



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**DÜŞÜK SEVİYELİ LAZER TERAPİSİNİN
HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİNE BAĞLI
OLUŞAN KÖK REZORPSİYONU
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Demet YENİDEDE

UZMANLIK TEZİ

Doç. Dr. Ayşe Burcu ALTAN

KOCAELİ – 2017



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

ORTODONTİ ANABİLİM DALI

**DÜŞÜK SEVİYELİ LAZER TERAPİSİNİN
HIZLI ÜST ÇENE GENİŞLETMESİNE BAĞLI
OLUŞAN KÖK REZORPSİYONU
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Demet YENİDEDE

UZMANLIK TEZİ

Doç. Dr. Ayşe Burcu ALTAN

BAP 2017/012

KOCAELİ – 2017

BEYAN

Bu tez çalışmasının KOÜ Diş Hekimliği Fakültesi uzmanlık tez yazım kılavuzu standartlarına uygun olarak yazıldığını, tezin akademik ve etik kurallara bağlı kalınarak gerçekleştirilmiş özgün bir bilimsel araştırma eserim olduğunu, tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezin çalışılması ve yazımı aşamalarında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

19.12.2017

Dt. Demet YENİDEDE

İthaf

Bu uzmanlık tezimi, sonsuz sevgi ve destekleriyle bana güç veren sevgili eşim İlter YENİDEDE ve biricik oğlum Ateş YENİDEDE'ye ve haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim güzel aileme ithaf ediyorum.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve uzmanlık eğitimim boyunca beni cesaretlendiren, bilgi ve tecrübesini esirgemeyen, akademisyenliğinin yanı sıra hayata bakışını da örnek aldığım sayın tez danışmanım ve sayın Anabilim Dalı Başkanım Doç. Dr. Ayşe Burcu Altan'a,

Uzmanlık eğitimim süresince bilgi ve deneyimlerinden sürekli faydalandığım ve desteğini her zaman hissettiğim sayın hocam Prof. Dr. Ali İhya Karaman'a,

Tezimin cerrahi aşaması boyunca büyük emekleri bulunan değerli hocalarım Doç. Dr. Ülkem Cilasun ve Yrd. Doç. Dr. Hatice Hoşgör'e,

Tez çalışmam kapsamında Mikro-BT datalarının analizlerinin gerçekleştirilmesinde büyük özveriyle çalışan sayın Prof. Dr. Kaan Orhan'a,

Tezimin istatistik aşamasındaki yardımlarından dolayı sayın A. Rana Konyalıoğlu'na, Uzmanlık eğitimim süresince dostluklarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Uzm. Dt. Songül Sandalcı, Araş. Gör. Dt. Didem Eser ve Araş. Gör. Gülyar Güler'e,

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum sevgili asistan arkadaşlarıma, özverili personel ve çalışanlara,

Beni yetiştiren ve bir ömür boyu desteklerini ve sevgilerini hissettiğim aileme,

Her koşulda istisnasız yanımda olan sevgili eşim Op. Dr. İlter Yenidede ve pamuk oğlum Ateş'e,

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Dt. Demet Yenidede

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: **2017/012**

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İç Kapak Sayfası

KABUL ve ONAY

BEYAN

İthaf

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER

vi

TABLolar DİZİNİ

ix

ŞEKİLLER DİZİNİ

xi

SİMGELER, KISALTMALAR ve FORMÜLLER DİZİNİ

xii

1. ÖZET

1

2. SUMMARY

2

3. GİRİŞ ve AMAÇ

3

4. GENEL BİLGİLER

7

4.1. Üst çene Genişletmesinin Tarihçesi

7

4.2. Üst Çene Genişletmesinin Biyomekanik Temeli

7

4.3. Üst Çene Genişletme Apeyleri

8

4.4. Kök Rezorpsiyonu Tarihçesi

10

4.5. Ortodontik Olarak İndüklenmiş İnflamatuvar Kök Rezorpsiyonu

11

4.6. Üst Çene Genişletme Apeylerinin Kök Rezorpsiyonu Üzerindeki Etkisi

16

4.7. Kök Rezorpsiyonu İnceleme Teknikleri

19

4.8. Lazer Hakkında Genel Bilgiler

22

4.8.1. Lazer

22

4.8.2. Lazerin Tarihçesi

24

4.8.2.1. Birinci Jenerasyon 1975-1985

24

4.8.2.2. İkinci Jenerasyon 1985-1995

24

4.8.2.3. Üçüncü Jenerasyon 1995-2005

25

4.8.2.4. Dördüncü Jenerasyon 2005 ve sonrası

25

4.8.3. Tedavi Dozu Tanımı ve Hesaplanması

26

4.9. Lazerin Biyolojik Dokular Üzerindeki Etkileri

26

4.10. Düşük Seviyeli Lazer Terapisi (DSL T)

30

4.11.	Ortodontide Düşük Seviyeli Lazer Terapisi	31
5.	BİREYLER ve YÖNTEM	35
5.1.	Hasta Seçimi	35
5.2.	Araştırma Planı	36
5.2.1.	Çalışma Grupları	36
5.3.	Aparey Yapımı	38
5.4.	Klinik İşlemler	39
5.5.	Vida Çevirme Protokolü ve Düşük Seviyeli Lazer Uygulaması	39
5.6.	Örneklerin Hazırlanması	42
5.7.	Laboratuvar işlemleri	43
5.7.1.	Mikro-BT Analizi	43
5.8.	İstatistiksel Analiz	46
6.	BULGULAR	47
6.1.	Aktif Faz Hızlı Üst Çene Genişletmesi Gruplarında Kök Rezorpsiyonuna Dair Bulgular	47
6.2.	Pekiştirme Fazı Hızlı Üst Çene Genişletmesi Gruplarında Kök Rezorpsiyonuna Dair Bulgular	50
6.3.	Ortodontik Kuvvet Uygulanmayan Gruplarda Kök Rezorpsiyon Bulguları	53
6.4.	Tüm Lazer Gruplarında Kök Rezorpsiyon Bulguları	55
6.5.	Tüm Kontrol Gruplarında Kök Rezorpsiyon Bulguları	60
6.6.	Tüm Gruplarda Rezorpsiyon Krateri Derinliği/ Demineralizasyon Derinliği Korelasyon Analizi	65
7.	TARTIŞMA ve SONUÇ	66
7.1.	Bireyler ve Yöntemin Tartışması	66
7.2.	Bulguların Tartışması	77
7.2.1.	Rezorpsiyon Krateri Sayısı	77
7.2.2.	Rezorpsiyon Krateri Alanı-En Geniş Olan	78
7.2.3.	Rezorpsiyon Krateri Derinliği ve Demineralizasyon Derinliği- Ortalama Değerler	78
7.2.4.	Rezorpsiyon Krateri Hacmi	81

7.2.5.	Total Kök Hacmi	82
7.2.6.	Total Kök Pulpa Hacmi	82
7.2.7.	Total Rezorpsiyon Yüzdesi	82
8.	SONUÇLAR	86
9.	KAYNAKLAR	89
10.	EKLER	105
10.1.	EK 1	105
10.2.	EK 2	109
11.	ETİK KURUL ONAYI	112
12.	ÖZGEÇMİŞ	114

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 5.1. Blok içinde örnek sayısı 2 olduğunda permütasyon yöntemine göre atama; A: lazer grubu, B: kontrol grubu	37
Tablo 5.2. Lazer terapisinde kullanılan paratetreler.....	40
Tablo 6.1a. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon kraterleri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.....	47
Tablo 6.1b. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	48
Tablo 6.1c. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	48
Tablo 6.1d. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	49
Tablo 6.1e. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	49
Tablo 6.2a. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon kraterleri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	50
Tablo 6.2b. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.....	51
Tablo 6.2c. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	52
Tablo 6.2d. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	52
Tablo 6.2e. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	53
Tablo 6.3a. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon kraterleri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.....	54
Tablo 6.3b. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.....	54
Tablo 6.3c. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	54

Tablo 6.3d.	Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	55
Tablo 6.3e.	Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	55
Tablo 6.4a.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	56
Tablo 6.4.1a.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının çoklu karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	56
Tablo 6.4b.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	57
Tablo 6.4c.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.....	57
Tablo 6.4.1c.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular	58
Tablo 6.4d.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	59
Tablo 6.4.1d.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular	59
Tablo 6.4e.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi, total rezorpsiyon yüzdesi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	60
Tablo 6.4.1e.	Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan total kök hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi çoklu karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	60
Tablo 6.5a.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	61
Tablo 6.5.1a.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular	61
Tablo 6.5b.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	62
Tablo 6.5.1b.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) çoklu karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	62
Tablo 6.5c.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği değerleri karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	63
Tablo6.5.1c.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği değerleri çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular	63
Tablo 6.5d.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerleri karşılaştırılmasına ilişkin bulgular.....	64
Tablo6.5.1d.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerleri çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular	64
Tablo 6.5e.	Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi, total rezorpsiyon yüzdesi değerleri karşılaştırılmasına ilişkin bulgular	65
Tablo 6.6.	Rezorpsiyon krateri-ortalama değerleri ile demineralizasyon derinliği-ortalama değerleri arasındaki korelasyon analizine ilişkin bulgular	65

ŞEKİLLER ve RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1. Haas genişletme apareyi.....	8
Resim 4.2. Konvansiyonel Hyrax genişletme apareyi.....	9
Resim 4.3. Akrilik bonded Hyrax genişletme apareyi.....	9
Resim 5.1. Üst çene daimi birinci molarlar arası mesafenin ölçülmesi.....	36
Resim 5.2. Akrilik bonded Hyrax genişletme apareyinin ağız içi görünümü.....	39
Resim 5.3. Akrilik bonded Hyrax genişletme apareyinin alçı model üzerindeki görünümü.....	39
Resim 5.4. Diyet lazerin dişeti yüzeyine temas ederek uygulanması.....	41
Resim 5.5. Çalışmamızda kullanılan Ga-Al-As diyet lazer cihazı	41
Resim 5.6 Deiyonize su ile dolu tüplerde saklanan numuneler.....	43
Resim 5.7. Deneyde taramalar için kullanılan Skyscan 1172 Mikro-BT sistemi.....	43
Şekil 5.1. Bireylerin deney ve kontrol gruplarına göre dağılımı.....	37
Şekil 5.2. Araştırma akış şeması.....	42
Şekil 5.3. Örnek kesitlerinden alınan BMP formatındaki görüntü.....	44
Şekil 5.4. Bulunduğu x, y, z düzlemlerindeki koordinatlarına göre izole edilen krater görüntüsü.....	45
Şekil 5.5. Krater hacimlerinin SkyScan CT-analiz programı (CTan) kullanılarak ölçümü...46	46

KISALTMA, SİMGE ve FORMÜLLER DİZİNİ

Kısaltmalar

ark.	Arkadaşları
ATP	Adenosin Trifosfat
BT	Bilgisayarlı Tomografi
cm	Santimetre
DSL T	Düşük Seviyeli Lazer Terapisi
GaAlAs	Galyum-Alüminyum-Arsenit
GaAs	Galyum-Arsenit
g	Gram
HeNe	Helyum-Neon
HÜÇG	Hızlı Üst Çene Genişletmesi
IL-1b	İnterlökin 1 Beta
J	Joule
kHz	Kilohertz
KIBT	Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi
kV	Kilo Volt
LED	Light Emitting Diode
Mikro-BT	Mikro Bilgisayarlı Tomografi
mm	Milimetre
MP	Mega Piksel
mW	Mili Watt
nm	Nanometre
OIIKR	Ortodontik Olarak İndüklenmiş İnflamatuvar Kök Rezorpsiyonu

OPG	Osteoprotegerin
PDL	Periodontal Ligament
RANK	Reseptör Aktivatör Nükleer Faktör Kappa B
RANKL	Reseptör Aktivatör Nükleer Faktör Kappa B Ligandı
RGD	Arjinin-Glisin-Aspartik Asit
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
TRAP	Tartarata Dirençli Asit Fosfataz
vb.	Ve Benzeri
W	Watt
Simgeler	
µm	Mikrometre

ÖZET

Düşük Seviyeli Lazer Terapisinin Hızlı Üst Çene Genişletmesine Bağlı Oluşan Kök Rezorpsiyonu Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın amacı, düşük seviyeli lazer terapinin (DSLTL) hızlı üst çene genişletmesine (HÜÇG) bağlı oluşan kök rezorpsiyonları üzerindeki etkilerinin Mikro-BT yöntemi kullanılarak değerlendirilmesidir. Çalışmamıza, HÜÇG ve üst birinci küçük azı dişi çekimi endikasyonu konulmuş 16 birey ve ortodontik kuvvet uygulanmayan sekiz birey dahil edildi. Üst çene genişletmesi uygulanacak bireyler randomize olarak aktif faz ve pekiştirme fazı gruplarını oluşturmak üzere sekizer kişilik iki gruba ayrıldı. Split-mouth dizaynda tasarlanan çalışmamızda, aktif faz HÜÇG, pekiştirme fazı HÜÇG ve ortodontik kuvvet uygulanmayan gruplarda, randomize olarak seçilen taraftaki çekimi planlanan küçük azı dişlerine DSLTL uygulandı. DSLTL uygulaması, Ga-Al-As (820 nm, 8 J, 8 J/cm²) diyot lazer cihazı (Doris, CTL-1106MX, Warsaw, Poland) kullanılarak, kök yüzeyi boyunca, iki bölgeden, dişetine temas ederek, beş hafta boyunca dört günde bir kez olmak üzere yapıldı. Her grup için, lazer uygulanan dişin karşıt arktaki eşi kontrol grubuna dahil edildi. Deney süreci sonunda diş çekimleri yapıp, dişler Mikro-BT cihazıyla tarandı ve rezorpsiyon kraterlerine dair ölçümler 'CTan' yazılımıyla (Skyscan, versiyon 1.16.5.1, Belgium) analiz edildi. Elde edilen istatistiksel bulgular, DSLTL uygulanan gruplarda kontrol gruplarına kıyasla anlamlı miktarda daha az kök rezorpsiyonu olduğunu gösterdi (p<0,05). HÜÇG kontrol gruplarındaki rezorpsiyon kraterleri derinlik artışı HÜÇG lazer gruplarının yaklaşık iki katı kadardı (p=0,0001). Total rezorpsiyon yüzdesi p=0,001 anlamlılığında HÜÇG lazer gruplarında daha az bulundu. Sonuç olarak, HÜÇG'ye bağlı oluşan kök rezorpsiyonlarını önlemek ve/veya iyileştirebilmek konusunda DSLTL'nin pozitif etkileri olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Düşük seviyeli lazer terapisi, hızlı üst çene genişletmesi, kök rezorpsiyonu, rezorpsiyonu krateri, Mikro-BT

SUMMARY

Evaluation of the effect of low level laser therapy on root resorption due to rapid maxillary expansion

The aim of this study was to evaluate the effects of low-level laser therapy (LLLT) on root resorption that occurs due to rapid maxillary expansion (RME). The study groups were consisted of sixteen subjects who had an indication for rapid maxillary expansion and upper first premolar extraction, and eight untreated subjects. The subjects were randomly divided into two groups to create active-phase and retention-phase groups. As the study was planned as a split-mouth design, one of the upper premolars had undergone LLLT and the other one defined as the control tooth of the applied procedure. LLLT was applied to the premolars on the selected side with a 820 nm Ga-Al-As diode laser (8 J/cm²) during RME in the active-phase group, or five weeks after RME in the retention-phase group, or from the beginning of the examination, in the group in which the subjects didn't get any orthodontic force. At the end of the experiment, teeth were extracted and scanned by Micro-CT device. The measurements of root resorption craters were performed by 'CTan' software. The statistical findings showed that there was significantly less resorption in the LLLT-treated groups compared to the control groups ($p < 0.05$). The root resorption craters in the RME-control groups were approximately two times deeper than it was in the RME-laser groups ($p = 0.0001$). The total resorption percentage was significantly lower in the RME-laser groups compared to the RME-control groups ($p = 0.001$). The study revealed that LLLT has positive effects on preventing and/or healing root resorption occurred due to RME.

Keyword: Low-level laser therapy, rapid maxillary expansion, root resorption, resorption crater, Micro-CT

3. GİRİŞ ve AMAÇ

Üst çene genişletmesi, üst çenenin transversal yöndeki yetersizliklerinin tedavilerinde 100 yılı aşkın süredir kullanılmakta olan bir prosedürdür.

Üst çenenin transversal yöndeki yetersizliğinin sebebi iskeletsel veya dişsel kaynaklı olabilir. Dişsel kaynaklı üst çene yetersizliğinde, üst çene kaidesi kraniofasiyal komplekse oranla normal boyutundadır ancak bukkal diş segmentleri ait oldukları kemik kaidede linguale eğimli ve/veya daha lingualde sıralanmaktadır. Üst çenenin iskeletsel transversal yetersizliğinde, problem gerçek ve göreceli olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır (1). Göreceli üst çene yetersizliğinde, üst çenenin boyutu kafa tabanına ve yüzün üst kısmına kıyasla normal iken, alt çenenin boyutu oldukça geniştir. Gerçek üst çene yetersizliğinde, üst çene sıklıkla dar ve derin palatal kubbe ile karakterizedir ve kraniofasiyal komplekse oranla olması gereken boyutundan daha küçüktür.

Üst çene genişletme apareyleri hızlı ve yavaş olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Hızlı üst çene genişletme (HÜÇG) apareyi, gerçek ortopedik genişletme için en iyi örnektir. Üst çenenin iskeletsel transversal yetersizliğinin düzeltilmesi için kullanılmaktadır. Hızlı üst çene genişletmesi sırasında kullanılan apareyin ortasındaki vidanın her bir tur aktivasyonu ile yaklaşık 1300-4500 gram arasında kuvvet uygulanmaktadır. Sütürda ortopedik etki oluşturan bu kuvvetin kümülatif değeri yaklaşık 10 kilogram civarındadır (2).

Diş hareketi için gerekli olan limiti aşan bu ağır kuvvetin, dişlere ve onları destekleyen alveol kemiğine uygulanması sonucunda, midpalatal sütürda sağ ve sol maksiller halflerin separasyonu ile hızlı üst çene genişletmesi meydana gelmektedir (3, 4). Kademeli olarak midpalatal sütürda açılma ile birlikte periodontal ligamentte kompresyon, alveolar yapıda bending ve dişlerde tipping gerçekleşmektedir (5). Ancak esas değişiklikler dişlerin ait oldukları alveolar kemik boyunca hareketinden ziyade altta yatan iskeletsel yapıda meydana gelmektedir (6).

Hızlı üst çene genişletmesinin pek çok klinik faydası bulunsa da genişletme boyunca istenmeyen yan etkiler görülebilmektedir. Bunlar apareyle ilgili teknik problemler olabileceği gibi, ağrı, dental tipping, bukkal dişeti çekilmesi ve özellikle destek alınan dişlerde kök rezorpsiyonu gibi biyolojik problemler de olabilmektedir (7-10).

Bu konuda yapılan pek çok çalışmada, HÜÇG sonrası destek alınan dişlerde anlamlı derecede kök hacimlerinde azalma olduğu bildirilmiştir (10–13).

Geçmişten itibaren, tutarsız ve zayıf ortodontik kuvvetlerin dişleri hareket ettirmekte yetersiz kalırken, ağır kuvvetlerin ise istenmeyen bir yan etki olarak, kök rezorpsiyonuna neden olduğu bilinmektedir (14–16).

Diş hareketinin temel mekanizmalarını açıklayan kuramlardan biri olan basınç-gerilim kuramına göre, yapılan çalışmalarda diş hareketi esnasında hareket yönünde basınç, aksi yönde ise gerilim bölgeleri olduğu bildirilmiştir (18–20). Dişin hareket yönünde oluşan basınç, kök yüzeyini örten periodontal ligamentin (PDL) hareket eden diş ile alveol kemiği arasında sıkışmasına neden olmaktadır. Bu hipoteze göre; basınç bölgelerindeki sıkışma nedeniyle PDL’de düzensizlik ortaya çıkmakta; vasküler daralmaya bağlı olarak hücre replikasyonu ve fiber üretimi azalmaktadır. Gerilim tarafındaysa PDL fiber demetlerinin gerilmesiyle oluşan stimülasyona bağlı olarak oluşan hücre replikasyonu artmakta; artan proliferatif aktivite fiber üretiminde artışa yol açmaktadır (21).

Kök rezorpsiyonu, daimi dişlerde iç veya dış kaynaklı gelişen patolojik bir süreçtir. Ortodontide ise sıklıkla dış kaynaklı olup, kök ucundaki kılma veya kök yüzeyindeki defektler olarak kendini göstermektedir. Rezorpsiyon, kök yüzeyindeki prement ve sementoblastların doğal koruyuculuğu hasar gördüğünde veya ortadan kalktığında meydana gelmektedir (17).

Bu bilgiler ışığında, hızlı üst çene genişletmesinde, apareyin aktivasyonu ile oluşan ağır kuvvet destek dişlerin basınç tarafındaki kök yüzeyinde, hasara uğrayan PDL’nin hyalinize dokuya dönüşmesine neden olmaktadır (22, 23). Kök rezorpsiyonu histolojisinde rezorpsiyon süreci, hasar sonucu periodontal ligamende gelişen hyalinize alanın eliminasyonu ile yakından ilişkilidir (24). Hyalinize dokunun ortadan kaldırılması ile kök rezorpsiyonu arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (25). Hyalinize dokunun uzaklaştırılması, sementoid ve matur kolajenin de uzaklaştırılmasına neden olmaktadır. Bunun neticesinde odontoklast atağına açık bir sement yüzeyi açığa çıkmaktadır. Normalde sement kemikten daha dirençli bir yapıdır ve bu nedenle genellikle dişin hareketi sırasında sement kaybından ziyade kemik rezorpsiyonu gözlenmektedir. Ancak sement, tamir kapasitesini aşan bir basınç kuvvetiyle karşılaştığı zaman kök rezorpsiyonu başlamaktadır (6).

