel optimum titreşim değerinin belirlenemediğini söylemiştir.

Bizim çalışmamızda düşük büyüklükte (50 Hz, 5g'lık) mekanik vibrasyon iki farklı sürede uygulandı. Mekanik vibrasyon uygulama süresi bir grup için günlük 20 dakika, diğeri grup için günlük 40 dakika olarak belirlendi.

Uyguladığımız bu protokol Tan (2011), çalışmasında kullandığı AcceleDent cihazına benzerdir. AcceleDent cihazı günlük 20 dakika 30 Hz, 20 gr'lık mekanik vibrasyon uygulaması önermektedir.

Rezorpsiyon kraterleri ortodontik kuvvet uygulamasından 15 ile 30 gün sonra görülmeye başlar (Stenvik ve Mjör, 1970; Reitan, 1974; Rygh, 1977). Bu sebeple ortodontik kuvvet etkisiyle oluşmuş olan kök rezorpsiyonlarını daha iyi bir şekilde incelenmek için çalışmamızın süresi 8 hafta olarak belirlendi.

Ortodontik kuvvetin etkisiyle kök rezorpsiyonu oluşturmak için kullanılan 0,017×0,025 inç TMA kantilever zemberek kuvvet kaynağı ve 150 gr'lık bukkal kuvvet değeri diğeri araştırmalardan (Özkalaycı, 2010; Grove, 2011; Tan, 20011; Aras ve ark.,

2012) örnek alınmıştır.

5.3. Kök Kraterlerini Belirleme Yöntemi ve Model Analizi

Klinik olarak radyografiler, ortodontik tedavi öncesinde, sırasında veya sonrasında kök kılcalmasını belirlemek için kullanılır. Yüzey rezorpsiyonları şiddetli ve ileri aşamalarda değil ise kök rezorpsiyonları yalnızca radyografilerde kök kılcalması olarak tespit edilebilir (Chan ve Darendeliler, 2004).

Taramalı elektron mikroskopi (SEM) rezorpsiyonların nerelerde yoğunlaştığını gösterse de derinlik belirlemede yetersiz kalmaktadır. SEM ile kök rezorpsiyon kraterleri iki boyutlu fotoğraflar şeklindedir. Bu sebeple SEM görüntülerinde eğimli bir kök yüzeyi düz bir yüzey olarak görülür. Chan ve Darendeliler (2004), bu görüntülerde yapılacak ölçümler hatalı verilerin elde edilmesine yol açtığını bildirmiştir.

Dudic ve ark. (2008), yüksek çözünürlüklü üç boyutlu mikro-BT görüntüleri ortodontik tedavinin istenmeyen yan etkilerinin derecesini tahmin etmek için kriter standart olarak kabul edilmiştir. Biz de çalışmamızda kök yüzeyini üç boyutlu incelemek için x-ışını mikro-BT yöntemini seçtik.

Bu yöntemin dezavantajları hacimsel hesaplama süresinin uzun olması, apekte anatomik kök formunun kaybedildiği bölgelerde rezorpsiyon kraterlerinin belirleniminin güç olmasıdır.

Saleh ve ark. (2015), akrilik, alçı, dijital ve 3 boyutlu baskı modellerde ölçümlerin tekrarlanabilirliği ve doğruluğunu kıyaslamıştır. Dört tip maloklüzyonu tyodonttan (Class I, Class II div1, Class II div 2, Class III) aljinat ölçü almış ve toplamda 24 adet modelde inceleme yapmıştır. Modellerde overjet, overbite, kaninler ve molar dişler arası mesafe, ark genişliği ve uzunluğu ölçülmüş ve bu ölçüm işlemi aynı operatör tarafından 10 kez tekrarlanmıştır. Dijital modellerde ölçümler Ortho Analyzer™ (version 2008-1, 3Shape, Copenhagen, Denmark) yazılımı kullanılmıştır. Tüm modellerde yapılan ölçümler karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Araştırma sonucunda dijital modellerin güvenilir olduğunu belirtmiştir.

Choi ve ark. (2010), 3 boyutlu dijital modellerde palatal yüzey referans alınarak yapılan çakıştırmalarda diş hareket miktarını ölçmüş ve bu yöntemin doğruluğunu araştırmıştır. Araştırma 20 alçı model üzerinde yapılmıştır ve modeller Orapix 3D scanner

(Orapix Co Ltd, Seoul, South Korea) cihazında taranmıştır. Taranmış olan modellerde setup yapılarak dişler rast gele hareket ettirilmiştir ve modeller ikinci kez taranmıştır. Model çakıştırması için palatal bölge seçilmiş ve birinci, ikinci ve üçüncü rugalar kullanılmış, nasopalatin papilla dahil edilmemiştir. Maksiller modellerde palatinal bölge üzerinde yapılan çakıştırma metodu ile diş hareketlerinin 3 boyutlu ölçümünün doğru ve güvenilir olduğunu belirtmiştir.

Çalışmamızda tedavi başı ve 8 haftalık deney süreci sonunda hastalardan alınan alçı modelleri 3Shape R700TM (3Shape A/S, Copenhagen, Denmark) scanner ile taradık. Modelleri Choi ve ark. (2010), belirttiği gibi palatinal bölgede çakıştırma yaparak bukkal diş hareket miktarlarını ve rotasyonlarını değerlendirdik.

5.4. Rezorpsiyon Miktarlarının Grup İçi Karşılaştırılması

Xie ve ark. (2015), uzun dönemli tüm vücut vibrasyon uygulamasının yumurtalıkları alınmış ratlardaki femurun mineral yoğunluğu ve mekanik özelliğine etkisi mikro-BT ve dinamik mekanik analizi kullanarak araştırmışlardır. Toplam 24 ratı üç eşit gruba ayırmışlardır. Birinci gruba yalnızca cerrahi işlem yapılmış yumurtalıkları alınmamış, ikinci gruba cerrahi işlem yapıp yumurtalıkları alınmıştır. Üçüncü gruba da cerrahi işlemle yumurtalıkları alınmış ve ek olarak 16 hafta boyunca günlük 20 dakika 30 Hz, 0,3 gr'lık tüm vücut vibrasyonu uygulanmıştır. Araştırma sonucunda, 16 haftalık tüm vücut vibrasyonunun kemik mineral yoğunluğunda ve femurun mekanik özelliklerinde azaltmaya yol açtığını belirtmişlerdir.

Peelukhana ve ark. (2015), farklı frekans ve sürelerdeki vibrasyonların kemik dokusunda oluşturduğu etkiyi incelemiştir. Araştırmasında toplamda 24 rat kullanmış ve bu ratları üç gruba ayırmıştır. Ratlarda vibrasyonun 1 gün, 5 gün ve 20 günlük etkisine bakmışlardır. 9 adet rata 125 Hz, 49 m/s²'lik vibrasyon, 9 adet rata 250 Hz, 49 m/s²'lik vibrasyon uygulanmış, 6 adet rat kontrol grubu olup mekanik vibrasyon uygulanmamıştır. Günlük vibrasyon uygulanma süresi 4 saattir. Araştırma sonucunda 125 ve 250 Hz'lik vibrasyonun biyokimyasal değişikliklere yol açtığını fakat yalnızca 250 Hz'lik vibrasyonun kortikal kemikte yapısal değişiklik oluşturduğunu belirtmiştir. Trabeküler kemiğin vibrasyon frekanslarından etkilenmediğini buna bağlı olarak kemikte görülen hasarın vibrasyon uygulama alanıyla ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Ek olarak

biyokimyasal zararların vibrasyon uygulama süresinde artmaya bağı olarak artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

40 dk grubunda vibrasyon dişlerinde kontrol dişlerine göre toplam kök rezorpsiyon hacminde istatistiksel olarak anlamlı bir artış meydana gelmiştir. Kökün farklı seviyeleri ve farklı yüzeyleri incelendiğinde 40 dk grubunda vibrasyon uygulanan dişlerde kontrol dişlerine göre kökün tüm seviyelerinde (servikal, orta, apikal) ve bukkal hariç tüm yüzeylerinde (palatal, mesial, distal) rezorpsiyon miktarında artış izlendi. Bu artış istatistiksel olarak önemlilik arz etmese de bu sonuç Xie ve ark. (2015), ve Peelukhana ve ark. (2015), çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir. Vibrasyon sürenin artması kök rezorpsiyonunu azaltılması yönünde bir katkı sağlamamıştır.