Lazer ışınlarının biyostimulan etkilerinden faydalanılarak yapılan tedavilere ‘Düşük Seviyeli Lazer Terapisi’, ‘fotobiyostimülasyon’, ‘fotobiyomodülasyon’ veya ‘lazer biyoaktivasyonu’ denilmektedir.

Düşük seviyeli lazer terapilerinde (DSLTL), biyostimülasyon amacı ile başarılı bir tedavi seçeneği olarak diyet lazerler karşımıza çıkmaktadır. Dental kullanım için 800 nm ile 980 nm arasında dalga boylarına sahiptirler. Alüminyum veya İndium, Gallium ve Arsenik ile kombinasyonları da bulunmaktadır.

Diş hekimliğinde, oral mukozadaki aft ve ülseratif lezyonların tedavisi, radyasyona bağlı oluşan mukositis tedavisi, implant sonrası osseointegrasyonun hızlandırılması ve stabilitenin artırılması, fibroblast, kondroblast ve osteoblast proliferasyonunda, ortodontide diş hareketinin hızlandırılması ve ortodontik kuvvete bağlı oluşan ağrının eliminasyonu gibi konularda biyostimülasyondan faydalanılabilmektedir (26–31).

Düşük doz lazer terapisinin insanlarda ortodontik diş hareketini anlamlı derecede arttırabildiği ve tedavi süresini kısaltmada başarılı olduğu bildirilmiştir (32). Yapılmış bir hayvan çalışmasının sonuçlarına göre, kesin olarak kök rezorpsiyonunu önleyici etkisinin olduğunu söylemek mümkün olmasa da anlamlı derecede iyileştirici etkisinin olduğu bildirilmiştir (33).

Ortodontik tedavi sonrası kök rezorpsiyonları konvansiyonel radyografi, ışık mikroskobu, SEM (taramalı elektron mikroskobu), konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KİBT) ve histolojik teknikler ile incelenebilmektedir. Histolojik tekniklerin, kök rezorpsiyonunun boyutunu net olarak gösterebildiği ve daha hassas olduğu bildirilmiştir (34). Ancak kök rezorpsiyonlarının kantitatif değerlendirilmesinin histolojik tekniklerle yapılmasıyla elde edilen sonuçlar kuşku bulunmuştur (35). Kök rezorpsiyonlarının KİBT ile değerlendirildiği klinik bir çalışmada ise molar bantlarının neden olduğu artefakt nedeniyle kök hacmindeki hesaplamaların kesin olmadığı belirtilmiştir (10).

Bu yetersizlikler sebebiyle, rezorpsiyon kraterlerini belirlemek ve çalışmak, üç boyutlu yazılımlarla kolaylaştırılmaya çalışılmıştır (36). Günümüzde üç boyutlu görüntülemeler, kök rezorpsiyonu çalışmaları için altın standart kabul edilmektedir (37).

Literatürde DSLTL'nin hızlı üst çene genişletmesi sonrası kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerinin üç boyutlu değerlendirildiği herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu alanda fikir vermesi beklenen bu çalışmanın amacı, düşük seviyeli lazer

terapisinin hızlı üst çene genişletmesi sonrasında oluşan kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerinin Mikro-BT yöntemi kullanılarak değerlendirilmesidir.

Çalışma için ileri sürülen hipotez, ‘hızlı üst çene genişletmesi sonrasında destek alınan dişlerde oluşan kök rezorpsiyonlarını önlemek ve/veya iyileştirebilmek için uygulanan düşük seviyeli lazer terapisinin etkisiyle, deney ve kontrol gruplarının rezorpsiyon kraterlerinin volumetrik ölçümleri arasında anlamlı farklar vardır’ şeklinde ifade edilebilir.



4. GENEL BİLGİLER

4.1. Üst Çene Genişletmesinin Tarihçesi

Çene genişletmesi kavramının ortaya çıkışı Angell'ın 1860 yılı Dental Cosmos dergisindeki bir vaka raporuyla olmuştur (38). Bu gelişmeler, dişsel düzensizliklerin düzeltimi açısından teşvik edici olmakla beraber, çevre sert ve yumuşak dokularda oluşabilecek zararlı yan etkiler açısından şüpheler içermekteydi. Bu konudaki çalışmalar Goddard ile devam etmiş; araştırmacı üst çene darlığına bağlı dişsel düzensizliklerin çözümü için yeni bir aparey tasarlamıştır (39). Bu üst çene genişletme apareyinde sadece üst birinci molar ve üst birinci küçük azı dişlerinden destek alınırken, genişletme sırasında dental arktaki tüm dişlerin etkilenmiş olması, genişletmenin midpalatal süturdaki gerçek bir ayrılma ile olabileceğini ortaya koymuştur. Bu düşünce, üst çenedeki genişletmenin sadece dişlerin kemik içindeki hareketiyle meydana geldiği fikrine karşı bir devrim niteliğindedir (39).

Üst çene genişletmesi uygulamaları 1900'lü yılların başlarından itibaren yayılmaya başlasa da ilerleyen yıllar içinde popülerliğini yitirmiş, sonraları Korkhaus tarafından 20. yüzyılın ortalarında tekrar gündeme getirilmiştir (40). Korkhaus daimi üst çene genişletmesini, 'damak ve hatta internazal boşluğun apikal kaidesinin 10 mm veya daha fazla genişletilmesi' olarak tanımlamıştır (40). Haas, hızlı üst çene genişletmesinin nazal kavite ve üst dental ark üzerindeki etkilerini önce 1959 yılında hayvanlar üzerinde yapılmış bir pilot çalışmayla, ardından 1961 yılında 45 bireyi içeren bir klinik çalışmayla ortaya koymuştur (41, 42). Araştırmacı, üst çene genişletmesindeki başlangıç reaksiyonunda alveolar proseslerin transvers yönde eğildiğini, bunu midpalatal süturdaki kademeli açılmanın takip ettiğini ve zigomatik butresslerin midpalatal süturdaki açılmanın kama şeklinde olmasına neden olduğunu gözlemlemiştir (42,43). İlginçtir ki, geçen onca yıla rağmen Haas'ın bulgularına eklenmiş çok az yeni bilgi vardır.

4.2. Üst Çene Genişletmesinin Biyomekanik Temeli

Biyomekaniksel açıdan, üst çenenin ortopedik olarak genişletilebilmesi için midpalatal sütura iletilen transvers kuvvetlerin sütural elementlerin biyoelastik dayanım gücünü yenebilecek kadar büyük olması gerekmektedir (44). Diğer yandan, sütura bu denli büyük kuvvetler iletebilmek için aparey bünyesinde oluşturulan transvers kuvvetler, periodontal ligamentte sıkışmaya, alveolar proseslerde ve destek dişlerde eğilmeye sebep

olmakta; nihayetinde, kümülatif olarak ortodontik diş hareketi için gerekli olan limit kuvvet aşıldığında midpalatal sutureda açılma gerçekleşmektedir (45).

Isaacson ve Ingram (2), hızlı üst çene genişletmesi sırasında meydana gelen temel direncin sadece midpalatal sutureda değil, aynı zamanda üst çenenin artikülasyonda bulunduğu çevre kemikler arasındaki suturalarda da maturasyonla birlikte gitgide artan interdijitasyona bağlı olduğunu bildirmiştir. Üst çenenin artikülasyonda bulunduğu yüz ve kafa kemikleri, özellikle zigomatik ve sfenoid kemikler, midpalatal sutureda açılmaya karşı meydana gelen dirençten kısmen sorumludurlar (45). Bu direnci yenerek istenilen ortopedik etkinin gerçekleştirilebilmesi için oldukça yüksek kuvvet oluşturmak gerekmektedir. Çocuklarda midpalatal suture maturasyonu tamamlanmamış olduğundan genç yetişkinlere kıyasla daha az kuvvet ile genişletme sağlanabilmektedir. Genişletme aparatı vidasının her bir aktivasyonu ile 1300 ile 4500 gram arasında kuvvet üretildiği bildirilmiştir (2).

4.3. Üst Çene Genişletme Aparatları

Üst çene genişletme aparatlarının bazı formlarının 1860'lardan beri kullanıldığına dair belgeler bulunsa da Haas 1950'li yıllarda kendi üst çene genişletme aparatını tanıttığı kadar bu aparatlar pek kullanılmamıştır. Haas tipi genişletme aparatı (43), damak kubbesinde yer alan bir vida ve birinci büyük azı ile birinci küçük azılara uzanan metal bir çerçeveden oluşmaktadır. Aparat bünyesinde ankrajı arttırmak ve sutureun açılmasını desteklemek için damak yüzeyini örten akrilik ped ile birlikte bukkal tarafta lehimli bir bar bulunmaktadır (Resim 4.1).



Resim 4.1. Haas genişletme aparatı (www.northstardental.com adresinden)

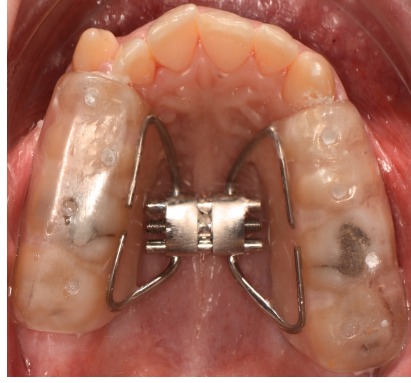
1968 yılında William Biederman, Haas tipi, dış-doku destekli üst çene genişletme aпаратыne alternatif olarak, ‘Biederman aпараты’ veya ‘hijyenik aпараты’ olarak adlandırılmış olan, ‘Hyrax tipi diş destekli üst çene genişletme aпараты’ni geliştirmiştir (46). Bu aпаратыde damak kubbesinde yer alan vida, üst çene birinci büyük azı ve birinci küçük azılarda bulunan bantlara lehimli çelik kollarla birleşmektedir (Resim 4.2).



Resim 4.2. Konvansiyonel Hyrax genişletme aпараты (www.northstardental.com adresinden)

Akrilik bonded Hyrax genişletme aпараты, ilk defa 1973 yılında Cohen ve Silverman tarafından tanıtılmıştır (Resim 4.3). Bu aпараты, konvansiyonel Hyrax genişletme aпаратыyle benzer özelliklere sahiptir ancak destek dişlere bağlanma yöntemi farklıdır. Akrilik bonded genişletme aпараты, posterior segmentleri içine alan ve okluzal yüzeyleri kaplayan akrilik bir kısımdan oluşmaktadır (47).

Akrilik bonded Hyrax genişletme aпаратыlerinin avantajları arasında, karışık dişlenme safhasında bile tutuculuğunu kaybetmemesi, kolayca simante edilebilmesi, genişletme sırasında posterior dentoalveolar yapılarda meydana gelebilecek devrilme ve ekstrüzyon hareketlerinin az olması, ısırma bloğu etkisiyle anterior çapraz kapanışın düzeltilmesini kolaylaştırabilmesi ve genişletme sırasında okluzal interferensleri ortadan kaldırması bulunmaktadır (47, 48).



Resim 4.3. Akrilik bonded Hyrax genişletme apareyi (www.archwired.com adresinden)

Günümüze dek yapılmış pek çok çalışmada üst çene genişletme apareyleri arasında elde edilen genişletme sonuçları açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır (49–52). Tedavi sonrası lateral sefalogramlar üzerinde yapılan çalışmalarda, akrilik bonded Hyrax genişletme apareyinin konvansiyonel Hyrax genişletme apareyine kıyasla vertikal boyutlarda daha iyi kontrol sağladığı ortaya koyulmuştur (47, 53). Ancak üst çene genişletmesi sonrası devam eden kapsamlı ortodontik tedavinin sonunda, dişlerde meydana gelen settling ve büyümenin etkisiyle vertikal boyutlardaki değişikliğin geri döndüğü bildirilmiştir (54). Apareylerin posterior dentoalveolar yapılar üzerindeki devrilme etkilerinin kıyaslandığı çalışmalarda, konvansiyonel ve bonded Hyrax apareylerinin her ikisinin de anlamlı derecede dentoalveolar devrilmeye neden olduğu bildirilmiştir. Ancak akrilik bonded Hyrax genişletme apareyinin alveolar proses ve molarlarda meydana getirdiği devrilme miktarı, konvansiyonel Hyrax genişletme apareyine kıyasla daha azdır (55).

4.4. Kök Rezorpsiyonu Tarihçesi

Kök rezorpsiyonu kavramı, ilk olarak Bates'in 1856 yılında daimi dişlerde kök rezorpsiyonunu tartışmasıyla ortaya çıkmıştır (56). Sonrasında, 1914 yılında Ottolengui tarafından ortodontik tedavi ile ilişkilendirilmiştir (57). Kök yüzeyinde gerçekleşen olayın rezorpsiyon mu yoksa absorpsiyon mu olduğuna dair ortaya çıkan terminolojik karmaşada, Becks ve Marshall 1932 yılında “doku tahribi olmuş ve bunun yerini kan ve lenf akışı almış olan tüm vakalarda, medikal veya dental literatür olarak bunun adı sadece rezorpsiyon olmalıdır” sonucuna varmışlardır (58).

Ketcham, ortodontistlerin tüm vakaları için tedavi öncesi radyografik tetkiklerin temininden ve arşivlenip sık sık gözden geçirilmesinin öneminden bahsetmiştir ki; bu

söylem Rudolph'u ortodontik tedavi görmekte olan bireylerde kök rezorpsiyonunu değerlendirmeye yönelik çalışmalar yapmaya itmiştir (59). Rudolph, ortodontik tedaviden önce herhangi bir kök rezorpsiyonu belirtisi olmayan 439 bireyin dahil edildiği çalışmasında, tedavi başlangıcında ve tedavi süresince birer yıl aralıklarla alınan radyografilerde kök rezorpsiyonunu değerlendirmiştir. Araştırmacı, tedavinin ilk yılının sonunda bireylerin %49'unda, ikinci yılın sonunda ise bireylerin %75'inde kök rezorpsiyonu olduğunu gözlemlemiştir (60).

Ortodontik tedavi ile kök rezorpsiyonu arasındaki ilişkiyi etkileyen pek çok faktör vardır. Bu faktörler arasında tedaviye başlama yaşı, tedavi süresi ve cinsiyet pek çok araştırmada ön plana çıkmaktadır. Optimal kuvvet sistemi, periodontal ligamende yeterli biyolojik yanıtın oluşturulabilmesi için önemlidir. Kuvvet tipi ve büyüklüğünün veya tedavi süresinin, oluşan hyalinize doku miktarı veya kök rezorpsiyonu gibi istenmeyen doku reaksiyonları ile ilişkili olduğu bulunmuştur (61, 62). Schwartz biyolojik olarak en iyi tedavinin kapiller kan basıncını aşmayan kuvvetler uygulandığında elde edildiğini bildirmiştir. Bu kuvvet yaklaşık olarak 1 cm² yüzey için 20-26 gramdır (93). Belirtilen sınırlar dahilinde uygulanan kuvvetlerle kök rezorpsiyonu gelişme ihtimali ve rezorpsiyonun şiddeti azaltılabilir.

Becks ve Marshall'ın (58) literatüre getirdikleri kök rezorpsiyonu tanımından bugüne kadar, 'kök rezorpsiyonu ve ortodontik tedavi' konulu histolojik, klinik ve fizyolojik pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Güncel literatürlerde bu ilişkiyi yansıtabilecek şekilde 'ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu' tanımı kullanılmaktadır (33, 36).

4.5. Ortodontik Olarak İndüklenmiş İnflamatuvar Kök Rezorpsiyonu

Wehrbein ve ark., ortodontik kuvvet uygulamasının bölgesel olarak tipik bir inflamatuvar süreci başlattığını bildirmiştir (63). Bu sebeple, ortodontik kuvvetlerin tetiklediği kök rezorpsiyonu için ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu (OIKR) terimi kullanılmaya başlanmıştır (33, 36).

Ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu, rezorpsiyon şiddetine göre üç tipe ayrılmaktadır;

1. Remodeling ile birlikte gerçekleşen sement veya yüzey rezorpsiyonu; bu safhada sadece sementin dış tabakası rezorbe olmakta, sonrasında tamamen rejenere ya da remodele olarak tamir gerçekleşmektedir.

2. Tamirle birlikte gözlenen dentin rezorpsiyonu; bu safhada sement ve dentinin dış tabakası rezorbe olmakta ve genellikle sement yığılımıyla tamir gerçekleşmektedir. Rezorpsiyon ve formasyon süreçlerinden sonra kökün son şekli orjinal formunda olabilir veya olmayabilir.
3. Çevresel kök ucu rezorpsiyonu; bu aşamada kök ucundaki tüm sert doku komponenti rezorbe olmuştur ve sonuç olarak kök boyu kısalmıştır. Kök ucundaki madde kaybı sementin altındaysa rejenerasyon mümkün değildir. Dış yüzeyin tamiri genellikle sement tabakasında meydana gelmektedir (24).

Bir dişe ortodontik olarak kuvvet uygulanmasıyla gelişecek basınç tarafındaki biyolojik olaylar zinciri, sıkışan periodontal ligamentteki kan akımının bozulması ile başlamaktadır. Artmış basınç alanlarında kan akımının bölgesel olarak bozulmasıyla meydana gelen hücre ölümü, steril bir koagülasyon nekrozu (hyalinize doku) gelişimine yol açmaktadır. Ortodontik diş hareketi, oluşan bu hyalinize dokunun makrofajlar ve hyalinize dokuya yakın osteoklastlar tarafından dolaylı (indirekt) yolla rezorpsiyonu sonucu gerçekleşmektedir (64). Yapılmış pek çok çalışmada, kök rezorpsiyonu sürecinin, periodontal ligamentin hasarlanması ve hyalinizasyonu sonucunda periodontal ligamentte meydana gelen remodelinge ilişkili olduğu bildirilmiştir (14, 65, 66). Benzer şekilde, bazı histolojik çalışmalarda, OIKR'nin ortodontik kuvvetin uygulanmasından kısa bir süre sonra basınca maruz kalan kök yüzeylerine komşu alanlarda oluşan hyalinize dokunun ortadan kaldırılma sürecinin bir parçası olduğu bildirilmiştir (24, 64-68).

Mineralize dokuların (kemik, dentin, sement) rezorpsiyon süreci özetle şu basamakları içermektedir: (I) hematopoetik klast hücre öncüllerinin çoğalması, (II) tek çekirdekli klast hücrelere farklılaşması, (III) öncül hücrelerin çok çekirdekli klast hücrelerini oluşturmak üzere birleşmesi (füzyonu), (IV) klast hücrelerin rezorbe edilecek alana göçü, (V) klast hücrelerin mineralize yüzeye bağlanması ve sitoplazmik sıkı bağlantının oluşması, ve (VI) rezorpsiyon lakünündeki düşük pH sonucunda meydana gelen rezorpsiyon (71).

Ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonunun ilk atağı, hyalinize alanın merkez kısmına komşu bölgeden değil, hala canlı hücrelerin bulunduğu periodontal membrana yakın olan çevre bölgeden başlamaktadır (67). Periodontal ligamente komşu hyalinize alanın ortadan kaldırılması sırasında, sement tabakasının üzerini örten, kökün dış yüzeyine yakın mineralize olmayan presegment tabakası hasar görebilmektedir. Mineralize

olmamış ya da mineralizasyonu tamamlanmamış sert doku, mineralize dokuya kıyasla daha zor rezorbe olmaktadır. Mineralize olmayan presegment tabakası ve hücreleri kök yüzeyinde bir yüzey kaplaması gibi davranarak rezorpsiyona direnç göstermektedirler. Bu durum, sementin nonkolajenöz organik yapısına dayanmaktadır (68). Mineralize olmayan presegment dokunun ortadan kalkması, rezorpsiyona karşı daha dayanıksız olan mineralize sement dokusunun açığa çıkmasına neden olmaktadır. Hyalinize dokuyu istila eden ve bu alana komşu kök yüzeyinin presegment tabakasını uzaklaştıran hücreler, bitişik sağlıklı PDL'den köken almaktadırlar (64). Rezorpsiyon mekanizmasında ilk olarak monositler, pro-inflamatuvar sitokinlerin salınımı ile çoğalıp hasarlı veya zedelenmiş bölgeye doğru toplanmaktadırlar. Bu komşu hücrelerin hyalinize alanın periferindeki mineralize olmamış presegment dokuya invazyonu ile kök rezorpsiyonu sürecinin ilk safhası başlamış olur. Tartarata dirençli asit fosfataz boyası kullanılarak yapılan çalışmalarda presegmente penetre olan ilk hücrelerin klastik veya klast-benzeri hücreler olmadığı (65); hyalinize alanda gözlenen ilk hücrelerin makrofajlar olduğu (72) gösterilmiştir. Asıl görevleri hasarlı dokunun ortadan kaldırılması olan makrofajlar, monositlerden farklılaşmaktadırlar. Makrofajların hasarlı bölgeye göçü, makrofaj kemotaktik faktörler tarafından düzenlenmektedir. Makrofajlar, yapısal olarak osteoklast/odontoklastlara benzemekte ve çok çekirdekli dev hücrelere dönüşebilmektedirler. Ancak klast hücrelerdeki gibi fırçası kenara sahip olmadıkları için kök yüzeyine bağlanamazlar ve dentin yüzeyinde lakün oluşturamazlar (73). Klast hücreleri, organelsiz sitoplazmik bölge ve fırçası kenardan oluşan özelleşmiş membran yapısı ile karakterizedir. Birlikte çalışan bu iki membran yapısı rezorpsiyon sürecinden sorumludur. Klast hücrenin mineralize doku yüzeyi ile etkileşimi, fırçası kenarda bulunan pek çok sitoplazmik uzantı ile sağlanmaktadır. Organelsiz sitoplazmik bölge, kontraktıl proteinlerden zengindir ve fırçası kenarı çevrelemektedir. Klast hücreindeki podozom adlı yapılar, organelsiz sitoplazmik bölgede bulunan mikroflamanların organize olması sonucu oluşmaktadır ve hücreye hareket özelliğini kazandırmaktadır (74).

Klast hücre, fırçası kenar ile iki tip madde salgılamaktadır; (I) lizozomlarından serbestlenen proteolitik enzimler ve (II) mitokondri ile salgı veziküllerinden serbestlenen sitrik asit ve laktik asit gibi bazı asitler. Enzimler, klastik hücrenin bağlı olduğu yüzeyin organik matriksini sindirir ya da eritirken; asitler de yüzeydeki tuzları eritmektedirler (75). Klast hücrenin ilgili mineralize yüzeyde rezorpsiyon başlatabilmesi için önce bu yüzeye

bağlanması ve ardından organelsiz sitoplazmik yapı ile sıkıca çevrelenmiş fırçamsı kenar oluşturarak, fırçamsı kenar altında kalan kemik yüzeyinde asidik bir çevre meydana getirmesi gerekmektedir. Bu asidik ortam, fırçamsı kenar membranından salınan vakuoler tip H^+ -ATPaz ile mümkün olmaktadır. Asidik ortamda hidroksiapatit kristallerinin çözünmesi ile kolajenöz matriks açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan kolajenöz yapı, klast hücrelerinden salınan başlıca lizozomal sistein proteinazlar ve katepsinler ile bozulmakta ve rezorpsiyon lakünleri meydana gelmektedir (76).

İlk olarak hyalinize dokunun çevresinde başlayan kök rezorpsiyonunu, 3-4 gün sonra gelişen, hyalinize dokunun merkezinde ve komşu kemik dokuda devam eden rezorpsiyon safhası takip etmektedir. Hyalinize dokunun merkez kısmının ortadan kaldırılması sırasında dahil olan hücre nüfusu, hyalinize dokunun çevre bölgesinde ilk atağı gerçekleştiren hücrelerden farklıdır; bu safha farklı hücrel aktivitelere yönetilmektedir. Hyalinize dokunun merkez kısmının ortadan kaldırılması sırasında TRAP-pozitif boyanan çok çekirdekli hücrelerin aktif olduğu gözlenmiştir (77). Bu hücreler, sert doku yüzeyinden uzakta olan çok çekirdekli hücreler, alveol kemiğini rezorbe eden ve kemik iliği boşluklarından hyalinize dokuya invaze olan osteoklastlar ya da odontoklastlar olabilir. Diş kökünün rezorpsiyonunda rol olan hücrelere odontoklast denilmektedir. Odontoklastlar, osteoklastlarla yapısal olarak benzerdir. Rezorpsiyon lakününde bulunan aktif odontoklastlar tıpkı osteoklastlar gibi organelsiz sitoplazmik bölge ile çevrili iyi gelişmiş bir fırçamsı kenara sahiptir (78). Odontoklastların çok sayıda çekirdek, mitokondri, vezikül, granül ve vakuole sahip olması osteoklastlara benzer diğer özellikleridir (79-81). Odontoklastların tıpkı osteoklastlar gibi hematopoetik hücrelerden ayrıldığı düşünülmektedir (82). Diş pulpasında ve periodontal ligamentte bulunan bu öncül hücreler, katepsin K, katepsin D, tartarat dirençli asit fosfataz (TRAP), matriks metalloproteinaz (MMP)-9, H^+ -ATPaz, Membran tipi 1 (MT1)-MMP ekspresyonu yapabilmeleri gibi osteoklastlarla benzer özellikleri paylaşmaktadırlar (83, 84). Osteoklastlar ile dişi rezorbe eden hücrelerin (odontoklastlar, dentinoklastlar, sementoblastlar) aynı hücreler olup olmadığı bilinmemektedir (73). Ancak osteoklastlar ile odontoklastlar arasında yapısal ve sitokimyasal açıdan bir fark olmadığı bildirilmiştir (85). Makrofaj-koloni stimulan faktörün hem osteoklastogenezis, hem de odontoklastogenezis üzerinde uyarıcı bir etkiye sahip olması, osteoklastlar ile odontoklastların birbirleriyle benzer hücreler olduğunu destekler niteliktedir (86).

Kemik iliğindeki osteoklastlar hyalinize dokuya komşu alveol kemiğini rezorbe ederek yaklaşmaktadırlar ancak alveol yüzeyinde bir bariyer gibi işlev gören osteoid tabakanın ortadan kalkmasından sonra kemik iliği kaynaklı osteoklastların hemen hyalinize dokuya göç ettiklerine dair kesin bir kanıt bulunamamıştır (77). Odontoklastların hyalinize dokunun merkez kütlelerinin hemen altındaki kök yüzeyindeki hasardan sorumlu olduğu düşünülmektedir. Sharpey liflerinin kesintili oluşu ve sement yüzeyi incelemeleri hasarı ortaya koymaktadır.

Kök rezorpsiyonu sürecinde biyokimyasal sinyaller, hücre hasarı veya kök yüzeyini koruyan bariyerin ortadan kalkmasıyla ilgili mekanizmalar olduğu kabul edilmektedir (24, 61, 69-72). Ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu süreci iki yolak içermektedir (87, 88). İlki, ATP / P2XR7 / IL-1b inflamasyon modülasyon yolağı aracılığıyla odontoklastik hücrelerin aktivasyonunu gerektirmektedir. Dokunun lokal hasarı, makrofajlar veya diğer hücre tipleri üzerindeki reseptör P2XR7'yi aktive edebilen ATP üretimi ile sonuçlanarak, IL-1b de dahil olmak üzere artan sitokin salınımına yol açabilmektedir. Bu tür sitokinler, apoptotik hücreleri elimine etmek ve daha ileri nekrozu önlemek için daha fazla monosit ve makrofaj toplayabilmektedir. Hem P2XR7, hem de IL-1b eksik olan farelerde, kontrol grubuna kıyasla deneysel ortodontik tedavi sırasında anlamlı derecede daha fazla kök rezorpsiyonu gözlenmiştir (88, 89). Aynı şekilde, IL-1b polimorfizmleri olan hastalar ortodontik tedavi ile ilişkili olarak kök rezorpsiyonuna daha yatkındır (90).

İkinci yolak, osteoklast oluşumunun ve aktivasyonunun RANK/RANKL/OPG aracılığıyla düzenlenişini (regülasyonunu) içermektedir. İnflamatuvar süreç tarafından indüklenen aşırı osteoklast aktivitesi, kök rezorpsiyonunu daha da kötüleştirir. Artmış miktarda lokal OPG ortodontik diş hareketini ve kemik modelingini engelleyebilmektedir (61, 62). Yakın zamanda yayımlanan, ortodontik tedavi gören hastalar üzerinde yürütülen bir çalışmada, OPG geninin tek bir nükleotidindeki polimorfizminin kök rezorpsiyonu ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (88). Osteoklast aktivasyonunun hedeflenmesi, kök rezorpsiyonunu modüle edebilmektedir. Bu nedenle, osteoklast oluşumuna ve aktivasyonuna müdahale eden herhangi bir risk faktörü, aslında kök rezorpsiyonunu tetikleyebilmekte ya da azaltabilmektedir. Kemik rezorpsiyonunda rol alan aktif osteoklastlar yüksek miktarda tartarata dirençli asit fosfataz (TRAP) içeriğine sahiptirler. Asit fosfataz, yüksek aktiviteye sahip lizozomal bir enzimdir. Çok çekirdekli

aktif osteoklast sitoplazmasında bulunan bu spesifik izoenzim tartarik asit tarafından inhibe edilmeye dirençlidir. Tartarata dirençli asit fosfataz boyası ile boyanabilen (TRAP-pozitif) bir hücrenin tartarik asite dirençli olduğu yani osteoklast veya osteoklast öncülü bir hücre olduğu anlaşılmakta, dolayısıyla bu boya rezorptif klast hücrelerini lokalize etmek amacıyla kullanılmaktadır (91). Kök rezorpsiyonunda başlıca sorumlu olan hücrelerin osteoklast benzeri hücreler olduğu kabul edilmiştir (65, 77, 92). Ancak hyalinize dokunun ortadan kaldırılmasında rol alan ilk hücreler, hyalinize alanın çevresinde (periferinde) gözlenmiştir ve TRAP-negatif boyanmıştır. Makrofaj benzeri hücreler olarak adlandırılan ve TRAP-negatif boyanan bu tek çekirdekli hücreler büyük olasılıkla steril nekrotik dokudan yani hyalinize dokudan gelen biyokimyasal sinyaller ile aktive olmaktadır.

Henüz bilimsel kanıtlarla ortaya koyulmamış ancak üzerinde çalışılmaya devam edilen, geçerliliği kuvvetle muhtemel fikirler şunlardır (77):

1-Hyalinize olmuş periodontal membran dokusunu ortadan kaldıran çok çekirdekli TRAP-pozitif hücrelerin sayısı kök rezorpsiyonu arasında bir ilişki olabilir.

2-Uygulanan ortodontik kuvvet miktarıyla ilişkili olarak meydana gelecek periodontal membrandaki hasarın derecesiyle farklılaşmamış çok çekirdekli hücrelerin farklılaşması arasında bir ilişki olabilir.

4.6. Üst Çene Genişletme Apareylerinin Kök Rezorpsiyonu Üzerindeki Etkisi

Üst çene darlığı problemlerinde uygulanan hızlı üst çene genişletmesinin pek çok klinik faydasının yanı sıra genişletme safhası boyunca meydana gelebilecek komplikasyonları da bulunmaktadır. Apareyin ortasındaki vidanın her bir tur çevrilmesiyle 1300 ile 4500 g arasında değişen yüksek bir kuvvet oluşmakta ve oluşan kuvvet destek dişler aracılığı ile üst çeneye iletilmektedir (2). Ağır ortodontik kuvvetlere maruz kalan dişlerde kök rezorpsiyonu kaçınılmaz bir yan etkidir. Bu sebeple hızlı üst çene genişletmesi uygulamasında karşılaşılabilecek komplikasyonlar apareyle ilgili teknik problemler olabileceği gibi destek alınan dişlere uygulanan ağır kuvvetler sonucu meydana gelebilecek kök rezorpsiyonu gibi biyolojik problemler de ortaya çıkabilmektedir. Hızlı üst çene genişletmesi sonrasında destek alınan dişlerde istenmeyen bir yan etki olarak meydana gelen kök rezorpsiyonu pek çok kez araştırmalara konu olmuştur.

Odenrick ve ark. (94), bir kız ve bir erkek olmak üzere toplam iki vakada gerçekleştirdikleri HÜÇG uygulaması sonrası, destek alınan üst birinci küçük azı

dişlerindeki kök rezorpsiyonlarını radyografik ve histolojik olarak incelemişler; dişlerin kök yüzeylerinde aktif rezorpsiyon alanları olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sicher ve Bhaskar (95), bir diş ortodontik bir aparey ile hareket ettirildiğinde hareket yönündeki basıncın hem kemik hem de sement yüzeyinde eşit olduğunu, dolayısıyla kemikte olduğu gibi sementte de rezorpsiyon beklenebileceğini bildirmiştir. Araştırmacılara göre basıncın yoğunluğunun azalmasının hemen ardından rezorpsiyon alanlarında tamir başlayacağından, aparey bünyesinde bulunan rezidüel kuvvetlerin pekiştirme periyodu boyunca azalması, destek dişlerin kök yüzeylerindeki rezorpsiyon alanlarında tamirin gerçekleşebilmesine izin verecektir. Zimring ve Isaacson, bu rezidüel kuvvetlerin çoğunun pekiştirmenin ilk haftasında, geri kalanının ise yaklaşık altı haftalık bir sürede kaybolduğunu bildirmiştir (22).

Odenrick ve ark.(96), beş kız ve dört erkek bireyde Hyrax ve Haas apareylerinin küçük azılardaki kök rezorpsiyonları üzerindeki etkilerini kıyaslamışlar ve pekiştirme döneminin uzunluğuyla kök rezorpsiyonu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışma kapsamında vida aktivasyonu, günde iki çeyrek tur (0,5 mm) olmak üzere toplamda maksimum 7 mm genişletme sağlayacak şekilde yapılmıştır. Hızlı üst çene genişletmesi ve ardından farklı sürelerdeki pekiştirme dönemlerinden sonra üst birinci veya ikinci küçük azı dişi çekimleri yapılarak dental arkların seviyelenmesi planlanmıştır. Diş çekimleri öncesinde yapılan radyografik değerlendirmede, küçük azı dişlerinin etrafındaki periodontal ligament alanlarında genişleme gözlenirken, kök rezorpsiyonu belirtisine rastlanmamıştır. Oysa çekilmiş dişlerden elde edilen histolojik kesitlerde, tüm küçük azı köklerinde rezorpsiyon alanları olduğu saptanmıştır. Baskın rezorpsiyon alanları küçük azı dişlerinin bukkal kök yüzeylerinde bulunmaktadır. Hyrax grubundaki bireylerin aksine, Haas apareyi uygulanmış bireylerden alınan örneklerde, iki küçük azı kökünün palatinal yüzeyinde de rezorpsiyon alanlarına rastlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, pekiştirme dönemi kısa tutulan bireylerde daha geniş rezorpsiyon alanlarına rastlanırken, daha uzun pekiştirme periyodu olan bireylerde daha küçük rezorpsiyon alanları olduğu bildirilmiştir (96).

Langford ve Sims'in yaptıkları bir çalışmada (97), HÜÇG tedavisi uygulanan bireylerde, 14-53 haftalar arasında değişen pekiştirme döneminden sonra üst birinci küçük azı dişleri çekilerek, çekilen dişlerin kök yüzeyleri ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. İncelenen küçük azı dişlerinin bukkal yüzeylerinde

geniş rezorpsiyon alanları görülmüş, bu alanlarda tamirin çoğunlukla hücresele sement ile gerçekleştiği saptanmıştır. Histolojik kesitlerde yapılan SEM incelemesinde periodontal lif ve demetlerin hücresele sementle tamir edilen yüzey dokusuna doğrudan invaze olduğu gözlenmiştir. Langford (98), güçlü relaps kuvvetlerinin üç aylık pekiştirme döneminden sonra kaybolduğunu ve pekiştirme süresindeki artışla birlikte rezorpsiyon alanlarındaki tamir dokusunun da arttığını bildirmiştir.

Erverdi ve ark. (11), 19 bireyde, doku destekli ve diş destekli iki farklı HÜÇG apareyinin destek dişlerdeki kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerini kıyaslamışlardır. Üst çene genişletmesinin ardından uygulanan üç aylık pekiştirme dönemi sonunda tüm üst birinci küçük azı dişleri çekilip histolojik olarak incelenmiştir. Diş çekimleri yapılmadan önce klinik ve radyografik değerlendirmelerde üst birinci küçük azı dişlerinin lamina duralarında genişleme gözlenmiştir. Histolojik incelemelerde ise bu dişlerin kök yüzeylerinde sadece sement veya hem sement hem de dentini içeren rezorpsiyon alanlarına rastlanmıştır. Rezorpsiyon alanları özellikle bukkal yüzeylerde gözlenirken, çalışmada uygulanan iki farklı yöntem arasında, meydana getirdikleri rezorpsiyon alanları açısından anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Baysal ve ark. (10), Hyrax apareyi kullanılarak yapılan hızlı üst çene genişletmesi sonrası, destek dişlerin kök yüzeylerindeki rezorpsiyonları konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile değerlendirmişlerdir. Çalışmada, genişletme öncesi ve genişletme sonrası kök hacimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu saptanmış, kök hacimlerindeki en fazla kaybın üst birinci büyük azı dişlerinin meziobukkal kökünde olduğu gözlemlenmiştir. Destek dişlerdeki kök hacmi kaybı orantısız olarak düşünüldüğünde dişler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Akyalçın ve ark. (99) da HÜÇG sonrası destek dişlerdeki kök rezorpsiyonlarını ve yüzey değişikliklerini KIBT ile değerlendirmişler; Baysal ve ark. (10)'nın çalışmasıyla benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Genişletme sonrası kök hacimlerindeki kayıp en fazla bukkal yüzeyde olmakla birlikte, kök ucunda da gözlenmiştir. Bu çalışmayı, Baysal ve ark.'nın çalışmasından ayıran özellik, çalışmaya dahil edilen bireylerde alt birinci büyük azı ve birinci küçük azı dişlerini içeren kontrol grubu oluşturulmasıdır. Kontrol grubuna ait ölçümlerde kök hacimlerindeki istatistiksel olarak anlamlı olmayan artış, okluzyon değişimlerine bağlı devam eden sement formasyonu ya da ölçüm hatası olabileceği şeklinde açıklanmıştır. Üst çene birinci

büyük azı ve birinci küçük azı dişlerinin kök boylarında anlamlı derecede kısalmaya rastlanırken, kontrol grubuna ait dişlerin kök boylarında bir değişim gözlenmemiştir (99).

4.7. Kök Rezorpsiyonu İnceleme Teknikleri

Kök rezorpsiyonu kraterlerinin değerlendirilmesi için geçmişten günümüze kadar pek çok inceleme teknikleri kullanılmıştır. Bu tekniklerden ilki 1929 yılında daimi dişlerde kök ucu rezorpsiyonunun değerlendirilmesi için kullanılan periapikal radyografiler olmuştur (59). Kök rezorpsiyonu hakkında bilgi vermesi amacıyla, ortodontik tedavinin başında, ortasında veya sonrasında alınacak radyografiler klinik değerlendirme için uygunken, radyografinin çeşitli derecelerde magnifikasyonlara sahip olması kantitatif değerini belirsiz kılmaktadır. Şiddetli kök rezorpsiyonu, kök boyunda kısalma olması nedeniyle konvansiyonel radyografiler ile tespit edilebilse de iki boyutlu konvansiyonel radyografiler, tüm kök yüzeylerinde oluşabilen üç boyutlu bir fenomen olan rezorpsiyon kraterlerinin değerlendirilmesinde büyük oranda yetersiz kalmaktadır (100, 101). Hızlı üst çene genişletmesi uygulaması sonrasında destek dişlerin çoğunlukla bukkal kök yüzeylerinde rezorpsiyon alanları olduğu düşünüldüğünde, konvansiyonel radyografilerin bu tip çalışmalarda metodolojik olarak yetersiz kalacağı açıktır (11, 96, 97, 99, 102).

Kök rezorpsiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir yöntem, seri histolojik kesitlerin ışık mikroskopuyla incelenmesidir. Bu yöntemle konvansiyonel radyografilere kıyasla daha hassas ve doğru veriler elde edildiği bildirilmiştir (34). Ancak Chan ve Darendeliler'e göre bu tekniğin de kusurları vardır. Örneklerin seri şeklinde, mikrotomla dört mikron kalınlığında, longitudinal olarak bukkal-lingual yönde kesitler alınarak hazırlanması sebebiyle, bu tekniğin örnekler için bütünlüğü bozucu olduğu düşünülmüştür (35). Rezorpsiyon kraterleri çeşitli derinlik ve genişliklerde, kök yüzeyinin herhangi bir yerinde bulunabilmektedir. Kesitlerin hazırlanması sırasında mikrotom kesisi, düzensiz C şekilli kraterlerin ve/veya küçük kraterlerin kısmen veya bütünüyle kaybolmasına veya yanlış yorumlanmasına neden olabilmektedir. Dahası, insan üst birinci küçük azı dişlerinin farklı kök morfolojisi ve anatomisine sahip olmaları sebebiyle, dişin uzun aksı boyunca düzgün longitudinal kesitler almak oldukça zordur. Bu durum, kök ucundaki ve hatta kökün orta bölümündeki rezorpsiyon kraterlerinin kaybına neden olmaktadır. Tekniğe ait diğer bir kusur, mikroskop merceğine yerleştirilen mikrometrenin paralaks hatasını arttırmasıdır. Bu sebeplerden ötürü hazırlanan histolojik kesitlerin ışık mikroskopu altında ölçülmesinden elde edilen kantitatif değerler şüphelidir (35).

Işık mikroskoplarının 250 nm'den daha küçük ayrıntıları gösterememesi sebebiyle gelişen teknolojiyle birlikte elektron mikroskopları kullanılmaya başlanmıştır. Taramalı elektron mikroskopunda (SEM) görüntü örnekten yansıyan elektron ışınlarıyla, geçirmeli elektron mikroskopunda (TEM) ise görüntü örneğin içinden geçen elektron ışınlarıyla oluşturulmaktadır. İncelenecek materyal ile etkileşimin ardından farklı açılarda saçılan elektronlar dedektör tarafından toplanır ve toplanan verilerin mikroskopun yazılımınca analizi neticesinde görüntü elde edilmektedir. Her iki mikroskop için örneklerin belli bir hazırlanma aşaması vardır (103). Geçirmeli elektron mikroskobu (TEM), SEM'e göre çok daha detaylı bilgi altyapısı ve zahmetli numune hazırlama işlemi gerektiren bir mikroskoptur (104). Kesit kalınlığının SEM'de incelenecek örneklere kıyasla daha ince olması gerekmektedir. Taramalı elektron mikroskobu daha çok yüzey morfolojilerini incelemeye yönelikken, TEM ile örnekler daha detaylı ve derinlemesine incelenmektedir. Yani rezorpsiyon kraterinin kantitatif olarak değerlendirilmesi için SEM tercih edilirken, rezorpsiyon kraterinin ultrayapısal düzeyde incelenebilmesi için TEM tercih edilmelidir. Odaklama ile çeşitli derinlikte görüntüler elde edildiğinden, sadece üç boyutlu hissi veren bir görüntü elde edilmektedir. İncelenecek örnek yüzeyinin eğimli olması, küçük azı dişlerinin kökleri gibi, krater yüzeyinden mutlak bir düzlükte görüntü almayı zorlaştırmaktadır. Bu durum da belirgin bir şekilde paralaks hatasına ve dolayısıyla yanlış ölçümlere neden olmaktadır (35).