Nishimura ve ark. (2008), Wistar ratlarına yaylar yerleştirerek ratların birinci molar dişlerini bukkale doğru hareket ettirirken eş zamanlı olarak günde 8 dakika 60 Hz, 1,0 m/s²'lik vibrasyon uygulamışlardır. 21 gün sonra diş hareketi ve kök rezorpsiyonu miktarına incelemişlerdir. Rezonans vibrasyon uygulamasının PDL içinde RANKL seviyesini artırarak ortodontik diş hareketi hızlandırdığını fakat kök rezorpsiyonuna etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Bizim çalışmamızda da 20 dk grubunda vibrasyon ve kontrol dişleri arasında toplam rezorpsiyon miktarı açısından anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Çalışmamızda 20 dk grubunda vibrasyon uygulanan dişlerde kökün servikal seviyesinde artış görülürken orta ve apikal seviyelerinde rezorpsiyon miktarında azalma görüldü. Bu değişiklikler istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. Benzer şekilde bukkal ve mesial yüzeylerde kök rezorpsiyonu miktarında artış görülürken palatal ve distal yüzeylerde azalma izlendi. Fakat sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı. Bu durum Nishimura ve ark. (2008), yaptığı çalışmanın sonuçları ile benzerdir. Mekanik vibrasyon, ortodontik diş hareketinin meydana getirdiği kök rezorpsiyonunun engellenmesinde bir katkı sağlamamıştır.

Çalışmamızda 20 dk ve 40 dk gruplarında vibrasyon uygulanan dişlerde kontrol dişlerine göre daha toplam kök rezorpsiyonu izlenmesi, mekanik vibrasyonunun kök rezorpsiyonunu önlemede olumlu bir katkı sağlamadığı şeklinde açıklanabileceği gibi bireysel farklılıkların etkisi ile de açıklanabilir.

Owman-Moll ve ark. (1996), 14 erkek 18 kadın hastanın maksiller birinci premolar dişlerinde iki farklı ortodontik kuvvet uygulamışlardır. Ortodontik kuvvetin etkisiyle oluşan kök rezorpsiyonunu ve diş hareket miktarını araştırmışlardır. 7 hafta sonra kök rezorpsiyonları histolojik olarak incelenmiş ve 50 gr kuvvetin 100 gr kuvvetten daha fazla rezorpsiyon oluşturduğunu bulunmuştur. Hem diş hareket hızında hem de kök rezorpsiyonu miktarında bireysel farklılıkların büyük rol oynadığını belirtmişlerdir.

Diğer bir çalışmada Owman-Moll ve ark. (1995b), 15 erkek 17 kadın toplam 32 hastanın maksiller sağ ve sol birinci premolarına 50 gr'lık ortodontik kuvvet uygulamış ve meydana gelen kök rezorpsiyonunun tamirini histolojik olarak incelemiştir. Kökün servikal, orta ve apikal seviyelerinde iyileşme potansiyeli açısından farklılık bulmazken iyileşme açısından bireysel farklılığın önemli olduğunu vurgulamıştır.

Literatürde OOİKR tamir mekanizmasında ve diş hareket miktarlarında bireysel farklılıkların etkili olduğu ve bunların sonuçları etkileyebileceğini belirten çalışmalar çokça mevcuttur (Henry ve Weinmann, 1951; Massler ve Malone, 1954; Linge ve Linge, 1983; Owman-Moll ve ark., 1995a; Alexander, 1996; Hartsfield ve ark., 2004; Segal ve ark., 2004).

5.5. Rezorpsiyon Miktarlarının Gruplar Arası Karşılaştırılması

Vibrasyonun etkinliği dokunun özelliğine ve uygulanan vibrasyon protokolüne göre değişkenlik gösterir. Örneğin; Bovenzi ve ark. (2006), günlük 5 dakika 31,5 Hz ve 125 Hz'lik mekanik vibrasyonların parmaklardaki kan akımını azalttığını belirtirken, Lohman ve ark. (2007), yapmış olduğu çalışmada 30 Hz'lik günlük 10 dakikalık vibrasyon alt ekstremitelerde kan akışını hızlandırdığını belirtmiştir.

Grove (2011), yapmış olduğu çalışmada, 113 Hz'lik mekanik vibrasyon uygulamasının ortodontik kuvvet uygulaması ile oluşan kök rezorpsiyonuna etkisini incelemiştir. Araştırmada 14 bireyin 28 adet birinci premolar dişi kullanılmıştır. Günlük 10 dakikalık kullanım ile 4 haftalık süreç sonunda bireylerin birinci premolarını SkyScan-1172 x-ışını mikro-tomografi cihazı kullanılarak incelemiştir. Sonuç olarak mekanik vibrasyonun kök rezorpsiyonunu azaltmada ve önlemede yararlı olduğunu bildirmiştir.

Tan (2011), ortodontik kuvvet uygulaması ile oluşan diş hareketi ve kök rezorpsiyonu üzerine mekanik vibrasyonun etkisini araştırmıştır. 15 birey 30 Hz, 20 gr'lık

bir titreşim değerine sahip AcceleDent cihazını günlük 20 dakika süresince 4 hafta boyunca kullanmıştır. Kök rezorpsiyon kraterlerini analizinde bizimde çalışmamızda kullandığımız SkyScan-1172 x-ışını mikro-tomografi cihazını kullanmıştır. AcceleDent cihazını kullanan bireylerde kök rezorpsiyonu miktarında artış veya azalma arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulamamıştır.

Çalışmamızda vibrasyon uygulanan dişlerde görülen toplam kök rezorpsiyon miktarı istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen 20 dk grubunda 40 dk grubuna göre daha fazladır. Kontrol grubu dişler karşılaştırıldığında toplam kök rezorpsiyonu miktarı 20 dk grubunda 40 dk grubuna istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla bulundu ($P<0,005$).

20 dk grubunda hem vibrasyon hem de kontrol dişlerinde görülen toplam kök rezorpsiyon miktarındaki artışın 20 dakika grubu bireylerinin kök rezorpsiyonuna yatkınlığı daha fazla olmasından (Massler ve Malone, 1954; Linge ve Linge, 1983; Owman-Moll ve ark., 1995a; 1996; Alexander, 1996; Hartsfield ve ark., 2004; Segal ve ark., 2004) veya bu dişlerin 40 dk grubuna göre istatistiksel olarak daha fazla hareket etmiş olmasından kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz.

Kökün farklı seviyeleri ve farklı yüzeyleri incelendiğinde vibrasyon uygulanan dişler arasında 20 dk grubunda servikal seviyede, bukkal yüzeyde istatistiksel olarak anlamlı artış mevcuttur ($P<0,05$). Yine 20 dk grubunda istatistiksel olarak bukkal-servikal bölgede artış görülürken distal-orta bölgede kök rezorpsiyonunda azalma gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar diş hareket miktarı ve uygulanan kuvvetin yönüne bağlı olarak kuvvetin servikal bölgede yoğunlaşması ile oluşmuş olabilir. Fakat en büyük etkinin bireysel farklılıkların oluşturduğunu düşünmekteyiz.

Kontrol grubu dişler karşılaştırıldığında 20 dk grubunda mesial yüzey ile bukkal-orta, mesial-orta ve mesial-servikal bölgelerde istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulunmuştur ($P<0,05$). 20 dk grubunun kontrol dişlerinde görülen bu artışın nedeni bukkal hareket ve rotasyon miktarının 40 dk grubuna göre daha fazla olmasından kaynaklanabilir. 20 dk grubunun neden daha fazla hareket yaptığı ise bireysel farklılıkların etkisini açıklanabilir.