Bilgisayar biliminin 1990'lı yılların sonunda geçirdiği evrim, dental ve maksillofasial görüntülemeye konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) kullanımı için bir başlangıç noktası olmuştur. Radyografiler, histolojik kesitler ve elektron mikroskopundaki değerlendirmelerle ancak iki boyutlu veriler elde edilebilmektedir. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi yüzey yapılarının daha doğru incelenebilmesi için ihtiyaç duyulan üçüncü boyutu sağlamaktadır. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi, çok kesitli konvansiyonel bilgisayarlı tomografilere kıyasla daha yüksek çözünürlüğe ve daha düşük radyant dozuna sahip olması özellikleriyle diş hekimliği pratiğinde kolayca yer edinmiştir (105).

Baysal ve ark., HÜÇG uygulaması sonrası posterior dişlerdeki kök rezorpsiyonlarını değerlendirmek amacıyla elde ettikleri KIBT verilerini yüzey ve hacim görüntüsü oluşturmak üzere bilgisayar yazılımına aktarmışlardır. Yazılım ile diş ve kemik yoğunluk farklarına dayanarak dokuların segmentasyonu gerçekleştirilmiş ve kök yüzeylerinin üç

boyutlu yeniden yapılandırılmaları ile çeşitli yönlerden incelenebilir ve kantitatif olarak ölçülebilir görüntüler elde edilmiştir (10). Benzer bir çalışmada KIBT ile elde edilen veriler bilgisayar yazılımına aktarıldıktan sonra diş ve kemik yapılarının segmentasyonu gerçekleştirilmiş ve sterolithografik görüntüler elde edilmiştir (99). Molen (109), kullanılan görüntüleme cihazına (KIBT) ait voksel boyutunun, saçılan radyasyonun, artefaktın ve ilgili diğer faktörlerin çalışmada kullanılan doku segmentasyonu ve üç boyutlu yeniden yapılandırma tekniklerini etkileyebileceğini, bu faktörlere bağlı olarak kök yüzeyi, sement ve alveolar kemik sınırlarının belirlenmesinin güçleşebileceğini bildirmiştir. Bu nedenle, araştırmacılar çalışmada elde edilen sonuçların mevcut olan teknolojiyle sınırlı olduğu, teknolojinin gelişmesiyle yeni çalışmalara ihtiyaç olabileceğini belirtmişlerdir (106).

Konvansiyonel bilgisayarlı tomografi (BT) tarayıcılar incelenecek örneklerden 1-2 mm kalınlıkta kesitler almaktadırlar. Örneklerden alınan kesit sayısının çokluğu, yani kesit kalınlığının ince olması örnekten daha fazla bilgi alınmasını sağlayarak elde edilen görüntünün çözünürlüğünün artmasını sağlamaktadır (107). Çözünürlüğü artırabilmek için mikrometre düzeyinde kesit kalınlığı oluşturabilen mikrotomografi cihazları geliştirilmiştir. Mikrotomografi tarayıcılar 5-50 µm kalınlıkta kesit olarak yüksek çözünürlüklü taramalara olanak sağlamaktadır. Mikrotomografiden elde edilen verilerden çeşitli bilgisayar programları aracılığıyla ilgilenilen yapıları daha iyi gösteren üç boyutlu görüntüler oluşturulabilmektedir. Bu işlem üç boyutlu yeniden yapılandırma (3D rekonstrüksiyon) olarak adlandırılmaktadır. Son yıllarda diş hekimliğinin pek çok alanında yapılan *in vitro* çalışmalarda mikro-bilgisayarlı tomografi (mikro-BT) kullanılmaktadır (108). Voksel boyutu daha düşük olan mikro-BT tekniği ile çalışılan yüzeyin özelliklerinin ve morfolojisinin değerlendirilmesinde KIBT'e kıyasla daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

Yapılmış *in vitro* bir çalışmada, KIBT'in kök rezorpsiyonu kraterlerinin hacimsel ölçümündeki başarısını değerlendirebilmek için mikro-BT tekniği ile kıyaslama yapılmıştır (102). Çalışma sonuçlarına göre, KIBT verilerinin yazılım ile otomatik doku segmentasyonu oluşturulması sırasında artefaktlar oluşmaktadır. Bu artefaktların önüne geçebilmek amacıyla doku segmentasyonun manuel yapılması sistematik hatalara neden olabilmektedir. Konik ışınli bilgisayarlı tomografi, 3,47 mm³'den büyük rezorpsiyon kraterlerinin tespitinde oldukça iyi olsa da 1,07 mm³'den küçük olan kraterlerin tespiti için

yeterli hassasiyete sahip değildir. Daha güvenilir ve doğru sonuçlar için, voksel boyutu çözünürlüğünün artırılması, artefaktların giderilmesi, görüntü kalitesi ve yazılım algoritmasının geliştirilmesi gerekmektedir (102). Konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin, tanıdan ziyade bir ölçüm aracı olarak kullanılabilmesi için yazılımın doku segmentasyonu ve üç boyutlu yeniden yapılandırma işlemini doğru ve güvenilir şekilde gerçekleştirebilmelidir. Voksel boyutunun görüntü çözünürlüğünü ne derece etkilediğine dair yapılmış bir çalışmada, farklı voksel büyüklüğüne sahip KIBT (voksel büyüklüğü 200 ve 300 μm) ile elde edilmiş hacimsel ölçümler, mikro-BT (voksel büyüklüğü 41 μm) ile elde edilmiş hacimsel ölçümlerle kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, 200 μm 'a kadar voksel büyüklüğü olan KIBT ile elde edilmiş görüntülerde, maksimum geometrik bozukluklar gözardı edilebilir olsa da, 300 μm sonrası için kalitatif ve kantitatif ölçümlerin hata vermeye başladığı bildirilmiştir (109). Günümüzde, mikro-BT ile elde edilen ölçümler referans alınarak KIBT görüntülerinden elde edilen doğrusal ve hacimsel ölçümlerin başarısı ve doğruluğu değerlendirilmektedir. Bu sebeple çalışmamızda, kök rezorpsiyonu kraterlerinin *in vitro* olarak hacimsel ölçümlerinin mevcut en güvenilir yöntem olan mikro-BT cihazı kullanılarak yapılması tercih edilmiştir.

4.8. Lazer Hakkında Genel Bilgiler

4.8.1. Lazer

'Uyarılmış radyasyon yayını ile ışığın güçlenmesi' anlamına gelen 'Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation' tanımının baş harflerinden oluşan LASER akronimi, Türkçe'ye lazer olarak geçmiştir (110). Lazer teorisinin gelişimi kısmen Albert Einstein'a atfedilmektedir. Einstein 1916 yılında '*radyasyon için kuantum teorisi*'ni yayınlamıştır. Diğer önemli adımlar Arthur Shawlow, Charles Townes ve Teodor Maiman tarafından atılmıştır. Maiman'ın, ilk çalışan lazer olan yakut lazeri 1960 yılında bir basın konferansında sunmasından bugüne kadar, artan teknolojiyle birlikte gelişen lazerler tıpta cerrahi branşlar da dahil olmak üzere pek çok dalda kullanılmaya başlamıştır (111).

Lazer ışığını gün ışığından ayıran en önemli dört özellik; lazerlerin monokromatik, yüksek yoğunlukta, koherent ve paralel ışınlarla sahip olmasıdır. Tüm bu özellikler, lazer kaynağı tarafından üretilen lazer ışığının biyolojik dokuda ısınmaya neden olmadan lokal olarak seçici nüfusuna izin vermektedir (112).

Bir lazer cihazı, boyutları ne olursa olsun, bir enerji kaynağı, aktif ortam ve yansıtıcı aynalardan oluşmaktadır. Lazer kaynağı olarak ifade edilen aktif ortam, enerji kaynağından

gelen enerji ile yüklenmektedir. Aktif ortamda gaz karışımı, kristal veya likit bir bileşen bulunmasına bağlı olarak farklı lazer tipleri oluşmaktadır (110).

Aktif ortam, enerji kaynağından gelen enerjiyi depolamakta ve organize bir şekilde yaymaktadır. Bir foton, doğru enerji seviyesi ile enerji depolamış yani uyarılmış bir atomun elektromagnetik alanına girdiğinde, oluşan etkileşim sonucu atomun enerjisinin bir kısmı ile yeni bir foton oluşmaktadır. Bu durum radyasyonun uyarılmış yayını (emisyon) olarak tanımlanmaktadır. Etkileşime giren ilk foton değişikliğe uğramadan ortama geri dönmektedir. Özetle, ilk foton enerji yüklü atomun bulunduğu enerji seviyesinden başka bir enerji seviyesine geçmesine ve seviye geçişleri arasında açığa çıkan enerjinin foton olarak ortama salınmasına neden olmaktadır. Ortama salınan ikinci foton ilk fotonun salınımını takip etmek zorundadır. Böylece her iki foton birlikte salınım yapabilmektedir. Bu foton zinciri reaksiyonu lazer ışığının koherent ve monokromatik karakteristiği ile sonuçlanmaktadır. Lazerler diğer ışık kaynaklarının oluşturduğu geniş dalga boyu aralığındaki ışımdan farklı olarak, aktif ortamın sabit enerji seviyesinden dolayı her zaman sabit dalga boyunda (monokromatik) ışınım yapmaktadırlar (110, 113).

Lazer cihazının yapısında konumlandırılmış olan aynalar ışığı öne ve arkaya yansıtarak fotonların yüksek enerjili aktif ortamdan defalarca geçmesine yol açmakta ve bu aynalar arasında bir ışık seli oluşturmaktadır. Rezonans kavitesini oluşturan aynalar aktif ortamda üretilen ışığı defalarca tekrar aktif ortama geri yansıtmakta ve yeni ışık oluşumunu uyarmaktadır. Rezonans kavitesinin iki önemli görevi; aktif ortamın etkisini yükseltmek (amplifikasyon) ve ışığı daha koherent (düzenli ve senkronize) hale getirmektir. Rezonans kavitesinin uzunluğu ve aynaların düzenlenmesi ışığın ne kadar fazla ya da ne kadar paralel olacağını belirlemektedir. Aynalardan biri ya da her ikisi, ışığın lazerden çıkması için bir miktar transparan olarak seçilmektedir. Bu transparanlık sayesinde ışığın %80-99'u geri yansıtılmaktadır. Böylece lazerin içerisinde kalan güç her zaman çıkış gücünden daha fazla olmaktadır. Aynalar arasına yerleştirilebilecek değişik optik parçalar ile lazer ışığının dalga boyu, polarizasyonu ve atımı (pulse) belirlenebilmektedir (113).

Farklı dalga boylarındaki fotonlar farklı enerji seviyelerine sahiptir. Bu sebeple lazerin şekli ve klinik uygulamaları, lazerin sahip olduğu dalga boyuna göre değişebilmektedir.

Elektromanyetik radyasyon, geniş bir dalga boyu spektrumuna sahiptir. Bu spektrumun farklı bölümlerine farklı isimler verilmiştir. Görülebilir ışık 400-800 nm dalga boyu aralığındadır. Yaklaşık 10-100.000 nm aralığında dalga boylarının çoğu görülebilir spektrumun dışında olmasına rağmen, genellikle optik radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Bunun nedeni hem infrared (IR) hem de ultraviyole (UV) radyasyonun görülebilir ışıkla pek çok benzerliğinin olmasıdır. Bu sebeple optik bölgenin bir parçası olarak kabul edilirler (113).

Diş hekimliği ve tıpta kullanılan lazerlerin dalga boyu 193 nm ile 10600 nm arasında değişmekte ve mor ötesinden kızıl ötesine kadar geniş bir spektrumda bulunmaktadır (110).

4.8.2. Lazerin Tarihçesi

Medikal lazerler termal lazerlere kıyasla daha küçük, hafif ve ucuzdurlar. Tarihsel olarak tüm lazerler, kızıl ışın Helyum-Neon (HeNe) lazerlerdir. Seksenli yılların ikinci yarısından itibaren semikondüktör (yarı iletken) lazerler ortaya çıkmaya başlamıştır. İlk tipi 904 nm dalga boyuna sahip olan Galyum Arsenit (GaAs) süper atımlı lazerlerdir. Bunu, tipik olarak dalga boyu 820 veya 830 nm olan Galyum Alimünyum Arsenit (GaAlAs) lazerler ve ardından genellikle dalgaboyu 650 veya 660 nm olan İndiyum Galyum Alimünyum Fosfat (InGaAlP) lazerler takip etmiştir (114).

4.8.2.1. Birinci Jenerasyon 1975-1985

Piyasaya çıkan ilk lazer terapi cihazı HeNe lazerlerdir. Bu lazer, çıkış gücü 1-5 mW olan, görülebilir kızıl ışık yayan 633 nm dalga boyuna sahip bir gaz lazerdir. Oldukça geniş bir cam lazer tüpüne ve düşük basınçlı gaz karışımına sahiptir. Bu tip lazerlerin bugünkü tipik çıkış gücü 5-20 mW'dır. Lazer tüpünden doğruca çıkan ışık oldukça dar ve paraleldir (114).

4.8.2.2. İkinci Jenerasyon 1985-1995

Seksenli yılların ikinci yarısında ilk semikondüktör lazer piyasaya sürülmüştür. Semikondüktör lazerler genellikle diyot lazerler olarak adlandırılırlar. Bu tip lazerler küçük, sağlam ve yüksek voltaj ihtiyacı olmadığı için elektrikle kullanımları kolaydır. Diyot lazerlerle ilgili diğer bir detay, medikal uygulamada bir avantaj olan doğrusal polarize bir ışığa sahip olmasıdır. Diyot lazerler genellikle 10-20⁰ diverjan ışınlarla sahiptir ve bu ışınlar paralelleştirici lens ile paralel hale getirilir. Günümüzde bu lazerlerin çıkış güçleri, ilk çıktıkları dönemki diyot lazerlere kıyasla oldukça arttırılmıştır.

Piyasaya çıkan ilk diyot lazer Galyum Arsenit (GaAs) lazerdir. Dalgaboyu 904 nm ve süper atımlıdır. Bunun anlamı, ışığın çok kısa sürede (100-200 nanosaniye) çok güçlü atımlar yapmasıdır. Bu süper atımlı, kızılötesi (904 nm) ışığın HeNe lazerlere kıyasla daha yüksek doku penetrasyonuna sahip olduğu kısa süre içinde farkedilmiştir. Bu da günümüzde yüksek çıkış gücüne sahip GaAs lazerlerin kas iskelet problemlerinin tedavisi için hala kullanılabilir olmasını sağlamıştır (113).

Bir diğer semikondüktör lazer Galyum Alüminyum Arsenit (GaAlAs) lazerdir. 1987 yılında piyasaya sürülen GaAlAs lazerin dalgaboyu 820-830 nm ve çıkış gücü 10-20 mW'tır. Aslında bu lazerler dalgaboyları 750-850 nm ve 980 nm olan bir grup lazerdir. Günümüzde temel olarak iki tipi kullanılmaktadır; 808 nm ve 980 nm. Özellikle 808 nm dalga boyuna sahip diyot lazerler yüzlerce Watt güce sahip olabilecek kadar güçlü yapılabilmektedirler. Doku penetrasyonunda 808 nm diyot lazerler, 980 nm dalga boyuna sahip olanlara kıyasla daha iyidirler (114).

İleriki yıllarda (1988 civarı) İndiyum Galyum Alüminyum Fosfat (InGaAlP) lazerler kullanılmaya başlanmış ve HeNe lazerlerin yerini almaya başlamıştır. Ayrıca bu grup diyot lazerlerin dalga boyu 630-690 nm aralığındadır. Uzun bir isme sahip olması sebebiyle sadece İndiyum lazer olarak adlandırılır. Bugün en çok kullanılan tipi 650 nm dalga boyuna sahiptir (114).

4.8.2.3. Üçüncü Jenerasyon 1995-2005

Diyot lazerlerin yüksek etkinlikleri sebebiyle batarya ile çalışan cihazlar üretilmeye başlanmıştır. Ancak özellikle güçlü tipteki diyot lazerler için batarya zamanı rahatsız edici şekilde düşük olabilmektedir.

Bu zaman diliminde lazerlerle rekabet eden, bir diğer ışık kaynağı olan LED (light emitting diode) cihazları sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bazı cihazlarda LED ve lazer kaynakları birleştirilip, 'daha fazla dalga boyu- daha iyi etki' iddiasıyla piyasaya sürülmüştür.

Bu dönemdeki tipik bir terapötik lazer, bir ana ünite, ona bağlı bir veya birden fazla değişik başlık ve farklı ayar imkanları sunan dalga boyları içermektedir (113, 118).

4.8.2.4. Dördüncü Jenerasyon 2005 ve sonrası

Bu dönemde 532 nm ve 440 nm gibi yeni dalga boylarının kullanımı başlamıştır. Açık yaraların tedavisinde bazı başarıları belirtilmiştir. Batari kalitesi önceki jenerasyonlara göre oldukça iyidir ve uzun süre şarj edilmeden pek çok üniteyi

çalıştırabilmektedir. Cihazın ana ünite boyutu oldukça küçülmüş ve sıklıkla ana üniteye yerleşik güç ölçer bulunmaktadır. Bu dönemde değişen bir diğer şey de, artık cihazların otoriteler (CE, FDA vb.) tarafından tıbbi olarak onaylanmış olmasıdır (114).

4.8.3. Tedavi Dozu Tanımı ve Hesaplanması

Evrendeki en önemli temel yasalardan biri ‘enerji prensibi’ dir. Bu yasaya göre enerji varken yok, yokken var olamaz; sadece bir formdan diğerine dönüşebilir. Enerji genellikle ‘E’ ile ifade edilmektedir ve joule (J) bir enerji birimidir. Güç, genellikle P olarak ifade edilmektedir. Kuvvetli bir ışık kaynağı zayıf olana kıyasla daha yüksek güce sahiptir. Güç, watt (W) ile ölçülmektedir. Enerji ve güç arasındaki ilişkiyi zaman (t) belirlemektedir. $J = W \times t$ dir. Formülü açıklayacak olursak; joule birim saniyede watt cinsinden iletilen enerji miktarıdır (110, 113).

Tedavi dozu enerji yoğunluğu ile aynı anlamı taşımaktadır. Tedavi parametreleri içinde en önemlisi tedavi dozudur. Tedavi dozu, lazer uygulanan doku yüzeyinin her bir birim alanına düşen enerji miktarını tarif etmektedir.

Lazerin biyostimülatör etkisi biyolojinin Arndt-Schulz kanunlarıyla yönetilir. Örneğin zayıf uyarı fizyolojik aktiviteyi artırırken güçlü uyarı bu aktiviteyi azaltmaktadır. Optimal dozun ötesine geçildiğinde uyguladığımız dozun inhibitör bir etkiye sahip olacağı gözlenmektedir (115). Optimal tedavi dozu, uygulanacak yüzeyin özelliğine ve bireysel yanıtı göre çeşitlilik gösterecektir. Örneğin açık yarada optimal doz $1-2 \text{ J/cm}^2$ iken, kapalı ciltte $3-6 \text{ J/cm}^2$ ’dir (116). Doz, doku yüzeyine uygulanan enerji miktarı olduğu için şu şekilde formülize edilmektedir:

$$D (\text{Doz}) = P (\text{çıkış gücü-watt}) \times t (\text{zaman-saniye}) / A (\text{uygulanan alan-cm}^2) = E/A = \text{J/cm}^2$$

Uygun doz seçiminde; lazerin dalga boyu, çıkış gücü, kontakt veya non-kontakt modda çalışılması, uygulama yüzeyinin cilt veya müköz membran olması, doku tipi, çalışılacak doku derinliği, hastanın genel sağlık durumu gibi hesaba katılması gereken pek çok parametre bulunmaktadır (116).

4.9. Lazerin Biyolojik Dokular Üzerindeki Etkileri

Lazer ışınlarının dokuları etkilemesinde optik kanunları geçerlidir. Işın dokuda kısmen yansıma, penetrasyon, dağılma ve absorbe olmak üzere dört farklı davranış göstermektedir (117).

Lazer terapisi konusunda en önemli problem, radyasyon dozunun dokunun istenen derinliğe ulaştırılabilmesi ve lazer ışını enerjisinin biyolojik veya kimyasal enerjiye dönüştürülebilmesidir. Etketif biyoenerjenik lazer işlevi, spesifik dalga boyundaki lazer radyasyon enerjisinin istenen dokuya etkin absorpsiyon ve penetrasyonu ile sağlanır. Biyolojik dokular homojen olmadığından ışığın dokulara penetrasyonu karmaşıktır. Işın-doku ilişkisi ışığın dalga boyuna, radyasyonun enerji miktarına ve uygulama süresine bağlıdır. Işık, üstteki katmanlardan geçerken yansıtılır, dağılır ve kısmen emilir. Bu olayların miktarı radyasyona uğrayan dokunun türüne de bağlıdır. Lazer ve biyolojik dokular arasındaki ilişkileri belirleyebilmek için ışık dalgasının fiziksel parametrelerinin yanı sıra hedef dokunun özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir.

Tüm bunlardan anlaşılacağı üzere, elde edilecek etkiyi belirleyen ana faktör istenen doku derinliğinde transmisyon ve absorpsiyon süreçlerinin yüzde bakımından nasıl dağılım göstereceğidir. Bu lazerin dalga boyuna ve dokudaki su, hemoglobin ve melanin gibi fotoakseptörlerin miktarına bağlıdır.

Lazer ile kesme veya koagülasyon yapmak için dokuda ışın absorpsiyonunun baskın olacağı dalga boyu (lazer çeşidi) gerekirken; biyostimulan etkiler yaratmak için radyasyon transmisyonunun baskın olacağı optik aralıktaki dalga boyu seçilmelidir.

Biyostimülasyon için en uygun dalga boyu 550-950 nm arasındadır. Bu aralığın üzerindeki dalga boyları, dokunun yüzeysel tabakalarınca absorbe edilir ve derin dokular stimüle edilemez.

İrradyasyonda lazer cihazının çıkış gücü önemli faktörlerden biridir. Çıkış gücü 1-2 mW olan bir lazerle elde edilebilecek biyostimulan etkileri 100 kat güçlü bir lazerle elde etmek çok daha kolaydır. Yüksek güçlü lazerlerin yeterli enerjiyi daha derin dokulara taşıyabildiği düşünülmektedir. Işınlama süresinin artırılmasıyla enerji yoğunluğunun yetersizliği kompanse edilememektedir. Aynı miktar enerji farklı enerji yoğunluklarıyla dokuya verildiğinde her zaman aynı biyolojik yanıtı oluşturmamaktadır (116).

İrradyasyon esnasında istenen doku seviyesine ulaşılırken enerji kaybı meydana gelmektedir. Verilen radyasyon enerjisinin %50'sinin ulaştığı doku derinliğine 'yarı penetrasyon derinliği' denilmektedir. Ancak lazer dalgasının son fotonunun absorbe edildiği derinlikte bile biyostimülasyon provoke edilebilir. 'Tek foton teoremi' ne göre, uygun dokuda uygun süre için bulunan tek bir foton bile bir hücre veya biyoenerjetik süreci

stimüle edebilmektedir. Ancak derinlere indikçe, dokunun çeşitli tabakalarında biriken enerji katlanarak azalır.

Lazer radyasyonu uygulanan enerji gücüne göre biyolojik dokuda üç farklı etki yaratabilir. Radyasyonun dokular üzerindeki fotobiyolojik etkileri;

-fotobiyokimyasal etkiler

-fototermal etkiler

-fotoiyonizan etkiler olarak sınıflandırılmaktadır.

Fotobiyokimyasal etkiler, fotoindüksiyon (fotostimülasyon), fotorezonans ve fotoaktivasyondan ibarettir. Düşük ve orta güçteki lazerlerin kullanımıyla elde edilen bu etkiler biyostimülan süreci oluştururlar. Fotobiyokimyasal etkiler, 'fotodinamik' etkiler denilen bir alt grup içerirler. Tıpta fotodinamik süreçlerden neoplazmaların diağnoz ve tedavisinde yararlanılmaktadır.

Radyasyon dozunun arttırılmasıyla dokuda termal etkiler ortaya çıkmaktadır. Fototermal etkiler, optik radyasyonun dokuların koagülasyonu, buharlaşması veya karbonizasyonuna yol açacak ısı enerjisine dönüşmesinden kaynaklanmaktadır.

Kısa atımlı, oldukça yüksek güçte enerji verildiğinde ise dokuda fotoablasyon veya fotodisintegrasyon gibi termal olmayan, tahrip edici süreçlerden ibaret fotoiyonizan etkiler ortaya çıkmaktadır.

Yansıma (refleksiyon): Engele çarpan ışığın dalga şekli değışmeden, aynı düzlemde kalacak şekilde yön değıştirmesidir. Absorpsiyon minimaldir.

Geçme (transmisyon): Geçirgen cisme çarpan ışığın girişte ve çıkışta kırılarak karşı tarafa geçmesidir. Absorpsiyon minimaldir.

Saçılma (scatter): Işığın cisim içinde ve dışında her yöne rastgele dağılmasıdır. Fotonlar enerjilerini içine saçıldıkları atomlara çarparak kaybederler. Farklı yönlere dağılan enerji, girdiği dokuya anlamlı bir etki gösterememektedir.

Lazer dozu (enerji yoğunluğu), iki boyutlu olan uygulama yüzeyinden J/cm^2 birimi ile hesaplanmaktadır. Oysa lazer dokuya penetre olduğu andan itibaren cm^3 biriminde üç boyutlu bir alana dağılmaktadır. Cildin hemen altında ışığın üç boyutlu olarak dağılımında ışık yoğunluğu her derinlikte aynı değildir ve enerji yoğunluğunun dağılımı ışık yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Işığın dokudan geçerken saçılması ve absorbe olması sebebiyle derin dokularda doz azalmaktadır (117).

Lazerin doku penetrasyonunda kesin bir limit yoktur. Lazer ışığı doku yüzeyinden derinlere doğru ilerledikçe zayıflamaktadır. Lazer ışığının biyolojik olarak etkisinin kaybolduğu nokta aktif derinliğin en fazla olduğu yer olarak tanımlanmaktadır.

Işığın dokudaki penetrasyonunu etkileyen en önemli faktörler dalga boyu, süper atım, integral güç, yoğunluk, doku kontağı ve basınçtır. Uygulanan dokunun kanlı, yağlı, pigmente, kolajen, mukoza veya kemik doku olup olmaması da penetrasyonu etkilemektedir.

Farklı tip kemikler arasında bile ışığın absorpsiyonu açısından farklılıklar bulunmaktadır. Burada önemli olan kemiğin absorpsiyon katsayısıdır (116).

Oron (1996), 660, 780 ve 830 nm dalgaboyunda lazerlerin düz ince (0,6-0,7 mm) kemikteki ve kalın (3 mm) kemikteki penetrasyonunu ölçmüştür. Penetrasyondan sonra kalan gücün ince ve düz kemik için sırasıyla %21, %23 ve %14 ve kalın kemik için %4,5 olduğunu bildirmiştir (116).

Diğer bir faktör yansımadır. Eğer doku ile lazer başlığı arasında bir mesafe bulunmaktaysa toplam kayıp %10-20 iken, dokuyla kontakt modda çalışılırken ışığın yansıma kaybı %80'e kadar azaltılabilmektedir (119).

Lazer başlığının dokuya basınçla uygulanması da lazer ışığının dokuya penetrasyonunu arttıran bir faktördür. Dokudaki basınç, kanın uygulama alanından çevre dokuya kaçmasına sebep olmaktadır. Kanda bulunan hemoglobinin çoğu ışığın absorpsiyonundan sorumlu olduğu için kanın mekanik olarak ortamdaki uzaklaşması ile lazer ışığının penetrasyon derinliğinin artmasını sağlanmaktadır. Böylece kan hücrelerinden ziyade ortamdaki diğer hücreler lazer ışığını absorbe etmiş olmaktadır (116).

Lazer ışığının dalga boyunun dokuya penetrasyonu üzerindeki etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada, 904 nm ve 632,8 nm dalga boyundaki lazerler kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre 632,8 nm dalga boyuna sahip lazer ışığının 904 nm dalga boyuna sahip lazer ışığına kıyasla kas dokusu tarafından daha fazla absorbe edildiği bildirilmiştir (118).

4.10. Düşük Seviyeli Lazer Terapisi (DSLTL)

Düşük seviyeli lazer terapisinin etki mekanizması için iki farklı teori ortaya atılmıştır.

Biyostimülasyon teorisine göre, düşük enerjili lazer tedavisi ile tüm hücre fonksiyonlarının stimüle olduğu ileri sürülmüştür. Bu etki; biyokimyasal, proliferatif aktivitenin stimülasyonu veya inhibisyonu şeklinde olabilir.

Fotokimyasal teoriye göre, lazerin absorpsiyonu doku kromoforlarında (fotoresptörler) oluşur. Bu kromoforlar; enzim, hücre zarı molekülleri veya herhangi bir hücre içi veya hücre dışı molekül olabilir. Lazerin neden olduğu etkilerin, bu kromoforların aktivasyonuna bağlı olduğu ileri sürülmüştür (119).

Lazer ışığının biyolojik uyarımı fotobiyolojik bir olaydır. Birincil fotoresptörler mitokondriyal solunum zincirinin bileşenleri arasında birincil foto-alıcılar (fotoakseptör) bulunmaktadır. Düşük seviyeli lazer terapide uygulanan ışığın dozuna bağlı olarak solunum zinciri bileşenleri arasındaki foto-alıcıların uyarımı veya inhibisyonu ile sonuçlanabilmektedir. Düşük dozlarda ışınlama, hücre metabolizmasının redoks düzenlenmesine neden olurken yüksek dozlarda fotodinamik hasar hakimdir (120).

Xu, düşük seviyeli lazer terapisinin sıçanların kalvarial kemik hücrelerinde osteoprotegerin (OPG) ve mRNA'da bulunan RANKL salınımı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma sonuçlarında, düşük seviyeli lazer terapisinin osteoblast çoğalmasını ve farklılaşmasını doğrudan yükseltebileceği; osteoklast farklılaşmasını dolaylı olarak baskılayabileceği bildirilmiştir (121).

Esnouf, terapötik lazerin insan dokusundaki penetrasyon derinliğini değerlendirdiği çalışmasında 850 nm dalga boyuna, 100mW çıkış gücüne, 24 kHz frekansa ve 0,28 mm uygulama başlığı çapına sahip bir lazerin uyguladığı ışığın 0,784 mm kalınlığına sahip örnekten geçişi sırasında yoğunluğunun %66'sının kaybolduğu gözlenmiştir. Çalışma sonucunda, çoğu lazer ışığının ilk 1 mm'lik cilt dokusunda absorbe olduğu sonucuna varılmıştır (122).

Lazer terapisinin bir diğer özelliği de kümülatif olmasıdır yani bir seans önce uygulanmış lazer etkisi sonraki seansta uygulanan doza eklenebilmektedir. Bu nedenle kümülatif bir etkiyle optimal doz aşılıp inhibe edici etkiye dönmeden uygulama seansları arasındaki sürelerin iyi ayarlanması gerekmektedir (116).

Hawkins, enerji yoğunluğu ve uygulama sayısının hücre yanıtı üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği çalışmada, düşük doz lazer terapisi grubunda oluşan kümülatif etkinin uyarıcı, yüksek doz lazer terapisi grubunda oluşan kümülatif etkinin ise baskılayıcı bir etki oluşturduğunu bildirmiştir (123).

4.11. Ortodontide Düşük Seviyeli Lazer Terapisi

Düşük seviyeli lazer terapisi (DSLTL) ortodontik tedavi sürecinde farklı amaçlarla kullanılabilir. Düşük seviyeli lazer terapisinin en yaygın araştırılan kullanım alanı, ortodontik diş hareketi hızı üzerindeki etkileri olmuş, terapinin kemik remodelingini ve diş hareketini arttırabildiği gözlenmiştir. Torri ve Weber, kontrol ve plasebo gruplarına kıyasla DSLTL uygulanan gruplarda diş hareketinin hızlandığına dair pozitif etkileri bildiren literatürde 109 yayın olduğunu bildirmiştir (124).

Kawasaki ve Shimizu, yaptıkları hayvan çalışmasında, sıçanların molar dişlerine 10 g ortodontik kuvvet uygulayarak diş hareketi elde etmiş ve bu esnada lazer terapisi uygulamıştır. Lazer terapisinin uygulandığı grupta, kontrol grubuna kıyasla basınç tarafında osteoklast aktivitesinin arttığı gözlenmiştir (125).

Sudoh, 15 kedinin üst çene köpek dişlerine 100 g kuvvet uygulamış, ardından GaAlAs diyot lazeri gün aşırı olmak üzere iki hafta boyunca uygulamıştır. Lazer uygulanan gruptaki diş hareketi miktarının, çenenin karşıt tarafındaki lazer uygulanmayan kontrol grubuna kıyasla daha fazla olduğu bildirilmiştir. Lazer grubunda, kuvvet uygulanan dişin gerilim tarafında belirgin osteoblastik aktiviteyle birlikte yeni kemik depozisyonu gözlenirken, basınç tarafında TRAP+ osteoklastların sayısında ve alveol kemiği ile komşu hyalinize alan arasındaki kemik rezorpsiyonunda artış gözlenmiştir (126).

Osteoklastogenezis için RANK/RANKL/OPG sistemi genellikle gerekli ve yeterlidir. Fujita, sıçan molarlarında deneysel diş hareketi elde edilirken GaAlAs diyot lazer uygulayarak diş hareketi sırasında lazer terapinin RANK/RANKL ve OPG sistemi üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma sonuçlarına göre lazer grubundaki dişlerdeki hareket miktarı, kontrol grubundaki dişlere kıyasla daha fazladır. Lazer grubunda RANK ve RANKL ‘primer antibody’leri anlamlı derecede artarken, OPG salınımı miktarının değişmediği gözlenmiştir. Böylece lazer terapisinin RANK ve RANKL uyarımı ile birlikte diş hareketi hızını arttırdığı bildirilmiştir (127).

Goulart farklı tedavi dozlarının diş hareketi üzerindeki etkilerini değerlendirdiği hayvan çalışmasında, 5,25 J/cm² dozda uygulanan GaAlAs diyot lazerin deneysel diş

hareketini hızlandırdığını, $35,0 \text{ J/cm}^2$ 'lik yüksek bir dozun ise deneysel diş hareketini geciktirdiğini bildirmiştir (128). Seifi ve ark.'nın çalışmasında da kontrol grubunda elde edilen deneysel diş hareketi hızının lazer gruplarında gözlenen diş hareketi hızına kıyasla daha fazla olduğu bildirilmiştir. Sonuçlar, ortodontik diş hareketi hızının uygulanan lazerin enerji yoğunluğu veya toplam enerjisine göre değişebileceğini destekler yöndedir (129).

Cossetin, lazer terapisinin kemik remodelingi üzerindeki etkilerini değerlendirdiği hayvan deneyi çalışmasında, lazer uygulanan grupta osteoklastik aktivitede ve kemik rezorpsiyonunda kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede artış olduğu bildirmiştir. Seifi'nin çalışmalarını destekler nitelikte, osteoklastik aktivitenin uygulanan lazer dozuna bağımlı olduğu gözlenmiştir (130).

Hayvan deneylerinde elde edilen bu sonuçlar benzer olarak klinik çalışmalarda da gözlenmiştir (131–133). Lazer terapisinin diş hareketi hızı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılmış tüm bu çalışmalarda, elde edilecek etkinin doza bağımlı olduğu sonucuna varılmıştır. Düşük doz ortodontik hareketi uyarırken, yüksek dozun hareket hızını azalttığı gözlenmektedir. Goulart, ortodontik tedavi sırasında diş hareketi hızının artırılması istenilen durumlarda DSLT'nin, diş hareketinin istenmediği durumlarda ise yüksek dozlu lazer terapisinin uygulanabileceğini öne sürmüştür (128). Çalışma sonuçlarına göre, $5,25 \text{ J cm}^2$ lik dozda uygulanan DSLT ile ortodontik diş hareketinin hızlandığı; $35,0 \text{ J/cm}^2$ 'lik yüksek bir dozda ise ortodontik diş hareketinin yavaşladığı gözlenmiştir (128).

Düşük seviyeli lazer terapisinin sıklıkla değerlendirilen bir başka yönü ise ağrı kesici etkisi olmuştur. Diş ortodontik kuvvet uygulanmasına bağlı olarak oluşan ağrıların doğrudan kesilmesi veya yoğunluğunun azaltılması amacıyla düşük seviyeli lazer terapisi uygulanabilmektedir. Düşük seviyeli lazer terapisinin ortodontik ağrı kontrolü üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği klinik bir çalışmada, DSLT'nin tedavi süresi ve ağrıyı azaltmak için iyi bir seçenek olduğu bildirilmiştir (134).

Literatürde, ortodontik tedavi sonrası gingival embraşür boşluğu açılmasının önlenmesi amacıyla DSLT uygulanmasını konu alan bir çalışma mevcuttur. Meguro ve ark., yayınladıkları vaka raporunda maksiller ve mandibular birinci premolar dişlerin çekiminin ardından kaninler arasındaki dişeti papillerine, labial ve lingual yüzlerden DSLT uygulamış, bu sayede dişlerin kütsel retraksiyonu sonrası gingival embraşür boşluğu açılmasının önlendiğini bildirmişlerdir (135).

Ortodontik tedavinin yan etkileri arasında en sık karşımıza çıkan ve bazen oldukça olumsuz sonuçlara yol açan kök rezorpsiyonu da DSLT çalışmalarına konu olmuştur.

Suzuki ve ark., yapmış oldukları hayvan çalışmasında, ortodontik diş hareketi sırasında DSLT'nin kemik metabolizması ve kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Split- mouth dizayn tasarlanan çalışmada her iki günde bir defa, sol üst molar dişin labial ve palatal yüzeylerine GaAlAs diyot lazer (810 nm, 100 mW, 15 sn, 0,02 cm²) cihazı ile 75 J/cm²'lik doz uygulanmıştır. Rezorpsiyon kraterleri mikro-BT, SEM ve histomorfometrik yöntemlerle incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, kontrol grubuna kıyasla DSLT grubunda rezorpsiyon kraterlerinin genişlik, derinlik ve hacimsel anlamda istatistiksel olarak daha küçük olduğu bildirilmiştir. Çalışmada DSLT'nin osteoklastik hücrelerin aktivitesini artırarak diş hareketini hızlandırdığı, basınç tarafındaki kemik rezorpsiyonunu uyardığı ve sonuç olarak kök rezorpsiyon kraterlerinin sayıca azalmasını sağladığı ileri sürülmektedir (136).

Altan ve ark., DSLT'nin OIHKR üzerindeki önleyici ve/veya tamir edici etkilerini, yaptıkları hayvan çalışmasında değerlendirmişlerdir. Düşük seviyeli lazer terapisinin kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesi için kısa dönem (aktif ortodontik kuvvetin uygulandığı 11 günlük süreç) lazer ve kontrol grupları oluşturulmuştur. Düşük seviyeli lazer terapisinin kök rezorpsiyonu üzerindeki tamir edici etkisini değerlendirebilmek için uzun dönem (aktif ortodontik kuvvet uygulaması tamamlandıktan sonraki 14 günlük iyileşme süreci) lazer ve kontrol grupları oluşturulmuştur. Düşük seviyeli lazer terapisi uygulamaları, GaAlAs diyot lazer cihazıyla (820 nm), 4.8 J/cm² (50 mW, 12 s, 0.6 J) dozunda, iki günde bir olmak üzere 11 günlük ve 14 günlük periyotlar boyunca uygulanmıştır. Düşük seviyeli lazer terapisinin, kontrol grubuna kıyasla kısa dönem lazer grubunda osteoblast ve fibroblast sayısının ve inflamatuvar yanıtın anlamlı oranda arttığı bildirilirken, rezorpsiyon miktarı açısından iki grup arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Diğer yandan, uzun dönem kontrol grubuna kıyasla uzun dönem lazer grubunda, fibroblast sayısında artış ve rezorpsiyon miktarında azalma olduğu gözlenmiştir. Düşük seviyeli lazer terapisinin aktif kuvvet uygulama sürecinde hem tamir hem de rezorptif süreçleri arttırdığı, aktif kuvvet uygulaması kesildikten sonra ise rezorpsiyonu azalttığı ve iyileşmeyi arttırdığı/hızlandırdığı bildirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre DSLT'nin OIHKR üzerinde önleyici bir etkisi olduğu söylenemese de, anlamlı bir tamir edici etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (33).

Nimeri ve ark., DSLT'nin klastik aktiviteyi stimüle etme potansiyeli yüzünden kök rezorpsiyonunu şiddetlendirebileceği hipotezini test ettiği çalışmada, lazer terapisi uygulanan gruptaki kök rezorpsiyonu miktarının, ortodontik tedavilerde sıklıkla gözlenen kök rezorpsiyonu miktarından daha fazla olmadığını saptamıştır (137).

Literatürde bu konuda yapılmış çalışma sayısı oldukça az olduğundan, ayrıca DSLT etkileri cihaz ve uygulama parametreleriyle ilgili pek çok faktöre bağlı olarak çok farklı sonuçlar gösterebildiğinden, yapılacak -özellikle- klinik çalışmaların çok değerli olduğu düşüncesiyle bu araştırmayı planlamış bulunmaktayız. Böylelikle düşük seviyeli lazer terapisinin hızlı üst çene genişletmesine bağlı kaçınılmaz bir yan etki olarak gözlenen kök rezorpsiyonları üzerindeki olası önleyici/baskılayıcı etkisinin ortaya koyulabilmesi, ortodontik tedavi sırasında DSLT'nin klinik kullanımını için bir sebep olabilir.

5. BİREYLER ve YÖNTEM

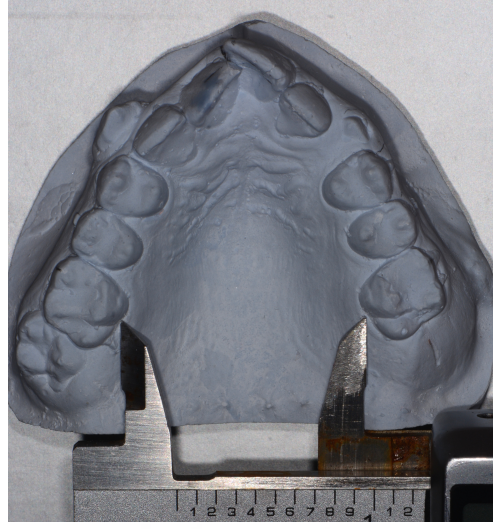
5.1. Hasta Seçimi

Araştırmamıza başlamadan önce, çalışmanın etik kurallara uygun olduğuna dair Kocaeli Üniversitesi, Tıp Fakültesi Etik Kurulu'ndan, etik kurul onayı alındı (2015/329 proje no.lu belge). Araştırmaya dahil edilecek hastalar Kocaeli Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı kliniğine çapraşıklık şikayeti ile başvuran bireyler arasından lazer grubu için 16 birey (2 erkek, 14 kız) ve kontrol gruplarına ilave etmek için sekiz birey (1 erkek, 7 kız) şu kriterlere göre seçildi;

- Bireyin 12-15 yaş aralığında olması
- Üst çene daimi birinci molarlar arası mesafenin 31 mm veya daha az olması sebebiyle üst çenede genişletme ihtiyacı olması (Resim 5.1)
- Üst çenede çapraşıklık ve/veya artmış overjet sebebiyle üst çene birinci küçük azı dişlerinin çekim endikasyonu olması
- Kontrol gruplarına dahil edilmek üzere üst çenede genişletme ihtiyacı olmaksızın, çift taraflı birinci küçük azıların çekimini gerektirecek kadar çapraşıklık ve/veya artmış overjet bulunması.