5.6. Üst Birinci Premolar Dişlerde Meydana Gelen Diş Hareketi ve Rotasyonun Karşılaştırılması

Kalajzic ve ark. (2014), dışarıdan uygulanan vibrasyonun diş hareketi, PDL ve kemiğin yeniden şekillenmesine etkisini araştırmışlardır. Günlük 10 dakika 30 Hz, 0,4 N vibrasyon uygulamasının ratlardaki diş hareket hızını önemli derecede azalttığını bildirmişlerdir.

Yadav ve ark. (2015a), düşük frekanslardaki mekanik vibrasyonların ortodontik diş hareketi ve PDL bütünlüğüne etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarında deney grubunda kullanılan farelerin maksiller birinci molar dişlerine 3 gün arayla 14 gün boyunca 5 Hz, 10Hz, 20 Hz'lik düşük büyüklükte mekanik vibrasyon uygulamışlardır. Düşük frekanslardaki mekanik vibrasyon uygulamasının ortodontik diş hareket hızını artırmadığını ve PDL bütünlüğüne zararlı bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Miles ve ark. (2012), ortodonti hastalarında diş hareket hızında ve bu bireylerde görülen tedavi başı rahatsızlıklarını gidermede mekanik vibrasyon cihazının etkisini araştırmıştır. Sabit ortodontik tedavisinde çekim gerektirmeyen 66 hasta çalışmaya dahil edilmiştir. 10 haftalık deney süresince hastalara 111 Hz, 0,06 N'luk mekanik titreşim oluşturan vibrasyon aпараты (Tooth Masseur) verilmiş ve hastalardan bu cihazı günlük 20 dakika boyunca uygulanması gerektiği açıklanmıştır. Tüm hastalara bonding aşamasından sonra vibrasyon cihazı teslim edilmiştir. Hastaların alt çenesinden tedavi başlangıcında, tedavi başından 5, 8 ve 10 hafta sonra aljinat ölçü alınmış ve bu ölçülerden elde edilen alçı modellerde ölçüm yapılmıştır. Araştırmacılar günlük 20 dakika mekanik vibrasyon cihazı kullanımının ağrıyı engellemede ve çapraşıklığı erken çözmeye etkili olmadığını belirtmişlerdir.

Woodhouse ve ark. (2015), sabit ortodontik aparaylere ilave olarak kullanılan mekanik vibrasyonun diş çapraşıklığını düzelmedeki etkisini araştırmışlardır. Tedavisinde premolar çekimi gerektiren 81 bireyin oluşturduğu (40 erkek 41 kadın) çalışma grubu üçe ayrılmıştır. Birinci gruptaki hastalara sabit tedavi ile birlikte mekanik vibrasyon uygulaması için AcceleDent cihazı (günlük 20 dakikalık) verilmiştir. İkinci gruptaki hastalara sabit tedaviye ek olarak işlevsiz AcceleDent cihazı verilmiş. Üçüncü gruptaki hastalar yalnızca sabit ortodontik tedavi görmüşlerdir. Çalışma gruplarındaki

hastaların tedavi öncesi premolar dişleri çekilmiş ve hastalar 6 haftalık klinik kontrollere çağırılmıştır. Çapraşıklık çözülme hızı tedavi başında alınan alçı model ile 0,018 inç Ni-Ti ark teline geçirirken alınan alçı model kıyaslanarak ölçülmüştür. Araştırma sonunda sabit ortodontik apareylere AcceleDent cihazı ile yapılan ek vibrasyon desteğinin başlangıçtaki diş çapraşıklığını düzeltmede etkili olmadığını bildirmiştir.

Çalışmamızda vibrasyon uygulanan dişler ile kontrol grubu dişler karşılaştırıldığında 20 dk grubunda bukkal hareket ve rotasyon miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamadı ($P>0,05$). Benzer sonuçlar 40 dk grubundaki vibrasyon ve kontrol dişleri arasında da görüldü. Bu sonuçlar diğer araştırmalar ile benzerlik göstermektedir (Miles ve ark., 2012; Woodhouse ve ark., 2015; Yadav ve ark., 2015a).

Pilon ve ark. (1996), 25 yetişkin deney köpeğinde farklı ortodontik kuvvetlerin paralel diş hareketine etkisine bakmışlardır. Araştırmalarında köpeklerin alt üçüncü premolar dişlerini çekmişler ve 6 hafta sonra alt ikinci premolar dişler paralel hareket yaptıracak ortodontik apareyler yerleştirilerek 50, 100, 200 gr'lık elastikler ile kuvvet uygulamaya başlamışlardır. Araştırma 16 hafta sürmüş ve haftada iki kez diş hareket miktarı dijital kumpas ile ölçülmüştür. Her bir köpeğin sağ ve sol premolar dişlerine farklı büyüklükte kuvvet uygulanmıştır. Araştırma sonucunda 50, 100, 200 gr'lık kuvvet grupları arasında ortalama diş hareketi miktarı değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Araştırmacılar diş hareket oranlarında bireysel farklılığın etkisinin belirleyici olduğunu vurgulamışlardır.

Lundgren ve ark. (1996), yapmış oldukları çalışmada sürekli ortodontik kuvvet uygulamasıyla oluşan diş hareket modelini araştırmışlardır. Yaş ortalaması 13,8 olan 56 hastanın maksiller sağ ve sol birinci ve ikinci premolar dişlerine sabit ortodontik apareyler ile bukkal yönlü 50 gr'lık kuvvet uygulanmıştır. 50 gr'lık bukkal kuvvet haftada bir kez aktive edilmiş ve deney süresi 7 hafta sürmüştür. Dişlerde görülen yer değişikliği tedavi başı ile 7 haftalık çalışma süreci sonunda alınan dental modellerdeki ölçümler karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Kuvvet uygulanan tüm dişler hem vertikal hem de horizontal yönde hareket etmişlerdir. Diş hareket miktarında ve dişlerde görülen rotasyon dereceleri arasında bireysel farklılığın etkin olduğunu belirtmişlerdir.

Vibrasyon uygulanan dişler karşılaştırıldığında 20 dk grubunda 40 dk grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla diş ve rotasyon hareketi izlenmiştir ($P<0,01$). Benzer şeklide 20 dk ve 40 dk grupları kontrol dişleri karşılaştırıldığında 20 dk grubunda istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla diş ve rotasyon hareketi bulunmuştur ($P<0,05$). Elde ettiğimiz bu sonuçlar diğer çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Lundgren ve ark.,1996; Pilon ve ark.,1996). Diş hareket miktarında bireysel farklılığın önemli bir etken olduğunu söyleyebiliriz.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ortodontik kuvvet uygulamasıyla maksiller birinci premolar dişlerde meydana gelen kök rezorpsiyonu ve diş hareketi üzerine iki farklı sürede uygulanan mekanik vibrasyonun etkisini değerlendirdiğimiz çalışmamızda şu sonuçlar elde edildi.

1. Her iki grupta da vibrasyon uygulanan dişlerde daha fazla kök rezorpsiyonu izlendi ve bu fark 40 dk grubunda istatistiksel olarak önemli bulundu. Bu bulgu, ortodontik olarak indüklenmiş iltihabi kök rezorpsiyonunun engellenmesinde mekanik vibrasyonun pozitif katkısı olmadığını gösterdi.

2. 20 dk ve 40 dk grupları arasında vibrasyon uygulanan dişlerde ölçülen toplam kök rezorpsiyonu miktarının gruplar arasında karşılaştırılmasında önemli farklar izlenmedi. Bu bulgu, mekanik vibrasyon uygulanma süresinin artırılmasının kök rezorpsiyonu üzerine her hangi bir etkisi olmadığını gösterdi.

3. Çalışmamızda 20 dk ve 40 dk gruplarında vibrasyon uygulanan dişlerde kontrol dişlerine göre daha fazla toplam kök rezorpsiyonu izlenmesi, mekanik vibrasyonun kök rezorpsiyonunu önlemede olumlu bir katkı sağlamadığı şeklinde açıklanabileceği gibi bireysel farklılıkların kök rezorpsiyonu üzerindeki etkisi göz ardı edilmemelidir.

4. 20 dk grubundaki vibrasyon ve kontrol dişlerinin, 40 dk grubundaki vibrasyon ve kontrol dişlerine göre daha fazla diş hareketi ve rotasyon yaptığı bulundu. Mekanik vibrasyon süresinin artırılması diş hareket miktarı üzerinde etki göstermedi.

5. Ancak, bu çalışmada diş hareketi olarak bir zembereğin etkisi ile meydana gelen bukkal devrilme hareketinin değerlendirildiği unutulmamalıdır. Mekanik vibrasyon ve diş hareketi arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için diş hareketinin kontrol edilebildiği çalışmalara ihtiyaç vardır.

6. Çalışmamızda 20 dk grubunda vibrasyon uygulanan ve kontrol dişlerinde daha fazla diş hareketi izlenmesi, mekanik vibrasyon süresinin artırılmasının diş hareket miktarı üzerine etkisi olmadığı şeklinde açıklanabileceği gibi bireysel farklılıkların diş hareket miktarına etkisi de dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acar A, Canyürek U, Kocaaga M, Erverdi N. Continuous vs. discontinuous force application and root resorption. *Angle Orthod.* 1999;69(2):159-163.
- Adachi H, Igarashi K, Mitani H, Shinoda H. Effects of topical administration of a bisphosphonate (risedronate) on orthodontic tooth movements in rats. *J Dent Res.* 1994;73(8):1478-1486.
- Al-Qawasmi RA, Hartsfield JKJ, Everett ET, Flury L, Liu L, Foroud TM, Roberts WE. Genetic predisposition to external apical root resorption in orthodontic patients: linkage of chromosome-18 marker. *J Dent Res.* 2003;82(5):356-360.
- Alexander SA. Levels of root resorption associated with continuous arch and sectional arch mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110(3):321-324.
- Aras B, Cheng LL, Turk T, Elekdag-Turk S, Jones AS, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: part 23. Effects of 2 or 3 weekly reactivated continuous or intermittent orthodontic forces on root resorption and tooth movement: a microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141(2):29-37.
- Ashcraft MB, Southard KA, Tolley EA. The effect of corticosteroid-induced osteoporosis on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102(4):310-319.
- Barbagallo LJ, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(2):218-227.
- Barber AF, Sims MR. Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: A scanning electron microscope study. *Am J Orthod.* 1981;79(6):630-652.
- Bates S. Absorption. *British Journal of Dental Science* 1856;1:256
- Baumrind S, Korn EL, Boyd RL. Apical root resorption in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110(3):311-320.
- Beck BW, Harris EF. Apical root resorption in orthodontically treated subjects: Analysis of edgewise and light wire mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;105(4):350-361.
- Becks H, Marshall JA. Resorption or absorption? *J Am Dent Assoc.* 1932;19(9):1528-1537.

- Becks H. Orthodontic prognosis: Evaluation of routine dentomedical examinations to determine “good and poor risks.” *Am J Orthod Oral Surg.* 1939;25(7):610–624.
- Bosshardt D, Selvig K. Dental cementum: the dynamic tissue covering of the root. *Periodontol 2000.* 1997;13:41–75.
- Bosshardt DD, Schroeder HE. Cementogenesis reviewed: a comparison between human premolars and rodent molars. *Anat Rec.* 1996;245(2):267–92.
- Bovenzi M, Welsh AJ, Della Vedova A, Griffin MJ. Acute effects of force and vibration on finger blood flow. *Occup Environ Med.* 2006;63(2):84–91.
- Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: The basic science aspects. *Angle Orthod.* 2002a;72(2):175–179.
- Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part II: The clinical aspects. *Angle Orthod.* 2002b;72(2):180–184.
- Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993a;103(1):62–66.
- Brezniak N, Wasserstein, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993b;103(2):138–146.
- Brin I, Tulloch JFC, Koroluk L, Philips C. External apical root resorption in Class II malocclusion: a retrospective review of 1- versus 2-phase treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124(2):151–156.
- Brudvik P, Rygh P. Root resorption beneath the main hyalinized zone. *Eur J Orthod.* 1994;16(4):249–263.
- Brudvik P, Rygh P. The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament. *Eur J Orthod.* 1993;15(4):249–263.
- Brudvik P, Rygh P. The repair of orthodontic root resorption: an ultrastructural study. *Eur J Orthod.* 1995;17(3):189–198.
- Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *Br J Sports Med.* 2005;39(9):585–589.
- Chan EKM, Darendeliler MA. Exploring the third dimension in root resorption. *Orthod Craniofac Res.* 2004;7(2): 64–70.
- Cheng LL, Türk T, Elekdağ-Türk S, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 13. Repair of root resorption 4 and 8 weeks after the application of continuous light and heavy forces for 4 weeks: A

- microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(3):320.e1–320.e10.
- Cho MI, Garant PR. Development and general structure of the periodontium. *Periodontol* 2000. 2000;24:9–27.
- Choi DS, Jeong YM, Jang I, Jost-Brinkmann PG, Cha BK. Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models. *Angle Orthod.* 2010;80(4):497-503.
- Çolak C. Hızlı ve yavaş üst çene genişletmesinde destek dişlerdeki kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesi: Mikro-BT çalışması. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Doktora Tezi, 2012;1-156.*
- Darendeliler MA, Kharbanda OP, Chan EKM, Srivicharnkul P, Rex T, Swain MV, Petocz P. (2004). Root resorption and its association with alterations in physical properties, mineral contents and resorption craters in human premolars following application of light and heavy controlled orthodontic forces. *Orthod Craniofac Res.* 2004;7(2):79–97.
- Darendeliler MA, Zea A, Shen G, Zoellner H. Effects of pulsed electromagnetic field vibration on tooth movement induced by magnetic and mechanical forces: a preliminary study. *Aust Dent J.* 2007;52(4):282–287.
- Davidovitch Z, Krishnan V. Role of basic biological sciences in clinical orthodontics: A case series. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(2):222–231.
- Dougherty HL. The effect of mechanical forces upon the mandibular buccal segments during orthodontic treatment. *Am J Orthod.* 1968;54(1):29–49.
- Dudic A, Giannopoulou C, Martinez M, Montet X, Kiliaridis S. Diagnostic accuracy of digitized periapical radiographs validated against micro-computed tomography scanning in evaluating orthodontically induced apical root resorption. *Eur J Oral Sci.* 2008;116(5):467–472.
- Eliades G, Watts DC, Eliades T. *Dental Hard Tissues and Bonding: Interfacial Phenomena and Related Properties.* First Ed., Heidelberg, Springer Science, 2005.
- Eross E, Turk T, Elekdag-Turk S, Cakmak F, Jones AS, Végh A, Papadopoulou AK, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 25. Extent of root resorption after the application of light and heavy buccopalatal jiggling forces for 12 weeks: A microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147(6):738-746.
- Fritz U, Diedrich P, Wiechmann D. Apical root resorption after lingual orthodontic therapy. *J Orofac Orthop.* 2003;64(6):434–442.

- Frost HM. Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *Angle Orthod.* 1994;64(3):175-188.
- Gilsanz V, Wren TAL, Sanchez M, Dorey F, Judex S, Rubin C. (2006). Low-Level, High-Frequency Mechanical Signals Enhance Musculoskeletal Development of Young Women With Low BMD. *J Bone Miner Res.* 2006;21(9):1464–1474.
- Grove JLE. (2011). The Effect Of Mechanical Vibration (113 Hz Applied to Maxillary First Premolars) On Root Resorption Associated With Orthodontic Force: A Micro-CT Study. Sydney Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Sydney, Doktora Tezi, 2011;1-143.
- Hamilton RS, Gutmann JL. Endodontic-orthodontic relationships: a review of integrated treatment planning challenges. *Int Endod J.* 1999;32(5):343-60.
- Hammarström L. Enamel matrix, cementum development and regeneration. *J Clin Periodontol*, 1997;24(9 Pt 2):658–668.
- Harris DA, Jones AS, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 8. Volumetric analysis of root resorption craters after application of controlled intrusive light and heavy orthodontic forces: A microcomputed tomography scan study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130(5):639–647.
- Harris EF, Baker WC. Loss of root length and crestal bone height before and during treatment in adolescent and adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990;98(5):463-469.
- Harris EF, Butler ML. Patterns of incisor root resorption before and after orthodontic correction in cases with anterior open bites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;101(2):112–119.
- Harris EF, Kineret SE, Tolley EA. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;111(3):301–309.
- Harris EF. Root resorption during orthodontic therapy. *Semin Orthod.* 2000;6(3):183-194.
- Harry MR, Sims MR. Root resorption in bicuspid intrusion. A scanning electron microscope study. *Angle Orthod.* 1982;52(3):235–258.
- Hartsfield JK Jr, Everett ET, Al-Qawasmi RA. Genetic factors in external apical root resorption and orthodontic treatment. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(2):115-122.