Bireylerin anamnezlerine, klinik ve radyografik bulgularına göre çalışmaya dahil edilme koşulları değerlendirilirken, şu özellikler de göz önünde bulunduruldu;

- Daha önceden ortodontik tedavi görmemiş olması,
- Periodontal hastalık belirtisinin olmaması,
- Üst çene birinci küçük azı dişlerinin daha önceden tedavi görmemiş veya travmaya uğramamış olması,
- Üst çene birinci küçük azı dişlerinin kök uçlarının kapanmış olması ve anormal kök anatomisine sahip olmaması,
- Geçmişte veya bugün brüksizm belirtisi olmaması,
- Dentisyonu etkileyecek medikal veya sistemik bir hikayenin olmaması,
- Kraniofasial veya dentoalveolar komplekste fiziksel anomali veya anormal anatomi olmaması.



Resim 5.1. Üst çene daimi birinci molarlar arası mesafenin ölçülmesi

Çalışmaya dâhil edilen bireylere ve bu bireylerin vasilerine, uygulanacak klinik aşamalar ve olası riskler hakkında sözlü olarak bilgilendirme yapıldı. Benzer anlatımların yazılı halde yer aldığı aydınlatılmış onam formları, çalışmaya katılmak için gönüllü olan bireyler ve yasal temsilcileri tarafından imzalandı (Ek 1, Ek 2).

5.2. Araştırma Planı

5.2.1. Çalışma Grupları

Çalışmamıza dahil edilen ve üst çene genişletmesi uygulanacak bireylerin ait olacakları gruplara tamamen şansa bağlı olarak atanmaları ve seçim yanlılığını önlemek amacıyla randomizasyon uygulandı. Çalışmaya dahil edilecek üst çene genişletmesi uygulanacak toplam 16 bireye geliş sırasına göre bir numara verildi. Deney ve kontrol gruplarını oluşturacak numunelerin belirlenebilmesi için 16 bireyin sahip olduğu geliş sırası numaraları dahil edilerek blok randomizasyon yöntemi uygulandı. Kök boyutları ve şekillerinde meydana gelen değişikliklerin şiddetinin yüksek oranda bireye özgü olması (cinsiyet, genetik, immün sistem gibi) sebebiyle, çalışmamızda her bireyin kendi kontrol grubunu oluşturabilmesi amacıyla split-mouth dizayn çalışıldı (Tablo 5.1). Böylece 16 adet deney, 16 adet kontrol grubunda olmak üzere toplam 32 adet, çekilmiş, üst çene birinci küçük azı dişi elde edildi. Her bireyin hangi dişinin kontrol, hangi dişinin deney grubunda olacağı permütasyon blok randomizasyon yöntemiyle belirlenmiş oldu (Şekil 5.1). Aynı yöntem dahilinde, üst çene genişletmesi uygulanmayacak sekiz bireyin randomizasyonu

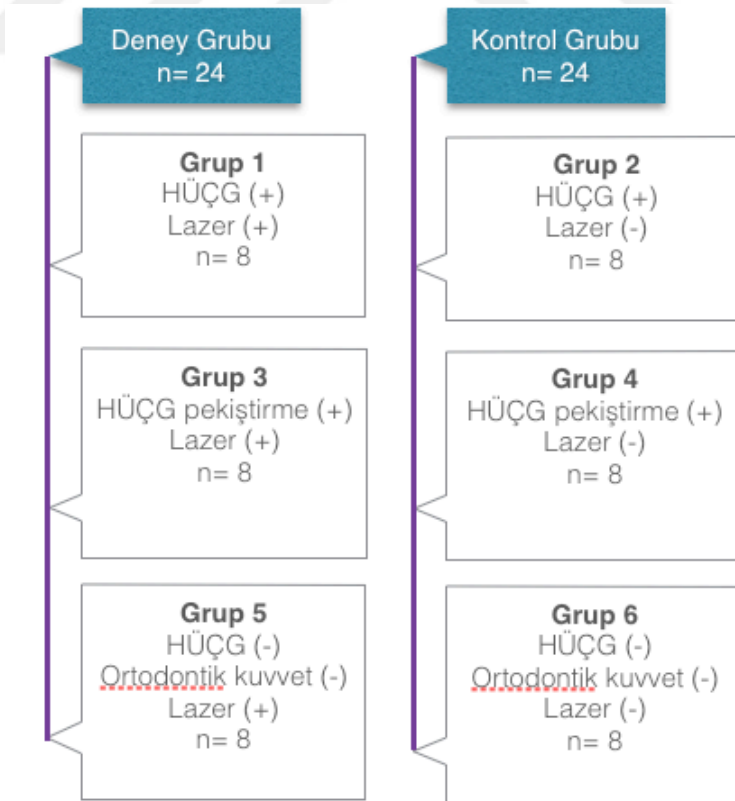
gerçekleştirilerek sekiz adet deney, sekiz adet kontrol grubunda olmak üzere toplam 16 adet çekilmiş üst çene birinci küçük azı dişi elde edildi.

Tablo 5.1. Blok içinde örnek sayısı 2 olduğunda permütasyon yöntemine göre atama; A: lazer grubu, B: kontrol grubu

Randomize sayı	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2												
Örnek No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Atama	A	B	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	A	B	A	B	A	B	A	A	B	B	A

Randomize sayı	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2												
Örnek No.	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Atama	A	B	A	B	A	B	B	A	B	A	A	B	A	B	B	A	B	A	A	B	A	B	B	A

Gruplardaki örneklem sayısı küçük olduğu ve her grupta eşit sayıda örneklem sayısı olması istendiği için blok randomizasyon yöntemi tercih edildi. Üst çene genişletmesi uygulanacak 16 birey için blok randomizasyon yöntemi uygulandı. Böylece üst çene genişletmesi tedavisi uygulanacak sekiz bireye aktif vida çevirme protokolü sırasında düşük seviyeli lazer terapisi (DSL) split-mouth dizaynda uygulanırken, diğer sekiz bireye vida çevirme protokolünün bitişinden bir hafta sonra, split-mouth dizaynda DSL uygulandı.



Şekil 5.1. Bireylerin deney ve kontrol gruplarına göre dağılımı

Testin gücü 0,80 ve 1. tür hata 0,05 olacak şekilde, kontrol ve çalışma gruplarının ortalaması arasındaki 0,40 birimlik farkın anlamlı bulunabilmesi için her grupta gerekli minimum örnek sayısı 8 olarak hesaplandı [(G*Power, Version 3.1.9.2, Franz Faul, University of Kiel, Germany), (139)]. Çalışma protokolü gereği her birey, ait olduğu temel grup içinde hem deney hem de kontrol grubuna dahil edilmiş oldu. Böylece her grupta sekizer birey olacak şekilde toplam altı grup oluşturuldu.

Grup 1 (Önleyici lazer deney grubu): Aktif HÜÇG uygulanan dönemde, randomize seçilen bir tarafa DSLT uygulanıp, belirli süre sonra çekilen küçük azı dişlerinden oluşan deney grubu

Grup 2 (Önleyici lazer kontrol grubu): Aktif HÜÇG uygulanan dönemde, DSLT uygulanan tarafın karşıt tarafındaki, DSLT uygulanmaksızın takip edilen ve belirli süre sonra çekilen küçük azı dişlerinden oluşan kontrol grubu

Grup 3 (Tamir edici lazer deney grubu): Aktif HÜÇG tamamlanıp pekiştirme fazına geçildikten bir hafta sonra, randomize seçilen bir tarafa DSLT uygulanıp, belirli süre sonra çekilen küçük azı dişlerinden oluşan deney grubu

Grup 4 (Tamir edici lazer kontrol grubu): Aktif HÜÇG tamamlanıp pekiştirme fazına geçildikten bir hafta sonra, DSLT uygulanan tarafın karşıt tarafındaki DSLT uygulanmaksızın takip edilen ve belirli süre sonra çekilen küçük azı dişlerinden oluşan kontrol grubu

Grup 5 (Ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer deney grubu): Ortodontik kuvvet uygulanmaksızın DSLT uygulanan küçük azı dişlerinden oluşan deney grubu

Grup 6 (Ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer kontrol grubu): Ortodontik kuvvet ve DSLT uygulanmamış küçük azı dişlerinden oluşan kontrol grubu

5.3. Aparey Yapımı

Hızlı üst çene genişletmesi amacıyla akrilik bonded Hyrax genişletme apareyi yapılacak 16 bireyin, aljinat materyali (Cavex, Orthotrace, Holland) kullanılarak üst çene ölçüleri elde edildi. Aljinat ölçülere sert alçı (Protechno, Farmadent, Spain) dökülerek üst çenelerin çalışma modelleri elde edildi. Sarver ve Johnston'ın çalışması (47) referans alınarak tüm apareyler aynı laboratuvarında üretildi. Aparey dizaynı temel olarak, aynı taraftaki birinci küçük azı dişinden ikinci büyük azı dişine kadar uzanan ve tüm okluzal yüzeyleri kaplayan, yaklaşık 3 mm kalınlığında akrilik kısım içermekteydi (Resim 5.2). Damak merkezinde konumlandırılan genişletme vidası (Forestadent, Palatal split screw

Snap-lock, Germany), damak yüzeyine temas olmaksızın mümkün olduğunca damak kubbesine yakın yerleştirildi ve posterior dişlerin kuronlarını tamamen kaplayan akrilik kısım ile birleştirildi (Resim 5.3).



Resim 5.2. Akrilik bonded Hyrax genişletme apareyinin ağız içi görünümüleri



Resim 5.3. Akrilik bonded Hyrax genişletme apareyinin alçı model üzerindeki görünümü

5.4. Klinik İşlemler

Akrilik plak için gerekli tesviye ve polisaj işlemleri tamamlanıp, genişletme apareyinin üst diş kavsine uyumu ağız içerisinde kontrol edildikten sonra, apareyin yapıştırılma işlemine geçildi. Apareyler hava spreyi ile kurutulmuş diş yüzeylerine cam iyonomer siman (Unitek, Multi-Cure Glass İyonmer Cement, 3M Unitek, USA) ile yapıştırıldı.

5.5. Vida Çevirme Protokolü ve Düşük Seviyeli Lazer Uygulaması

Apareylerin yapıştırılmasını takiben çalışmada yer alan bireylerin ebeveynlerine Hyrax vidasının nasıl aktive edileceği anlatıldı ve gösterildi. Aktivasyon işleminin doğru

yapılıp yapılmadığını görmek için tüm ebeveynlerden klinikte hasta üzerinde vidayı ¼ tur aktive etmeleri istendi. Bu şekilde, 16 birey için üst çene genişletme işlemine başlandı.

Üst çene genişletme apareyi uygulanan 16 birey için vida protokolü, ilk beş gün boyunca günde iki kez, ¼ tur (toplam 0.5 mm olacak şekilde), sonraki günlerde günde bir kez, ¼ tur (0.25 mm) olacak şekilde uygulandı. Her birey, beş haftalık genişletme süresi boyunca toplamda yaklaşık 40 kez, ¼ tur vida çevirmiş oldu. Bireylerin çalışmaya dahil edilmeleri sırasında, molarlar arası mesafenin 31 mm veya daha az olması koşulunun olması, üst çene genişletmesi safhasında her birey için standart yaklaşık 40 tur vida protokolünü içeren genişletme uygulanabilmesine imkan verdi.

Üst çene genişletme apareyi uygulanacak 16 bireyin randomizasyonu sağlandıktan sonra, aktif vida çevirme protokolü safhasında DSLT uygulanacak sekiz bireyin randomize seçilen taraftaki üst birinci küçük azı dişine (Grup 1), bukkal kök yüzeyi boyunca, iki bölgeden dişetine temas ederek (Resim 5.4), beş hafta boyunca dört günde bir kez olmak üzere Ga-Al-As diyot lazer cihazı [Doris, CTL-1106MX, Warsaw, Poland (Resim 5.5)] ile Tablo 5.2'deki parametrelerde DSLT uygulandı.

Grup 1'e dahil edilen bireylerin karşıt taraftaki, DSLT uygulanmamış, üst birinci küçük azı dişleri ile önleyici kontrol grubu oluşturuldu (Grup 2).

Tablo 5.2. Lazer terapisinde kullanılan parametreler

Parametre	Açıklama	Çalışmamızda kullanılan miktar
Dalga boyu (nm)		$820 = \lambda$
Frekans (Hz)	Saniyedeki atım sayısı	0
Güç (W)		0,05
Lazer ışını uygulama süresi (sn)		80
Enerji (J)	$Enerji = W \times sn$	4
Işınlanan bölge ve sayısı	Bukkal dişeti	2
Total Radyant Enerjisi (J)	Radyant enerjisi x Uygulama sayısı	8
Lazer ışını spot genişliği (cm ²)		0,5024
Işınlanan alan (cm ²)		0,5024
Tedavi Dozu / Enerji Yoğunluğu (J/cm ²)	$Doz = Güç \times Uygulama \text{ süresi} / \text{ışınlanan alan}$	8
Güç Yoğunluğu (W/cm ²)	$Yoğunluk = Güç / Uygulama \text{ Alanı}$	0,01
Uygulama Tekniği	Yüzey teması (Kontakt teknik)	

c= ışık hızı, v= frekans



Resim 5.4. Diyot lazerin dişeti yüzeyine temas ederek uygulanması

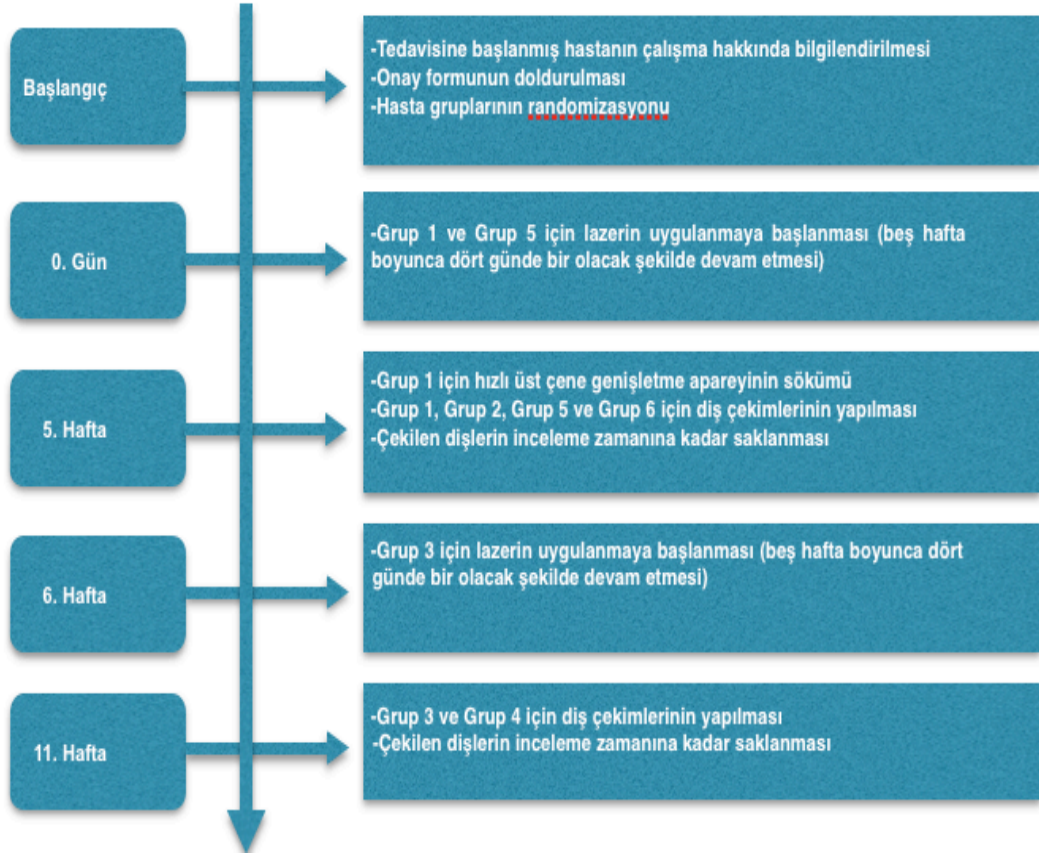


Resim 5.5. Çalışmamızda kullanılan Ga-Al-As diyot lazer cihazı

Üst çene genişletme apareyi uygulanan diğer sekiz bireyde, vida çevirme protokolünün tamamlanmasının ardından pekiştirme safhasına geçildiğinde, aparey bünyesinde biriken rezidüel kuvvetlerin kaybolması amacıyla bir hafta beklenildi. Bir hafta sonra, randomize seçilen taraftaki üst birinci küçük azı dişlerine DSLT uygulanmaya başlandı. Düşük seviyeli lazer terapisi uygulaması beş hafta boyunca dört günde bir kez olmak üzere Tablo 5.1’de belirtilen parametrelerle yapıldı (Grup 3). Aynı bireylere ait karşıt taraftaki DSLT uygulanmamış üst birinci küçük azı dişleri ile tamir kontrol grubu oluşturuldu (Grup 4).

Üst çenede HÜÇG apareyi, dolayısıyla ortodontik kuvvet uygulanmayacak sekiz bireyde, randomize seçilen taraftaki üst çene birinci küçük azı dişlerine beş hafta boyunca, dört günde bir kez DSLT uygulandı (Grup 5). Aynı bireylere ait karşıt taraftaki DSLT uygulanmamış üst çene birinci küçük azı dişleri ile ortodontik kuvvet uygulanmamış kontrol grubu oluşturuldu (Grup 6).

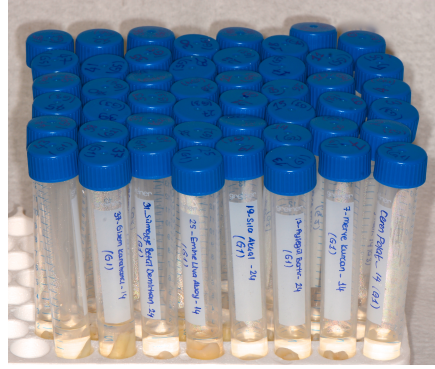
Araştırmamızın akış şeması Şekil 5.2’de özetlenmiştir.



Şekil 5.2. Araştırma akış şeması

5.6. Örneklerin Hazırlanması

Önleyici, tamir edici veya ortodontik kuvvet uygulanmamış lazer deney gruplarına ait üst birinci küçük azı dişlerinin çekimi, DSLT uygulamasının son dozunun ertesi gününde, kontrol grubunu oluşturacak karşıt arktaki üst çene birinci küçük azı dişleri ile birlikte gerçekleştirildi. Diş çekimleri, aynı cerrah tarafından herhangi bir travmaya neden olmayacak ve kök sementine zarar vermeyecek şekilde dikkatle yapıldı. Çekilmiş dişler, kök yüzlerindeki tüm yumuşak dokuların uzaklaştırılması için 10 dk. ultrasonik banyoda (ELMA, S30, GER) bekletilip, kök yüzeyleri yumuşak dokulardan arındırıldıktan sonra dezenfeksiyon için %70’lik alkolde 30 dk. bekletildi. Daha sonra dişler ayrı ayrı numaralandırılmış, hangi hasta ve hangi gruba ait olduğunun yazılı olduğu, deiyonize suyla dolu künyeli tüplerde (Falcon tüp, Fıratmed, Türkiye) oda sıcaklığında ($23^{\pm 1}$) inceleme zamanına kadar saklandı (Resim 5.6).



Resim 5.6. Deiyonize su ile dolu tüplerde saklanan numuneler

5.7. Laboratuvar işlemleri

5.7.1. Mikro-BT Analizi

Elde edilen üst çene birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeylerindeki rezorpsiyon kraterlerinin incelenmesinde masa üstü tip, SkyScan 1172 (Brüker Skyscan, Kontich, Belgium) Mikro-BT cihazı kullanıldı. Bu cihaz, yüksek voltajla desteklenen bir mikro odaklanma tüpü, hassas manipulatöre sahip bir numune taşıyıcı, görüntü yakalayıcıya bağlı bir X-ray CCD (Charge-Coupled Device) kamera ve Dual Intel Xenon (Intel, Los Angeles, USA) işlemciye sahip bir bilgisayardan oluşmaktadır (Resim 5.7).

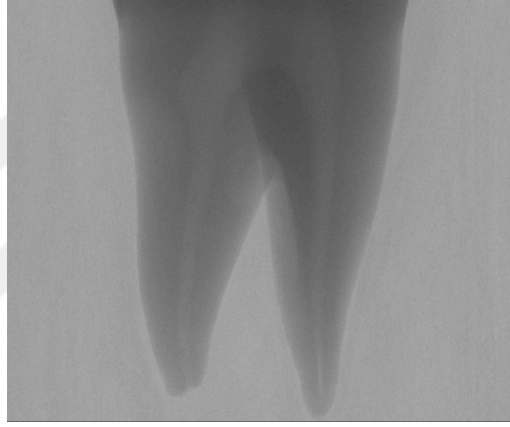
Çekilmiş dişlerin kök yüzeyleri, mikro-BT cihazının tarayıcı bölmesine patafix aracılığı ile sabitlendi. Cihaz, 100 kV güç, 100 mA akımla, 0.5 mm alüminyum ve bakır filtre kullanılarak, 11 MP kamera yardımıyla ve 9.9 mikrometre piksel boyutlarında alan düzeltmesi ayarlanıp kaydedildikten sonra, her bir örnek aynı alan düzeltme ayarları ile tarandı. Mikro-BT'nin rotasyon basamağı $0,5^\circ$ ayarlanmış, her biri 2300 milisaniye (ms) maruz bırakılacak şekilde üç frame ve her bir örnek için 360 derece rotasyonlu tarama yapılacak şekilde, dişlerin ortalama 500 adet iki boyutlu aksiyel projeksiyonları elde edildi.