- Hendrix I, Carels C, Kuijpers-Jagtman AM, Van 'T Hof M. A radiographic study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;105(4), 345–349.
- Henry JL, Weinmann JP. The Pattern of Resorption and Repair of Human Cementum. *J Am Dent Assoc.* 1951;42(3):270–290.
- Hines FB Jr. A radiographic evaluation of the response of previously avulsed teeth and partially avulsed teeth to orthodontic movement. *Am J Orthod.* 1979;75(1):1–19.
- Horiuchi A, Hotokezaka H, Kobayashi K. Correlation between cortical plate proximity and apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;114(3):311–318.
- Ioannidou-Marathiotou I, Zafeiriadis AA, Papadopoulos MA. Root resorption of endodontically treated teeth following orthodontic treatment: a meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2013;17(7):1733-1744.
- Jiang RP, McDonald JP, Fu MK. Root resorption before and after orthodontic treatment: a clinical study of contributory factors. *Eur J Orthod.* 2010;32(6):693-697.
- Judex S, Lei X, Han D, Rubin C. Low-magnitude mechanical signals that stimulate bone formation in the ovariectomized rat are dependent on the applied frequency but not on the strain magnitude. *J Biomech.* 2007;40(6):1333-1339.
- Kaljajic Z, Peluso EB, Utreja A, Dymant N, Nihara J, Xu M, Chen J, Uribe F, Wadhwa S. Effect of cyclical forces on the periodontal ligament and alveolar bone remodeling during orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 2014;84(2):297-303.
- Kameyama Y, Nakane S, Maeda H, Fujita K, Takesue M, Sato E. Inhibitory effect of aspirin on root resorption induced by mechanical injury of the soft periodontal tissues in rats. *J Periodontal Res.* 1994;29(2):113–117.
- Ketcham AH. A preliminary report of an investigation of apical root resorption of permanent teeth. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr.* 1927;13(2):97–127.
- Ketcham AH. A progress report of an investigation of apical root resorption of vital permanent teeth. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr.* 1929;15(4):310-328.
- Killiany DM. Root resorption caused by orthodontic treatment: An evidence-based review of literature. *Semin Orthod,* 1999;5(2):128–133.
- Kjær I. Morphological characteristics of dentitions developing excessive root resorption during orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 1995;17(1):25–34.

- Kook YA., Park S, Sameshima GT. Peg-shaped and small lateral incisors not at higher risk for root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2003;123(3):253–258.
- Kopher RA, Mao JJ. Suture growth modulated by the oscillatory component of micromechanical strain. *J Bone Miner Res*. 2003;18(3):521–528.
- Kuperstein R. External apical root resorption of the maxillary central incisor in anterior open bite malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005;127(3):393–394.
- Kurol J, Owman-Moll P, Lundgren D. Time-related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 1996;110(3):303–310.
- Leach HA, Ireland AJ, Whaites EJ. Radiology: Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. *Br Dent J*. 2001;190(1):6–22.
- Lee RY, Artun J, Alonzo TA. Are dental anomalies risk factors for apical root resorption in orthodontic patients? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1999;116(2):187–195.
- Leethanakul C, Suamphan S, Jitpukdeebodintra S, Thongudomporn U, Charoemratrote C. Vibratory stimulation increases interleukin-1 beta secretion during orthodontic tooth movement. *Angle Orthod*. 2015;00(0):1-7.
- Levander E, Malmgren O, Eliasson S. Evaluation of root resorption in relation to two orthodontic treatment regimes. A clinical experimental study. 1994;16(3):223-228.
- Levander E, Malmgren O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: A study of upper incisors. *Eur J Orthod*, 1988;10(1):30–38.
- Li M, Wu W, Tan L, Mu D, Zhu D, Wang J, Zhao B. Low-magnitude mechanical vibration regulates expression of osteogenic proteins in ovariectomized rats. *Biochem Biophys Res Commun*. 2015;465(3):344-348.
- Linge BO, Linge L. Apical root resorption in upper anterior teeth. *Eur J Orthod*. 1983;5(3):173–183.
- Linge L, Linge BO. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1991;99(1):35–43.
- Liu L, Igarashi K, Haruyama N, Saeki S, Shinoda H, Mitani H. Effects of local administration of clodronate on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *Eur J Orthod*. 2004;26(5):469–473.

- Lobre WD, Callegari BJ, Gardner G, Marsh CM, Bush AC, Dunn WJ. Pain control in orthodontics using a micropulse vibration device: A randomized clinical trial. *Angle Orthod.* 2015;00(0):1-6.
- Lohman EB, Petrofsky JS, Maloney-Hinds C, Betts-Schwab H, Thorpe D. The effect of whole body vibration on lower extremity skin blood flow in normal subjects. *Med Sci Monit.* 2007;13(2):71-76.
- Lundgren D, Owman-Moll P, Kurol J. Early tooth movement pattern after application of a controlled continuous orthodontic force. A human experimental model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110(3):287-294.
- Lupi JE, Handelman CS, Sadowsky C. Prevalence and severity of apical root resorption and alveolar bone loss in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;109(1):28–37.
- Malek S, Darendeliler MA, Swain MV. Physical properties of root cementum: Part I. A new method for 3-dimensional evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;120(2):198-208.
- Malmgren O, Goldson L, Hill C, Orwin A, Petrini L, Lundberg M. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *American Journal of Orthodontics.* 1982;82(6):487–491.
- Massler M, Malone AJ. Root resorption in human permanent teeth: A roentgenographic study. 1954;40(8):619-633.
- Mavragani M, Apisariyakul J, Brudvik P, Selvig KA. (2006). Is mild dental invagination a risk factor for apical root resorption in orthodontic patients? *Eur J Orthod.* 2006;28(4):307–312.
- Mavragani M, Vergari A, Selliseth NJ, Boe OE, Wisth PL. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with a standard edgewise and a straight-wire edgewise technique. *Eur J Orthod.* 2000;22(6):665–674.
- McFadden WM, Engstrom C, Engstrom H, Anholm JM. A study of the relationship between incisor intrusion and root shortening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96(5):390-396.
- McNab S, Battistutta D, Taverne A, Symons AL. External apical root resorption of posterior teeth in asthmatics after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;116(5):545–551.
- McNab S, Battistutta D, Taverne A, Symons AL. External Apical Root Resorption Following Orthodontic Treatment. *Angle Orthod.* 2000;70(3):227–232.

- Miles P, Smith H, Weyant R, Rinchuse DJ. The effects of a vibrational appliance on tooth movement and patient discomfort: a prospective randomised clinical trial. *Aust Orthod J*. 2012 Nov;28(2):213-218.
- Mirabella AD, Artun J. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995;108(1):48–55.
- Montenegro VC, Jones A, Petocz P, Gonzales C, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 22. Root resorption after the application of light and heavy extrusive orthodontic forces: a microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012;141(1):1-9.
- Nanci A. *Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function*. 8th Ed., St. Louis, Missouri, USA, Elsevier Health Sciences, 2014.
- Newman MG, Takei H, Klokkevold PR, Carranza FA. *Carranza's Clinical Periodontology*. 9th Ed., Saunders New York, USA, W.B. Saunders Company, 2002.
- Newman WG. Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod*. 1975;67(5):522–539.
- Nishimura M, Chiba M, Ohashi T, Sato M, Shimizu Y, Igarashi K, Mitani H. Periodontal tissue activation by vibration: Intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;133(4):572–583.
- Nishioka M, Ioi H, Nakata S, Nakasima A, Counts A. Root Resorption and Immune System Factors in the Japanese. *Angle Orthod*, 2006;76(1):103–108.
- Omar H, Shen G, Jones AS, Zoellner H, Petocz P, Darendeliler MA. Effect of low magnitude and high frequency mechanical stimuli on defects healing in cranial bones. *J Oral Maxillofac Surg*. 2008;66(6):1104-1111.
- Ong CK, Walsh LJ, Harbrow D, Taverne AA, Symons AL. Orthodontic tooth movement in the prednisolone-treated rat. *Angle Orthod*, 2000;70(2):118–125.
- Oppenheim A. Human tissue response to orthodontic intervention of short and long duration. *Am J Orthod Oral Surg*. 1942;28(5):263–301.
- Ottolengui R. The physiological and pathological resorption of tooth roots. *Items Interest*. 1914;36:355–362.
- Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Continuous versus interrupted continuous orthodontic force related to early tooth movement and root resorption. *Angle Orthod*. 1995a;65(6):395-401.

- Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Effects of a doubled orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An inter-individual study in adolescents. *Eur J Orthod.* 1996;18(2):141-150.
- Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Repair of orthodontically induced root resorption in adolescents. *Angle Orthod.* 1995b;65(6):403-410.
- Owman-Moll P, Kurol J. Root resorption after orthodontic treatment in high- and low-risk patients: analysis of allergy as a possible predisposing factor. *Eur J Orthod.* 2000;22(6):657-663.
- Owman-Moll P, Kurol J. The early reparative process of orthodontically induced root resorption in adolescents - location and type of tissue. *Eur J Orthod.* 1998;20(6):727-732.
- Oyama K, Motoyoshi M, Hirabayashi M, Hosoi K, Shimizu N. Effects of root morphology on stress distribution at the root apex. *Eur J Orthod.* 2007;29(2):113-117.
- Özkalaycı N. Ortodontik kök rezorpsiyonunda sürekli ve kesik kontrollü ortodontik kuvvetlerin etkilerinin incelenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Doktora Tezi, 2010;1-91.
- Paetyangkul A, Türk T, Elekdağ-Türk S, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: part 14. The amount of root resorption after force application for 12 weeks on maxillary and mandibular premolars: a microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(4):492.e1-9.
- Pandis N, Nasika M, Polychronopoulou A, Eliades T. External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134(5):646-651.
- Parker RJ, Harris EF. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;114(6):677-683.
- Peelukhana SV, Goenka S, Kim B, Kim J, Bhattacharya A, Stringer KF, Banerjee RK. Effect of higher frequency components and duration of vibration on bone tissue alterations in the rat-tail model. *Ind Health.* 2015;53(3):245-259.
- Pilon JJ, Kuijpers-Jagtman AM, Maltha JC. Magnitude of orthodontic forces and rate of bodily tooth movement. An experimental study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996;110(1):16-23.
- Poumpros E, Loberg E, Engstrom C. Thyroid function and root resorption. *Angle Orthod.* 1994;64(5):389-393.

- Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, Belli A, Vico L. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: What we know and what we need to know. *Ageing Res Rev.* 2008;7(4):319–329.
- Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. *Contemporary Orthodontics*. 5th Ed., St. Louis, Missouri, USA, Elsevier Health Sciences, 2014.
- Rauch F. Vibration therapy. *Dev Med Child Neurol.* 2009;51 Suppl 4:166–168.
- Reitan K. Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthod.* 1974;44(1):68–82.
- Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. The rat as a model for orthodontic tooth movement—a critical review and a proposed solution. *Eur J Orthod.* 2004;26(5):483–490.
- Rosenberg MN. An evaluation of the incidence and amount of apical root resorption and dilaceration occurring in orthodontically treated teeth having incompletely formed roots at the beginning of Begg treatment. 1972;61(5):524–525.
- Rubin C, Judex S, Qin YX. Low-level mechanical signals and their potential as a non-pharmacological intervention for osteoporosis. *Age Ageing.* 2006;35:32–36.
- Rubin C, Recker R, Cullen D, Ryaby J, McCabe J, McLeod K. Prevention of postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: a clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *J Bone Miner Res.* 2004;19(3):343–351.
- Rubin C, Turner AS, Bain S, Mallinckrodt C, McLeod K. Anabolism. Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature.* 2001;412(6847):603–604.
- Rubin C, Turner AS, Mallinckrodt C, Jerome C, McLeod K, Bain S. Mechanical strain, induced noninvasively in the high-frequency domain, is anabolic to cancellous bone, but not cortical bone. *Bone.* 2002;30(3):445–452.
- Rubin CT, Bain SD, McLeod KJ. Suppression of the osteogenic response in the aging skeleton. *Calcif Tissue Int.* 1992;50(4):306–313.
- Rudolph CE. An Evaluation of Root Resorption Occurring During Orthodontic Treatment. *J Dent Res.* 1940;19(4):367–371.
- Rygh P. Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. *Angle Orthod.* 1977;47(1):1–16.

- Saleh WK, Ariffin E, Sherriff M, Bister D. Accuracy and reproducibility of linear measurements of resin, plaster, digital and printed study-models. *J Orthod.* 2015;0:1-6.
- Sameshima GT, Asgarifar KO. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. *Angle Orthod.* 2001;71(3):185–189.
- Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001a;119(5):505–510.
- Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001b;119(5):511–515.
- Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr.* 1932;18(4):331–352.
- Segal GR, Schiffman PH, Tuncay OC. Meta analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption. *Orthod Craniofac Res.* 2004;7(2):71–78.
- Seifi M, Eslami B, Saffar AS. The effect of prostaglandin E2 and calcium gluconate on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *Eur J Orthod.* 2003;25(2):199–204.
- Sekhavat AR, Mousavizadeh K, Pakshir HR, Aslani FS. Effect of misoprostol, a prostaglandin E1 analog, on orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;122(5), 542–547.
- Seo YJ, Lim BS, Park YG, Yang IH, Ahn SJ, Kim TW, Baek SH. Effect of self-ligating bracket type and vibration on frictional force and stick-slip phenomenon in diverse tooth displacement conditions: an in vitro mechanical analysis. *Eur J Orthod.* 2015;37(5):474-480.
- Sharpe W, Reed B, Subtelny JD, Polson A. Orthodontic relapse, apical root resorption, and crestal alveolar bone levels. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987;91(3):252–258.
- Spurrier SW, Hall SH, Joondeph DR, Shapiro PA, Riedel RA. A comparison of apical root resorption during orthodontic treatment in endodontically treated and vital teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1990;97(2):130-134.
- Sringkarnboriboon S, Matsumoto Y, Soma K. Root resorption related to hypofunctional periodontium in experimental tooth movement. *J Dent Res.* 2003;82(6):486–490.
- Srivicharnkul P, Kharbanda OP, Swain MV, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 3. Hardness and elastic modulus after application of light and heavy forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;127(2):168–176.

- Stenvik A, Mjör IA. Pulp and dentine reactions to experimental tooth intrusion: A histologic study of the initial changes. *Am J Orthod.* 1970;57(4):370–385.
- Stock SR. X-ray microtomography of materials. *Int Mater Rev.* 1999;44(4):141–164.
- Stuteville OH. Injuries caused by orthodontic forces and the ultimate results of these injuries. *Am J Orthod Oral Surg.* 1938;24(2):103–119.
- Tan D. The Effect of Mechanical Vibration (AcceleDent, 30 Hz) applied to the hemi-maxilla on Root Resorption Associated with Orthodontic Force A Micro-CT Study. Sydney Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Sydney, Doktora Tezi, 2011;1-110.
- Thilander B. Tissue Reactions in Orthodontics. Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL. *Orthodontics Current Principles and Techniques.* 5th Ed., St. Louis, Missouri, USA, Mosby Elsevier, 2012;247-286.
- Vardimon AD, Graber TM, Pitaru S. Repair process of external root resorption subsequent to palatal expansion treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103(2):120–130.
- Villa PA, Oberti G, Moncada CA, Vasseur O, Jaramillo A, Tobón D, Agudelo JA. Pulp-Dentine Complex Changes and Root Resorption During Intrusive Orthodontic Tooth Movement in Patients Prescribed Nabumetone. *J Endod.* 2005;31(1):61–66.
- Vlaskalic V, Boyd RL, Baumrind S. Etiology and sequelae of root resorption. *Semin Orthod.* 1998;4(2):124–131.
- Weiland F. Constant versus dissipating forces in orthodontics: the effect on initial tooth movement and root resorption. *Eur J Orthod.* 2003;25(4):335–342.
- Weltman B, Vig KWL, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(4):462–476.
- White SC, Pharoah MJ. *Oral Radiology: Principles and Interpretation.* Sixth Ed., St. Louis, Missouri, USA, Mosby Elsevier, 2008.
- Wickwire NA, Mc Neil MH, Norton LA, Duell RC. The effects of tooth movement upon endodontically treated teeth. *Angle Orthod.* 1974;44(3):235–242.
- Woodhouse NR, DiBiase AT, Johnson N, Slipper C, Grant J, Alsaleh M, Donaldson AN, Cobourne MT. Supplemental vibrational force during orthodontic alignment: a randomized trial. *J Dent Res.* 2015;94(5):682-689.