Resim 5.7. Deneyde taramalar için kullanılan Skyscan 1172 Mikro-BT sistemi

Rotasyonel tarama sırasında x ışın tüpü, diş mesafesini değiştirerek ve dişin ekspoz alanından dışına çıkmasına neden olabilecek aksiyel konumlardaki sapmaları önlemek için sabitleme işlemi sırasında numunenin vertikal olarak olabildiğince merkezi, açılanma yapmadan yerleştirilmesine dikkat edildi. Daha sonra tarama işlemine geçildi.

Dişlerin taranmasında 360 derece rotasyon kullanılırken, rotasyon adımı 0,5 derece olarak belirlendi. Bu ayarlarda tarama süresi yaklaşık olarak her bir diş için 55-60 dakika sürdü. Kesitlerden alınan DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) uyumlu görüntüler BMP (Bit Map Picture) formatına dönüştürüldü (Şekil 5.3). Her bir kesit görüntüsünün çözünürlüğü 2000x2000 piksel ve piksel boyutu 9.998 mikron olarak elde edildi.

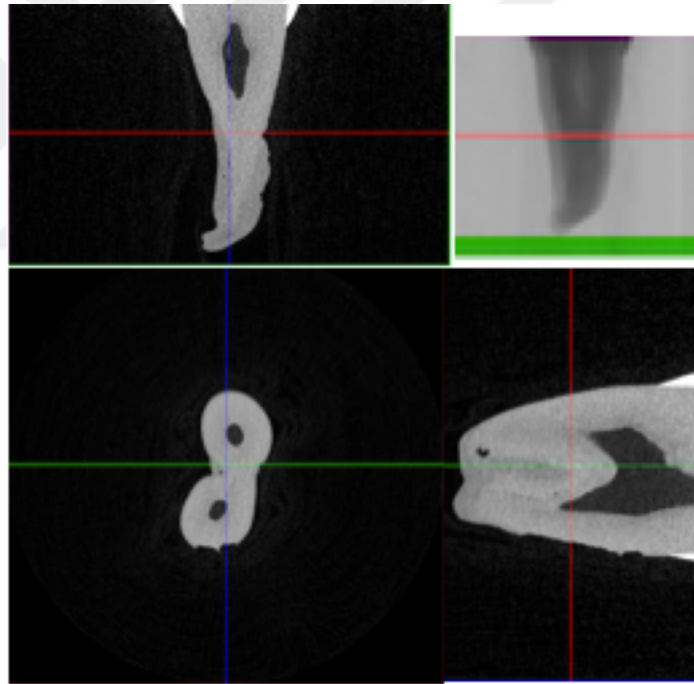


Şekil 5.3. Örnek kesitlerinden alınan BMP formatındaki görüntü

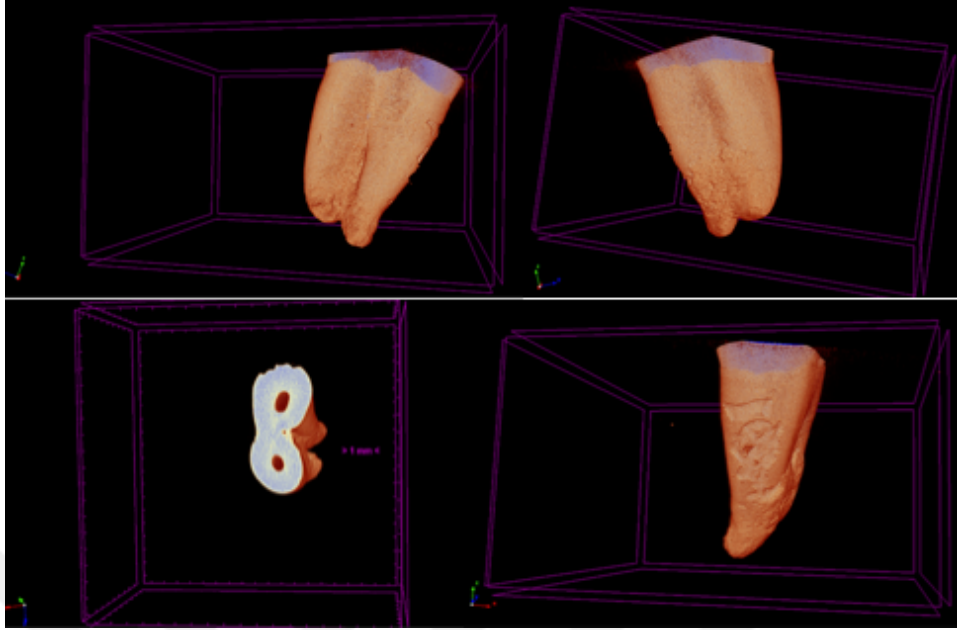
Bu tarama aşamasında elde edilen ham verilerin daha sonraki rekonstrüksiyonları üreticinin sağladığı NRecon (NRecon versiyon 1.6.9.4, Skyscan, Kontich, Belgium) yazılımı ile yapıldı. Rekonstrüksiyon sırasında ışık sertleşme oranı %40, halka artefakt redüksiyon, smooting, frame avering her bir örnek için bireysel olarak optimum değere ayarlandı. Ham verilerin rekonstrüksiyonu sonucu 16 bit gri değer imajları elde edildi. NRecon kullanılarak rekonstrükte edilen 16 bit gri görüntüler CTAn (versiyon 1.16.5.1) yazılımına aktarıldı. CTAn programında her diş örnekleri ayrı ayrı olacak şekilde analiz edildi. Rekonstrüksiyonu takiben diş örnekleri üzerine adaptif interpolizasyon (interpolared) uygulanarak her diş mine-sement bağlantısından kök ucuna kadar dört yüzeyde incelendi (bukkal, lingual, mesial, distal). Her krater bulunduğu x, y, z düzlemlerindeki koordinatlarına göre izole edildi ve sınıflandırıldı (şekil 5.4). İzole edilen kraterler CTAn (versiyon 1.16.5.1) kullanılarak hacimsel olarak ölçüldü (şekil 5.5). Değerlendirmeye katılan dişin mine-sement sınırından kök ucuna kadar olan Mikro-BT

taraması sonucu elde edilen pulpa boşluğuna ait değer bize total kök pulpa hacmini verirken; mine-sement sınırından kök ucuna kadar olan kök yüzeyinin Mikro-BT taraması sonucu elde edilen değer bize total kök hacmini verdi. Değerlendirmeye katılan dişin Mikro-BT taraması sonucu elde edilen total kök hacmi değerine rezorpsiyon krateri hacmi değerini eklenerek orijinal kök hacmi elde edildi ve böylece rezorpsiyon krateri hacminin orijinal kök hacmine olan oranının yüz sayısı esas alınarak total rezorpsiyon yüzdesi belirlendi (138).

Her bir dişin dört yüzeyi için kökteki rezorpsiyon kraterlerinin dağılımı, sayısı, yüzey alanı, derinliği ve demineralizasyon derinliği hesaplandı. Her bir diş için rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi hesaplandı.



şekil 5.4. Bulunduğu x, y, z düzlemlerindeki koordinatlarına göre izole edilen krater görüntüsü



Şekil 5.5. Krater hacimlerinin SkyScan CT-analiz programı (CTan) kullanılarak ölçümü

NRecon ile elde edilen ve CTan programına atılan görüntüler üzerinde; en düşük limit 20'den 255'e kadar ve en yüksek limit ise spektrumun en parlak noktası olacak şekilde her bir görüntü için ayrı ayrı thresholding işlemi yapıldı. Thresholding işlemi için Multi-Level Otsu metodu tercih edildi. Elde edilen bu sayısal veriler Office Excel (2016, Microsoft, USA) yazılımına aktarılarak istatistik analizlere hazır hale getirildi.

5.8. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada istatistiksel analizler NCSS (Number Cruncher Statistical System) 2007 Statistical Software (Utah, USA) paket programı ile yapılmıştır.

Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiksel metotların (ortalama, standart sapma) yanı sıra Shapiro – Wilk normallik testi ile değişkenlerin dağılımına bakılmış; normal dağılım gösteren değişkenlerin gruplar arası karşılaştırmalarında tek yönlü varyans analizi, alt grup karşılaştırmalarında Tukey çoklu karşılaştırma testi, ikili grupların karşılaştırmasında bağımsız t testi , normal dağılım göstermeyen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırmalarında Kruskal Wallis testi, alt grup karşılaştırmalarında Dunn's çoklu karşılaştırma testi, ikili grupların karşılaştırmasında Mann Whitney U testi kullanılmıştır. Sonuçlar, anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir.

6. BULGULAR

6.1. Aktif Faz Hızlı Üst Çene Genişletmesi Gruplarında Kök Rezorpsiyonuna Dair Bulgular

Hızlı üst çene genişletmesi grubu aktif fazında bulunan sekiz bireyde, Hyrax vidasının çevirme protokolü uygulanırken, randomize olarak seçilen bir tarafta beş hafta boyunca DSLT uygulandıktan sonra çekilen üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyonun ölçümüne ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 6.1a, 6.1b, 6.1c, 6.1d ve 6.1e’de sunulmaktadır.

Tablo 6.1a. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon kraterleri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon Krateri Sayısı	Aktif Faz HÜÇG(+) Lazer (+) Deney Grubu	Aktif Faz HÜÇG(+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	2,73±1,03	3,07±1,22	0,427
Distal	1,40±0,74	2,40±0,83	0,002
Bukkal	2,00±1,13	3,07±1,16	0,017
Palatinal	1,40±1,18	1,73±0,88	0,389
Toplam	7,60±2,61	10,27±2,79	0,012

*Bağımsız örneklem t testi

Hızlı üst çene genişletmesi grubunda aktif kuvvet uygulama sürecindeki beş hafta boyunca uygulanan DSLT’nden sonra çekimi yapılan üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyon kraterleri ve pulpa hacimleri ölçümlerine ilişkin grup içi karşılaştırma sonuçları şöyledir:

Değerlendirmeye katılan diş köklerinin farklı yüzeylerinde ölçülen mevcut rezorpsiyon krater sayıları mesial ve palatinal yüzeyler için, lazer ve kontrol grupları arasında anlamlı farklılıklar göstermemektedir ($p>0,05$). Ancak lazer grubunda yer alan örneklerin distal ve bukkal kök yüzeylerindeki mevcut rezorpsiyon krateri sayılarındaki düşük değer, istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$).

Kökün farklı yüzeylerinde ölçülen mevcut total rezorpsiyon krateri sayıları arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmada, total rezorpsiyon krateri sayısının lazer grubunda kontrol grubuna anlamlı miktarda daha az olduğu bulunmuştur ($p=0,012$).

Hızlı üst çene genişletmesi grubunda aktif kuvvet uygulama sürecinde ölçülen kök rezorpsiyon krater alanı (en geniş), rezorpsiyon krater derinliği (ortalama), demineralizasyon derinliği (ortalama) değerlerinin farklı yüzeylerdeki grup içi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.1b ve 6.1c’de aktarılmaktadır.

Tablo 6.1b. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon Krateri Alanı -En geniş alanı (µm)	Aktif faz HÜÇG(+) Lazer(+) Deney Grubu	Aktif faz HÜÇG(+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	84,39±9,53	80,05±8,06	0,188
Distal	92,68±24,74	94,67±17,29	0,801
Bukkal	99,96±21,81	92,61±18,98	0,333
Genişlik Palatinal	90,60±9,97	78,50±21,82	0,061
Mesial	62,49±14,05	61,31±8,83	0,785
Distal	77,58±39,03	82,73±31,7	0,695
Bukkal	73,00±17,45	60,91±22,16	0,108
Derinlik Palatinal	76,83±17,36	64,74±22,12	0,107

*Bağımsız örneklem t testi

Hızlı üst çene genişletmesi aktif kuvvet uygulama fazında, lazer ve kontrol gruplarına ait değerlendirilecek dişlerin kökünün farklı yüzeylerindeki en geniş olan rezorpsiyon krateri alanının genişlik ve derinliği için yapılan istatistiksel karşılaştırmalar sonucunda anlamlı farklılıklar izlenmemektedir (p>0,05).

Tablo 6.1c. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon Krateri Derinliği - ortalama (µm)	Aktif faz HÜÇG(+) Lazer(+) Deney Grubu	Aktif faz HÜÇG(+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	266,57±64,8	542,09±181,73	0,0001
Distal	245,72±115,6	542,56±191,38	0,0001
Bukkal	239,98±115,57	536,42±184,31	0,0001
Palatinal	206,74±136,31	511,26±219,95	0,0001
Total	275,22±52,9	557,99±128,26	0,0001

*Bağımsız örneklem t testi

Kökün farklı yüzeylerinde lazer ve kontrol gruplarında ölçülen rezorpsiyon krater derinlikleri (ortalama) ve demineralizasyon derinlikleri (ortalama) arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmalarda lazer grubundaki düşük ölçüm değerlerinin kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlı olduğu izlenmektedir (p=0,0001). Kökün her yüzeyi için rezorpsiyon kraterlerindeki derinlik ve demineralizasyon artışı kontrol grubunda lazer grubunun yaklaşık iki katı kadardır.

Tablo 6.1d. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Demineralizasyon Derinliği- ortalama (μm)	Aktif faz HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Aktif faz HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	81,11±16,79	126,21±47,52	0,002
Distal	65,19±28,06	133,09±37,95	0,0001
Bukkal	66,05±29,26	120,53±44,89	0,0001
Palatinal	61,07±42,93	130,88±49,12	0,0001
Total	82,57±18,52	130,72±35,65	0,0001

*Bağımsız örneklem t testi

Hızlı üst çene genişletmesi grubunda aktif kuvvet uygulama sürecinde ölçülen kök rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin grup içi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.1e'de aktarılmaktadır.

Tablo 6.1e. Hızlı üst çene genişletmesi aktif faz grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

	Aktif faz HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Aktif faz HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Rezorpsiyon Krateri Hacmi (mm^3)	0,02±0,01	0,10±0,14	0,034
Total Kök Hacmi (mm^3)	428,33±50,18	405,97±61,05	0,426
Total Kök Pulpa Hacmi (mm^3)	27,62±4,9	27,78±5,39	0,952
Total rezorpsiyon Yüzdesi (%)	1,17±0,21	1,63±0,24	0,001

*Bağımsız örneklem t testi

Kökün total rezorpsiyon krater hacimlerine bakıldığında, lazer ve kontrol gruplarına ait değerler arasındaki fark istatistiksel anlamlıdır ($p=0,034$). Hızlı üst çene genişletmesi aktif kuvvet uygulama süreci sonunda ölçülen total rezorpsiyon yüzdesi karşılaştırıldığında lazer grubunda $1,17\pm 0,21$ olan değer kontrol grubu için $1,63\pm 0,24$ olduğu görülmektedir (Tablo 6.1e). İki grup arasındaki total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinde gözlenen belirgin fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,001$).

Lazer ve kontrol grupları arasında total kök hacmi ve total kök pulpa hacmi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 6.1e).

6.2. Pekiştirme Fazı Hızlı Üst Çene Genişletmesi Gruplarında Kök Rezorpsiyonuna Dair Bulgular

Hızlı üst çene genişletmesi grubu pekiştirme fazında bulunan sekiz bireyde, Hyrax vidasının çevirme protokolü bittikten bir hafta sonra, randomize olarak seçilen bir tarafta beş hafta boyunca DSLT uygulandıktan sonra çekilen üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyonun ölçümüne ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 6.2a, 6.2b, 6.2c, 6.2d ve 6.2e’de sunulmaktadır.

Tablo 6.2a. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde haftanın rezorpsiyon kraterleri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri sayısı	Pekiştirme Fazı HÜÇG(+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG(+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	2,23±0,93	2,92±1,00	0,088
Distal	1,46±0,66	2,25±1,14	0,043
Bukkal	2,31±0,95	2,92±1,08	0,147
Palatinal	1,15±0,69	1,75±0,62	0,033
Toplam	7,15±2,30	9,83±2,33	0,008

*Bağımsız örneklem t testi

Hızlı üst çene genişletmesi grubunda pekiştirme sürecindeki beş hafta boyunca uygulanan DSLT’nden sonra çekimi yapılan üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyon kraterleri ve pulpa hacimleri ölçümlerine ilişkin grup içi karşılaştırılma sonuçları şöyledir:

Örnek diş köklerinin farklı yüzeylerinde ölçülen mevcut rezorpsiyon krater sayıları mesial ve bukkal yüzeyler için, lazer ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermemektedir ($p>0,05$). Ancak lazer grubunda yer alan distal ve palatinal yüzeylerdeki mevcut rezorpsiyon krateri sayılarındaki düşük değer istatistiksel olarak

anlamlıdır ($p<0,05$). Özellikle kök yüzeyindeki toplam rezorpsiyon krateri sayısı istatistiksel olarak değerlendirildiğindeki aradaki farkın anlamlı olduğu gözlenmektedir ($p=0,008$).

Hızlı üst çene genişletmesi grubunda pekiştirme sürecinde ölçülen kök rezorpsiyon krater alanı (en geniş) genişlik ve derinlik değerlerinin farklı yüzeylerdeki grup içi karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.2b’de aktarılmaktadır.

Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme dönemindeki kök rezorpsiyonu krater alanı (en geniş) değerlerinin lazer ve kontrol grupları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0,05$).

Tablo 6.2b. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon Krateri Alanı- En geniş olanı (μm)	Pekiştirme Fazı HÜÇG(+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG(+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	90,47±13,28	84,89±14,96	0,333
Distal	84,63±20,8	80,91±29,52	0,717
Bukkal	96,21±23,38	92,33±15,55	0,633
Genişlik			
Palatinal	85,28±14,69	77,70±10,99	0,160
Mesial	64,34±30,2	61,03±49,43	0,840
Distal	69,86±16,66	61,67±14,85	0,209
Bukkal	60,34±13,89	56,02±11,08	0,400
Derinlik			
Palatinal	73,67±16,61	65,49±14,78	0,208

*Bağımsız örneklem t testi

Kökün farklı yüzeylerinde lazer ve kontrol gruplarında ölçülen rezorpsiyon krater derinlikleri (ortalama) ve demineralizasyon derinlikleri (ortalama) arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmalar Tablo 6.2c ve 6.2d’de sunulmaktadır.

Lazer grubunda kökün tüm yüzeylerindeki rezorpsiyon krateri derinliğine ait ortalama değerlerindeki farkın kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı olduğu izlenmektedir ($p<0,006$). Özellikle lazer grubunda mesial ve bukkal yüzeylerde bulunan krater derinliklerindeki düşük değerler çarpıcı şekilde dikkat çekmektedir ($p=0,0001$). Kökün tüm yüzeyi için rezorpsiyon kraterlerindeki derinlik artışı, kontrol grubunda lazer grubunun yaklaşık iki katı kadardır.

Tablo 6.2c. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri derinliği - ortalama (μm)	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	396,32 \pm 73,71	646,03 \pm 155,25	0,0001
Distal	379,06 \pm 138	611,61 \pm 240,02	0,006
Bukkal	346,88 \pm 124,27	644,68 \pm 156,71	0,0001
Palatinal	314,39 \pm 185,27	605,31 \pm 238,93	0,002
Total	390,81 \pm 71,5	642,91 \pm 160,32	0,0001

*Bağımsız örneklem t testi

Tablo 6.2d. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Demineralizasyon Derinliği-ortalama (μm)	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	105,34 \pm 23,52	124,67 \pm 26,08	0,064
Distal	93,19 \pm 32,26	119,11 \pm 46,91	0,119
Bukkal	90,24 \pm 33,24	122,15 \pm 27,41	0,016
Palatinal	82,43 \pm 40,82	111,98 \pm 45,33	0,100
Total	100,41 \pm 17,61	123,94 \pm 27,64	0,017

*Bağımsız örneklem t testi

Kökün farklı yüzeylerinde lazer ve kontrol gruplarında ölçülen rezorpsiyon demineralizasyon derinlikleri (ortalama) arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmalar 6.2d'de sunulmaktadır.

Pekiştirme fazında ölçülen kök rezorpsiyon demineralizasyon derinliği (ortalama) değerlerinden bukkal kök yüzeyine dair olan lazer grubunda kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı miktarda küçük bulunurken ($p<0,05$), kökün diğer yüzeylerindeki demineralizasyon derinlikleri açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Total demineralizasyon derinliği değerlerine bakıldığında, lazer grubunda kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük değerler olduğu gözlenmektedir ($p=0,017$).

Pekiştirme fazı hızlı üst çene genişletmesi gruplarında ölçülen kök rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin gruplara arası karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.2e’de gösterilmektedir.

Kökün total rezorpsiyon krater hacimlerine bakıldığında, lazer ve kontrol gruplarına ait değerler arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,036$). Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme süreci sonunda ölçülen total rezorpsiyon yüzdesi karşılaştırıldığında lazer grubunda $1,39\pm 0,11$ olan değer kontrol grubu için $1,74\pm 0,2$ olduğu görülmektedir (Tablo 6.2e). İki grup arasındaki total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinde gözlenen belirgin fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,001$). Lazer ve kontrol grupları arasında total kök hacmi ve total kök pulpa hacmi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 6.2e).