- Xie L, Jacobson JM, Choi ES, Busa B, Donahue LR, Miller LM, Rubin CT, Judex S. Low-level mechanical vibrations can influence bone resorption and bone formation in the growing skeleton. *Bone*. 2006;39(5):1059-1066.
- Xie P, Tang Z, Qing F, Chen X, Zhu X, Fan Y, Yang X, Zhang X. Bone mineral density, microarchitectural and mechanical alterations of osteoporotic rat bone under long-term whole-body vibration therapy. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2015;53:341-349.
- Yadav S, Assefnia A, Gupta H, Vishwanath M, Kalajzic Z, Allareddy V, Nanda R. The effect of low-frequency mechanical vibration on retention in an orthodontic relapse model. *Eur J Orthod*. 2015b;4:1-7.
- Yadav S, Dobie T, Assefnia A, Gupta H, Kalajzic Z, Nanda R. Effect of low-frequency mechanical vibration on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2015a;148(3):440-449.
- Zeichner-David M. Regeneration of periodontal tissues: cementogenesis revisited. *Periodontol 2000*. 2006;41(244):196–217.

Ek 1. Etik kurul formu



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Sayı: B.30.2.ODM.0.20.08/1572

12.03.2015

Sayın : Doç. Dr. Selma Elekdağ-TÜRK

Etik Kurulumuza sunmuş olduğunuz **Farklı sürelerdeki mekanik vibrasyonun kök rezorpsiyonuna ve ortodontik diş hareketine etkilerinin incelenmesi** başlıklı OMÜ KAEK 2014/516 Karar nolu Diş yüzeyinde kök rezorpsiyon kriterlerinin lokalizasyon ve hacimlerinin 3 boyutlu olarak Mikro-BT ile incelenmesi ve diş hareketi hızının ölçülmesi nitelikli araştırma projeniz: Amaç, gerekçe, yaklaşım ve yöntemle ilgili açıklamaları, Klinik Araştırmalar Etik Kurulu yönergesine göre incelenmiş etik açıdan bir sakınca olmadığına, çalışmanın süresi 6 ayı geçerse 6 aylık bildirimlerinin yapılmasına; çalışma tamamlandıktan sonra sonucunun tarafımıza en geç üç(3) ay içerisinde bildirilmesine 27.02.2014 tarihli Etik kurulumuzda oy birliği ile karar verilmiştir

Bilgilerinize arz/rica ederim.

Prof. Dr. A.Tevfik SÜNTER
Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

Ek 2. Hasta bilgilendirilmiş onay formu

HASTA BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU ÖRNEĞİ *

ARAŞTIRMANIN ADI (ÇALIŞMANIN AÇIK ADI):

Farklı sürelerdeki mekanik vibrasyonun kök rezorpsiyonuna ve ortodontik diş hareketine etkilerinin incelenmesi

Gönüllünün Baş Harfleri << >>

Bir araştırma çalışmasına katılmanız istenmektedir. Katılmak isteyip istemediğinize karar vermeden önce araştırmanın neden yapıldığını bilgilerinizin nasıl kullanılacağını çalışmanın neleri içerdiğini ve olası yararlarını risklerini ve rahatsızlık verebilecek konuları anlamamız önemlidir Lütfen aşağıdaki bilgileri dikkatlice okumak için zaman ayırınız ve eğer istiyorsanız özel veya aile doktorunuzla konuyu değerlendiriniz. Eğer bir başka çalışmada da yer alıyorsanız bu çalışmada yer alamazsınız.

BU ÇALIŞMAYA KATILMAK ZORUNDAMIYIM?

Çalışmaya katılıp katılmama kararı tamamen size aittir. Eğer çalışmaya katılmaya karar verirsiniz imzalamanız için size bu Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu verilecektir. Katılmaya karar verirsiniz, çalışmadan herhangi bir zamanda ayrılmakta özgürsünüz. Bu durum sizin aldığınız tedavinin standardını etkilemeyecektir. Eğer isterseniz, bu klinik çalışmaya katılımınızla ilgili olarak hekiminiz / aile doktorunuz bilgilendirilecektir. Ayrıca destekleyici firma çalışmayı sonlandırmaya karar verirse bu durumda da çalışmadan çıkartılacaksınız.

ÇALIŞMANIN KONUSU VE AMACI NEDİR?

Ortodontik tedaviler sırasında tedavinin kaçınılmaz etkisi olarak diş kökünün dış yüzeyinde erime (rezorpsiyon) izlenmektedir. Kök yüzeyinde madde kaybı aşırı olduğunda ortodontik tedavinin başarısını etkileyebilecek kök kayıpları olabilmektedir. Diş kökündeki madde kayıpları diş röntgenlerinden anlaşılabilir ancak kök erimesinin (rezorpsiyon) kesin nedenleri henüz saptanamamıştır. Bu çalışmada ortodontik diş hareketi sırasında meydana gelen kök erimesinin (rezorpsiyon) azaltılmasında mekanik titreşimin (vibrasyon) etkisi olup olmadığı araştırılacaktır.

Ortodontik tedaviler uzun süren uygulamalardır. Bu sürenin kısaltılması hem tedavinin istenmeyen etkilerinin azaltılması hem de uzun sürenin hasta ve devlete getireceği ekonomik yükün azaltılması açısından önemlidir. Bu çalışmanın bir diğer amacı mekanik titreşimin (vibrasyon) diş hareket hızına etkisini değerlendirmektir.

ÇALIŞMA İŞLEMLERİ:

Çalışma iki aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada ortodontik tedavinize başlanmadan önce 8 hafta süre ile ortodontik tedavi gereği çekilecek üst birinci küçükağı dişlerinize kuvvet uygulanacaktır. Bu sürede gönüllü tarafından her gün 20 veya 40 dakika süre ile tarif edilen şekilde sağ veya sol birinci küçükağı dişine mekanik titreşim uygulanacaktır. Sekiz haftalık bu sürenin başında ve sonunda üst dişlerinizin ölçüsü alınacaktır. Sekiz haftanın sonunda üst birinci küçükağı dişleriniz çekilecek ve inceleme için saklanacaktır. Takiben ortodontik tedavinize başlanacaktır. Ortodontik tedaviniz diğer tüm ortodonti hastalarına yapılan uygulamalar gibi olacaktır.

Ortodontik tedavinizin bir parçası olan kanin dişlerinin distalizasyonu safhasına gelindiğinde çalışmanın ikinci aşaması başlayacaktır. İkinci aşamada kanin dişlerinizin distalizasyonu sırasında her gün tarif edilen şekilde mekanik titreşim hasta tarafından tarif edilen şekilde sağ veya sol kanin dişine mekanik titreşim uygulanacaktır. Üç ay sürecek ikinci aşamada ayda bir yapılacak klinik kontrollerinizde ağız içi ölçümler yapılacak ve üst dişlerinizin ölçüsü alınacaktır.

BENİM NE YAPMAM GEREKİYOR?

Çalışma doktorunuzun talimatlarına uymaya, randevu ve vizitelere katılmaya ve yukarıda anlatılan çalışmayla ilgili tüm işlemlere uymaya istekli olmalısınız. Çalışma doktorunuzu ziyarete belirlenen günlerde gelmelisiniz ve bir sonraki ziyaretiniz de, ziyaretten ayrılmadan önce planlanmalıdır. Yine çalışmadan önce veya çalışma sırasında aldığınız başka herhangi bir tıbbi tedaviyi de çalışma doktoruna söylemeniz önemlidir.

Ek 2. (Devam)

ÇALIŞMAYA KATILMAMIN NE GİBİ OLASI YAN ETKİLERİ, RİSKLERİ VE RAHATSIZLIKLARI VARDIR?

Bu çalışma da mevcut birinci aşamanın gönüllü için yan etkisi ve riski yoktur. İkinci aşama ise ortodontik tedavinizin bir parçasıdır. Her iki aşama da gönüllü ortodontik diş hareketleri sırasında her hastada karşılaşılan ağrıdan rahatsız olabilir. Bu 2-4 gün devam eden ve çoğu zaman herhangi bir ilaç kullanımı gerektirmeyen bir ağrıdır.

ÇALIŞMAYA KATILMANIN OLASI YARARLARI NELERDİR? (Varsa açıklayınız)

GÖNÜLLÜ KATILIM

Bu araştırmaya katılma kararımı tamamen gönüllü olarak veriyorum. Bu çalışmaya katılmayı reddedebileceğim veya katıldıktan sonra istediğim zaman, bu tedavi kurumunda göreceğim bakım ve tedaviler etkilenmeksizin ve hiçbir sorumluluk almadan ayrılabileceğim bilincindeyim. Çalışmadan her hangi bir zamanda ayrılırsam, ayrılma nedenlerimi, ayrılışımın sonuçlarını ve izleyen dönemde alacağım tedavileri doktorumla tartışacağım.

ÇALIŞMAYA KATILMAMIN MALİYETİ NEDİR?

Çalışma doktoru ziyaretleri ve çalışmayla ilgili olan tüm laboratuvar testleri çalışma destekleyici tarafından karşılanacak ve size veya bağlı bulunduğunuz özel sigorta veya resmi sosyal güvenlik kurumuna ödetilmeyecektir. Ayrıca çalışmaya bağlı makul miktardaki yol gideriniz makbuzları gösterildiği takdirde karşılanacaktır.

Herhangi bir yan etki veya fiziksel zarar gelişirse hemen çalışma doktorunuzu gereken tıbbi tedavinin uygulanabilmesi için bilgilendiriniz.

KİŞİSEL BİLGİLERİM NASIL KULLANILACAK?

Bu formu imzalayarak doktorunuzun ve onun kadrosunun çalışma için sizin kişisel bilgilerinizi ("Çalışma Verileri") toplamalarına ve kullanmalarına onay vermiş olacaksınız. Bu durum doğum tarihiniz, cinsiyetiniz, etnik kökeniniz ayrıca çalışma verilerinizin kullanımı ile ilgili verdiğiniz onayın herhangi bir belirlenmiş birim tarihi yoktur, ancak doktorunuzu haberdar ederek bu onayınızdan herhangi bir zamanda vazgeçebilirsiniz.

Çalışma destekleyicisi firma ile paylaşılan çalışma verileri size özel bir numara olan bir kod ("Kod") numarası kullanımıyla korunacaktır. Sizin çalışma verilerinize ulaşmak için gerekli olan kod anahtarı çalışma doktorunuzun denetimindedir. Çalışma destekleyicisi firma düzenleyici otorite veya diğer denetim kurumları tarafından atanmış kişiler doktorunuz tarafından tutulan çalışma verilerinizi inceleyebilirler.

Doktorunuz çalışma verilerinizi çalışma için kullanacaktır. Çalışma destekleyicisi firma; çalışmanın yürütülmesi, teşhis ve tıbbi yardım gereçlerinin geliştirilmesi için çalışma verilerinizi kullanabilir. Doktorunuzun çalıştığı kurum ve çalışma destekleyicisi firmanın her ikisi de yürürlükte olan veri koruma kanunları ile uyumlu olarak çalışma verilerinizin yönetiminden sorumludurlar.

Çalışma destekleyicisi firma çalışma verilerinizi, sadece yukarıda belirtilen amaçlarda kullanacak olan kendi grubundaki diğer şirketler, hizmet alınan kurumlar, anlaşmalı firmalar ve diğer araştırma kuruluşları ile paylaşabilir. Çalışmanın sonuçları tıbbi yayınlarda yayınlanabilir, ancak sizin kimlik bilgileriniz bu yayınlarda açıklanmayacaktır.

Doktorunuz ya da çalışma destekleyicisi firmadan, toplanan çalışma verileriniz hakkında bilgi isteme hakkında sahibsiniz. Aynı zamanda bu verilerdeki herhangi bir hatanın düzeltilmesini isteme hakkında da sahibsiniz. Eğer bu konuda bir isteğiniz olursa lütfen gerekirse sizin çalışma destekleyicisi firma ile temasa geçmenize yardımcı olabilecek doktorunuzla görüşünüz.

Eğer onayınızda vazgeçerseniz, doktorunuz çalışma verilerinizi artık kullanamayacak ya da diğer kişilerle paylaşamayacaktır. Çalışma destekleyicisi firma onayınızdan vazgeçmeden önceki çalışma verilerinizi kullanmaya devam edebilir.

Bu formu imzalayarak, çalışma verilerinizin bu formda tanımlandığı şekilde kullanımına onay vermekteyim.

Ek 2. (Devam)

ARAŞTIRMA SÜRESİNCE 24 SAAT ULAŞILABİLECEK KİŞİLER:

Doç.Dr. Selma Elekdağ-Türk
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı Samsun
Tel: 3121919/3025-3015 GSM: 0544 6403424

Arş.Göv. Mehmet Gedik
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı Samsun
Tel: 3121919/3025 GSM: 0541 2558778

ÇALIŞMADAN AYRILMAMI GEREKTİRECEK DURUMLAR:

Araştırma sırasında diş hareketini etkileyecek medikal durum veya ilaç kullanımının ortaya çıkması ve bu dişlerdeki ortodontik ataçmanların kaybı.

YENİ BİLGİLER ÇALIŞMADAKİ ROLÜMÜ NASIL ETKİLEYEBİLİR

Çalışma sürerken ortaya çıkmış olan bütün yeni bilgiler bana derhal iletilecektir.

Çalışmaya Katılma Onayı

Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formundaki tüm açıklamaları okudum. Bana, yukarıda konusu ve amacı belirtilen araştırma ile ilgili yazılı ve sözlü açıklama aşağıda adı belirtilen hekim tarafından yapıldı. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı, istediğim zaman gereççeli veya gereççesiz olarak araştırmadan ayrılabilceğimi ve kendi isteğime bakılmaksızın araştırmacı tarafından araştırma dışı bırakılabileceğimi biliyorum. Söz konusu araştırmaya, hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın kendi rızamla katılmayı kabul ediyorum. Doktorum saklamam için bu belgenin bir kopyasını çalışma sırasında dikkat edeceğim noktaları da içerecek şekilde bana teslim etmiştir.

Gönüllünün Adı / Soyadı / İmzası / Tarih

Açıklamaları Yapan Kişinin Adı / Soyadı / İmzası / Tarih

Gerekliyse Olur İşlemine Tanık Olan Kişinin Adı / Soyadı / İmzası / Tarih

Gerekliyse Yasal Temsilcinin Adı / Soyadı / İmzası / Tarih

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Mehmet Gedik

Doğum Yeri: Giresun/ Türkiye

Doğum Tarihi: 01.10.1987

Medeni Hali: Evli

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl): İlköğretim Cumhuriyet İlkokulu 1993-1998; Ortaöğretim Mehmet Akif Ersoy İlkokulu 1998-2001; Lise Giresun Lisesi 2001-2004; Lisans ve Yüksek Lisans Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi 2004-2010; Doktora Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti A.D. 2010-2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı/ 2010- 2015

E-posta: mhmt.gedik@gmail.com