Tablo 6.2e. Hızlı üst çene genişletmesi pekiştirme fazı grubundaki lazer ve kontrol gruplarına ait rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Rezorpsiyon Krateri Hacmi (mm³)	0,05±0,04	0,08±0,03	0,036
Total Kök Hacmi (mm³)	380,55±46,96	368,21±30,16	0,542
Total Kök Pulpa Hacmi (mm³)	25,2±4,32	23,9±3,2	0,504
Total rezorpsiyon Yüzdesi (%)	1,39±0,11	1,74±0,2	0,001

*Bağımsız örneklem t testi

6.3. Ortodontik Kuvvet Uygulanmayan Gruplarda Kök Rezorpsiyon Bulguları

Ortodontik kuvvet uygulanmayan grupta bulunan sekiz bireyde, randomize olarak seçilen bir tarafta beş hafta boyunca DSLT uygulandıktan sonra çekilen üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyonun ölçümüne ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 6.3a, 6.3b, 6.3c, 6.3d ve 6.3e’de sunulmaktadır.

Tablo 6.3a. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon kraterleri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri sayısı	HÜÇG (-) Lazer (+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	0,45±0,52	0,64±0,81	0,712
Distal	0,45±0,69	0,09±0,30	0,126
Bukkal	0,73±0,65	0,73±0,90	0,831
Palatinal	0,45±0,52	0,09±0,30	0,061
Toplam	2,09±1,58	1,45±1,37	0,319

*Mann Whitney U testi

Tablo 6.3b. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon Krateri Alanı- En geniş olanı (µm)	HÜÇG (-) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer(-) Kontrol Grubu	p*
Mesial	83,82±8,6	81,58±7,34	0,519
Distal	85,26±21,19	92,24±16,83	0,403
Bukkal	102,03±19,85	121,85±42,66	0,178
Genişlik Palatinal	86,99±8,82	93,67±10,35	0,119
Mesial	71,18±32,5	82,77±28,94	0,388
Distal	74,53±15,76	81,22±16,74	0,347
Bukkal	55,75±11,56	58,12±8,29	0,587
Derinlik Palatinal	78,31±15,68	85±16,67	0,344

*Bağımsız örneklem t testi

Tablo 6.3c. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri derinliği - ortalama (µm)	HÜÇG (-) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer(-) Kontrol Grubu	p‡
Mesial	18,23±18,49	16,42±19,06	0,679
Distal	8,61±12,85	5,93±13,65	0,451
Bukkal	18,84±16,64	17,12±22,32	0,809
Palatinal	14,79±14,68	14,71±10,49	0,068
Total	21,84±15,75	22,34±20,87	0,867

‡Mann Whitney U testi

Tablo 6.3d. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Demineralizasyon Derinliği-ortalama (µm)	HÜÇG (-) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer(-) Kontrol Grubu	p‡
Mesial	3,7±5,12	3,32±5,72	0,869
Distal	1,8±3,45	0,86±1,99	0,403
Bukkal	3,66±5,68	2,84±4,63	0,566
Palatinal	3,23±4,29	1,53±3,56	0,148
Total	5,82±8,45	4,64±5,4	0,920

‡Mann Whitney U testi

Tablo 6.3e. Ortodontik kuvvet uygulanmayan gruptaki lazer ve kontrol gruplarına ait rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

	HÜÇG (-) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer(-) Kontrol Grubu	p
Rezorpsiyon Krateri Hacmi (mm ³)	0,06±0,12	0,08±0,12	0,687‡
Total Kök Hacmi (mm ³)	360,3±23,12	367,05±37,53	0,671 ^π
Total Kök Pulpa Hacmi (mm ³)	22,99±2,39	24,34±4,85	0,492 ^π
Total rezorpsiyon Yüzdesi (%)	1,48±0,29	1,51±0,19	0,800 ^π

^πBağımsız örneklem t testi, ‡ Mann Whitney U testi

Ortodontik kuvvet uygulanmayan bireylerde beş hafta boyunca uygulanan DSLT'nden sonra çekimi yapılan üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyon kraterleri ve pulpa hacimleri ölçümlerine ilişkin gruplar arası karşılaştırma sonuçlarına göre; değerlendirilen tüm parametreler için lazer grubunda kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (p>0,05).

6.4. Tüm Lazer Gruplarında Kök Rezorpsiyon Bulguları

Tüm lazer gruplarındaki çekilmiş üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyonun ölçümüne ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 6.4a, 6.4.1a, 6.4b, 6.4c, 6.4.1c, 6.4d, 6.4.1d, 6.4e ve 6.4.1e 'de sunulmaktadır.

Tablo 6.4a. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri sayısı	Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer(+) Deney Grubu	p‡
Mesial	2,73±1,03	2,23±0,93	0,45±0,52	0,0001
Distal	1,4±0,74	1,46±0,66	0,45±0,69	0,002
Bukkal	2±1,13	2,31±0,95	0,73±0,65	0,001
Palatinal	1,4±1,18	1,15±0,69	0,45±0,52	0,032
Toplam	7,6±2,61	7,15±2,3	2,09±1,58	0,0001

‡Tek Yönlü Varyans Analizi

Kökün her yüzeyi için ölçülen rezorpsiyon krateri sayısının lazer grupları arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmaları Tablo 6.4a’da sunulmaktadır. Lazer gruplarına ait değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı olmakla beraber, anlamlı farklar ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubundan kaynaklandığı görülmektedir (Tablo 6.4.1a). Hızlı üst çene genişletmesinin aktif olarak kuvvet uygulanan sürecindeki lazer grubu ile pekiştirme sürecindeki lazer grubuna ait kök rezorpsiyonu krateri sayıları (mesial, distal, bukkal, palatinal, toplam) karşılaştırıldığında, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ($p>0,05$).

Tablo 6.4.1a. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının çoklu karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri sayısı	Mesial	Distal	Bukkal	Palatinal	Toplam
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu	0,301	0,971	0,676	0,744	0,862
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,0001	0,004	0,005	0,028	0,0001
Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,0001	0,003	0,001	0,144	0,0001

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.4b’de sunulmaktadır. Elde

edilen sonuçlara göre, tüm kök yüzeylerinde (mesial, distal, bukkal, palatinal) değerlendirilen en geniş rezorpsiyon krateri alanında hem genişlik hem de derinlik olarak lazer grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$).

6.4b. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon Krateri Alan- En geniş olanı (μm)	Aktif Faz	Pekiştirme Fazı	HÜÇG (-)	p‡
	HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Lazer(+) Deney Grubu	
Mesial	84,39±9,53	90,47±13,28	83,82±8,6	0,232
Distal	92,68±24,74	84,63±20,8	85,26±21,19	0,581
Bukkal	99,96±21,81	96,21±23,38	102,03±19,85	0,802
Genişlik Palatinal	90,60±9,97	85,28±14,69	86,99±8,82	0,464
Mesial	62,49±14,05	64,34±30,2	71,18±32,5	0,603
Distal	77,58±39,03	69,86±16,66	74,53±15,76	0,781
Bukkal	73,00±17,45	60,34±13,89	55,75±11,56	0,447
Derinlik Palatinal	76,83±17,36	73,67±16,61	78,31±15,68	0,780

‡Tek Yönlü Varyans Analizi

Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.4c’de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, tüm kök yüzeylerinde (mesial, distal, bukkal, palatinal) ve totalde, gruplar arasındaki ortalama rezorpsiyon krateri derinlik değerlerinde gözlenen belirgin fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,001$).

6.4c. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri derinliği -ortalama (μm)	Aktif Faz	Pekiştirme Fazı	HÜÇG (-)	p‡
	HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Lazer(+) Deney Grubu	
Mesial	266,57±64,8	396,32±73,71	18,23±18,49	0,0001
Distal	245,72±115,6	379,06±138	8,61±12,85	0,0001
Bukkal	239,98±115,57	346,88±124,27	18,84±16,64	0,0001
Palatinal	206,74±136,31	314,39±185,27	14,79±14,68	0,0001
Total	275,22±52,9	390,81±71,5	21,84±15,75	0,0001

‡Tek Yönlü Varyans Analizi

Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular Tablo 6.4.1c’de sunulmaktadır.

Ortalama rezorpsiyon krater derinliği açısından, palatinal kök yüzeyi hariç diğer kök yüzeylerine dair değerlerde ve total değerlerde aktif faz hızlı üst çene genişletmesi lazer grubu ile pekiştirme dönemi lazer grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmaktadır. İstatistiksel olarak önem ifade eden bu değerler, aktif faz HÜÇG sırasındaki lazer grubunda ölçülen mesial, distal, bukkal ve total ortalama krater derinliğinin, pekiştirme döneminde lazer uygulanan gruba kıyasla önemli miktarda daha az olduğunu göstermektedir.

Aktif faz hızlı üst çene genişletmesi lazer grubu ile pekiştirme dönemi lazer grubunun her ikisinde de tüm kök yüzeylerinde ve totalde rezorpsiyon krateri derinliği miktarı, ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,003$).

6.4.1c. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri derinliği	Mesial	Distal	Bukkal	Palatinal	Toplam
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu	0,0001	0,007	0,024	0,109	0,0001
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,003	0,0001
Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon demineralizasyon derinliği karşılaştırmasına ilişkin bulgular Tablo 6.4d’de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, tüm kök yüzeylerinde (mesial, distal, bukkal, palatinal) ve totalde, gruplar arasındaki ortalama rezorpsiyon krateri demineralizasyon derinliği değerlerinde gözlenen belirgin fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p=0,001$). İstatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlılık yaratan değerler, ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubundaki düşük demineralizasyon derinliğine bağlı ortaya çıkmıştır (Tablo 6.4d). Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre hem aktif faz HÜÇG lazer grubunda, hem de pekiştirme dönemindeki HÜÇG lazer grubunda tüm kök yüzeylerinde ve totalde

rezorpsiyon kraterlerindeki demineralizasyon derinliği, ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubuna kıyasla istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlıdır (p=0,0001).

Tablo 6.4.1d'de sunulduğu üzere aktif faz HÜÇG lazer grubunda kökün mesial ve distal yüzeylerindeki ve totaldeki demineralizasyon derinliği pekiştirme dönemindeki HÜÇG lazer grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı miktarda düşük bulunmaktadır (sırasıyla; p=0,002, p=0,001, p=0,007).

6.4d. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği karşılaştırmasına ilişkin bulgular

Demineralizasyon Derinliği- ortalama (µm)	Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer(+) Deney Grubu	p†
Mesial	81,11±16,79	105,34±23,52	3,7±5,12	0,0001
Distal	65,19±28,06	93,19±32,26	1,8±3,45	0,0001
Bukkal	66,05±29,26	90,24±33,24	3,66±5,68	0,0001
Palatinal	61,07±42,93	82,43±40,82	3,23±4,29	0,0001
Total	82,57±18,52	100,41±17,61	5,82±8,45	0,0001

†Kruskal Wallis Testi

6.4.1d. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular

Demineralizasyon derinliği-ortalama (µm)	Mesial	Distal	Bukkal	Palatinal	Toplam
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu	0,002	0,001	0,056	0,066	0,007
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dunn's Çoklu Karşılaştırma Testi

Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi karşılaştırmasına ilişkin bulgular Tablo 6.4e'de sunulmaktadır.

Lazer gruplarının karşılaştırmasında, rezorpsiyon krater hacmi ve total kök pulpa hacmi değerlerinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır

($p>0,05$). Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark çıkan total kök hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerleri için çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır (Tablo 6.4.1e). Aktif kuvvet uygulanan HÜÇG lazer grubu ile ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubu arasında bu değerler açısından yapılan karşılaştırma istatistiksel olarak anlamlı bulunmaktadır ($p<0,05$).

6.4e. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi, total rezorpsiyon yüzdesi karşılaştırmasına ilişkin bulgular

	Aktif Faz HÜÇG(+) Lazer(+) Deney Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(+) Deney Grubu	HÜÇG (-) Lazer(+) Deney Grubu	p
Rezorpsiyon Krateri Hacmi (mm³)	0,02±0,01	0,05±0,04	0,06±0,12	0,093†
Total Kök Hacmi (mm³)	428,33±50,18	380,55±46,96	360,3±23,12	0,011‡
Total Kök Pulpa Hacmi (mm³)	27,62±4,9	25,2±4,32	22,99±2,39	0,094‡
Total rezorpsiyon Yüzdesi (%)	1,17±0,21	1,39±0,11	1,48±0,29	0,029‡

‡Tek Yönlü Varyans Analizi †Kruskal Wallis Testi

6.4.1e. Tüm lazer gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan total kök hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi çoklu karşılaştırmasına ilişkin bulgular

	Total Kök Hacmi (mm ³) p	Total rezorpsiyon Yüzdesi (%) p
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu	0,08	0,126
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,01	0,028
Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (+) Grubu / HÜÇG (-) Lazer (+) Grubu	0,605	0,735

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

6.5. Tüm Kontrol Gruplarında Kök Rezorpsiyon Bulguları

Tüm kontrol gruplarındaki çekilmiş üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyonun ölçümüne ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 6.5a, 6.5b, 6.5c, 6.5d ve 6.5e’de sunulmaktadır.

Kökün her yüzeyi için ölçülen rezorpsiyon krateri sayısının kontrol grupları arasında yapılan istatistiksel karşılaştırmaları Tablo 6.5a’da sunulmaktadır. Kontrol gruplarına ait değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (Tablo 6.5a).

Aktif faz hızlı üst çene genişletmesi kontrol grubuna ve pekiştirme dönemi HÜÇG kontrol grubuna dair kök rezorpsiyonu krateri sayılarının (mesial, distal, bukkal, palatinal, total) karşılaştırılmasında bulunan farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı saptanmıştır ($p>0,05$). Her iki kontrol grubu, ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubu ile rezorpsiyon krateri sayısı bakımından ayrı ayrı karşılaştırıldığında, tüm değerlerdeki (mesial, distal, bukkal, palatinal, total) farklar istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlı bulunmaktadır ($p=0,0001$).

6.5a. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri sayısı	Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	HÜÇG (-) Lazer(-) Kontrol Grubu	p‡
Mesial	3,07±1,22	2,92±1,00	0,64±0,81	0,0001
Distal	2,40±0,83	2,25±1,14	0,09±0,30	0,0001
Bukkal	3,07±1,16	2,92±1,08	0,73±0,90	0,0001
Palatinal	1,73±0,88	1,75±0,62	0,09±0,30	0,0001
Toplam	10,27±2,79	9,83±2,33	1,45±1,37	0,0001

‡Tek Yönlü Varyans Analizi

6.5.1a. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri sayısının çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri sayısı	Mesial	Distal	Bukkal	Palatinal	Toplam
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,928	0,890	0,930	0,998	0,879
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi

Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.5b’de sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre kökün mesial ve distal yüzeylerinde değerlendirilen en geniş rezorpsiyon krateri alanında hem genişlik hem de derinlik olarak kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$). Tek yönlü varyans analizi

sonucunda kontrol grupları arasında, bukkal ve palatinal yüzeylerdeki en geniş rezorpsiyon krateri alanının hem genişlik hem de derinliğindeki istatistiksel olarak anlamlı farklılık, bu değerler için çoklu karşılaştırma testi yapılmasını gerekli kılmıştır (Tablo 6.5.1b). Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre HÜÇG'nin hem aktif hem pekiştirme dönemindeki kontrol grupları ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubuna kıyasla, kökün bukkal ve palatinal yüzeylerinde rezorpsiyon krateri alanının hem derinlik hem de genişliği bakımından anlamlı farklar göstermiştir (Tablo 6.5.1b). Hızlı üst çene genişletmesi aktif dönemindeki kontrol grubunun bukkal yüzeydeki rezorpsiyon krateri alanının derinlik değeri hariç diğer tüm değerler ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubunda daha yüksek bulunmaktadır.

6.5b. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon Krateri Alanı -En geniş olanı (µm)	Aktif Faz HÜÇG(+) Lazer(-) Kontrol Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG(+) Lazer(-) Kontrol Grubu	HÜÇG(-) Lazer(-) Kontrol Grubu	p‡
	Mesial	80,05±8,06	84,89±14,96	
Distal	94,67±17,29	80,91±29,52	92,24±16,83	0,250
Bukkal	92,61±18,98	92,33±15,55	121,85±42,66	0,017
Genişlik Palatinal	78,50±21,82	77,7±10,99	93,67±10,35	0,036
Mesial	60,91±22,16	56,02±11,08	58,12±8,29	0,351
Distal	61,31±8,83	61,03±49,43	82,77±28,94	0,266
Bukkal	82,73±31,7	61,67±14,85	81,22±16,74	0,018
Derinlik Palatinal	64,74±22,12	65,49±14,78	85±16,67	0,018

‡Tek Yönlü Varyans Analizi

6.5.1b. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan en geniş rezorpsiyon krateri alanı (genişlik-derinlik) çoklu karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi	Bukkal	Palatinal	Bukkal	Palatinal
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,999	0,991	0,994	0,996
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,027	0,049	0,025	0,025
Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,035	0,048	0,043	0,042

Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği ve ortalama demineralizasyon derinliği değerleri karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

sırasıyla Tablo 6.5c ve 6.5d'de; çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular ise sırasıyla Tablo 6.5.1c ve 6.5.1d'de sunulmaktadır.

Aktif faz hızlı üst çene genişletmesi kontrol grubu ile pekiştirme HÜÇG kontrol grubu arasında ortalama rezorpsiyon krateri derinliği ve ortalama demineralizasyon derinliği bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamaktadır ($p>0,05$).

Çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre HÜÇG'nin hem aktif hem pekiştirme kontrol gruplarında, kökün tüm yüzeylerinde ve totalde ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubuna kıyasla ortalama rezorpsiyon krateri derinliği ve ortalama demineralizasyon derinliği değerleri istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur ($p=0,0001$).

6.5c. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği değerleri karşılaştırmasına ilişkin bulgular

Rezorpsiyon krateri derinliği -ortalama (μm)	Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(-) Kontrol Grubu	HÜÇG (-) Lazer(-) Kontrol Grubu	p†
Mesial	542,09±181,73	646,03±155,25	16,42±19,06	0,0001
Distal	542,56±191,38	611,61±240,02	5,93±13,65	0,0001
Bukkal	536,42±184,31	644,68±156,71	17,12±22,32	0,0001
Palatinal	511,26±219,95	605,31±238,93	4,71±10,49	0,0001
Total	557,99±128,26	642,91±160,32	22,34±20,87	0,0001

†Kruskal Wallis Testi

6.5.1c. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama rezorpsiyon krateri derinliği değerleri çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular

Dunn's Çoklu Karşılaştırma Testi	Mesial	Distal	Bukkal	Palatinal	Toplam
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,166	0,592	0,151	0,429	0,183
Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

6.5d. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerleri karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

Demineralizasyon Derinliği-ortalama (µm)	Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer(-)	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer(-)	HÜÇG (-) Lazer(-)	p†
	Kontrol Grubu	Kontrol Grubu	Kontrol Grubu	
Mesial	126,21±47,52	124,67±26,08	3,32±5,72	0,0001
Distal	133,09±37,95	119,11±46,91	0,86±1,99	0,0001
Bukkal	120,53±44,89	122,15±27,41	2,84±4,63	0,0001
Palatinal	130,88±49,12	111,98±45,33	1,53±3,56	0,0001
Total	130,72±35,65	123,94±27,64	4,64±5,4	0,0001

†Kruskal Wallis Testi

6.5.1d. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan ortalama demineralizasyon derinliği değerleri çoklu karşılaştırma testine ilişkin bulgular

Ortalama demineralizasyon derinliği	Mesial	Distal	Bukkal	Palatinal	Toplam
HÜÇG (+) Lazer (-) Aktif Grubu / HÜÇG (+) Lazer (-) Pekiştirme Grubu	0,996	0,574	0,991	0,453	0,801
HÜÇG (+) Lazer (-) Aktif Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
HÜÇG (+) Lazer (-) Pekiştirme Grubu / HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Dunn's Çoklu Karşılaştırma Testi

Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi ve total rezorpsiyon yüzdesi değerleri karşılaştırılmasına ilişkin bulgular Tablo 6.5e'de sunulmaktadır.

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda tüm kontrol grupları arasında incelenen değerler için istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (p>0,005).

6.5e. Tüm kontrol gruplarındaki kök yüzeylerinde saptanan rezorpsiyon krateri hacmi, total kök hacmi, total kök pulpa hacmi, total rezorpsiyon yüzdesi değerleri karşılaştırılmasına ilişkin bulgular

	Aktif Faz HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu	Pekiştirme Fazı HÜÇG (+) Lazer (-) Kontrol Grubu	HÜÇG (-) Lazer (-) Kontrol Grubu	p
Rezorpsiyon Krateri Hacmi (mm ³)	0,10±0,14	0,08±0,03	0,08±0,12	0,845†
Total Kök Hacmi (mm ³)	405,97±61,05	368,21±30,16	367,05±37,53	0,156‡
Total Kök Pulpa Hacmi (mm ³)	27,78±5,39	23,9±3,2	24,34±4,85	0,203‡
Total rezorpsiyon Yüzdesi (%)	1,63±0,24	1,74±0,2	1,51±0,19	0,130‡

‡Tek Yönlü Varyans Analizi †Kruskal Wallis Testi

6.6 Tüm Gruplarda Rezorpsiyon Krateri Derinliği/Demineralizasyon Derinliği Korelasyon Analizi

Tüm gruplardaki çekilmiş üst birinci küçük azı dişlerinin kök yüzeyinde meydana gelen rezorpsiyon krateri-ortalama değerleri ile demineralizasyon derinliği-ortalama değerleri arasındaki korelasyon analizine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 6.6'da sunulmaktadır.

Tablo 6.6 Rezorpsiyon krateri-ortalama değerleri ile demineralizasyon derinliği-ortalama değerleri arasındaki korelasyon analizine ilişkin bulgular

			Rezorpsiyon krateri derinliği -ortalama				
			Mesial	Distal	Bukkal	Palatinal	Total
Derinliği-	Mesial	r	0,838	0,776	0,797	0,747	0,833
		p	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Distal	r	0,877	0,921	0,860	0,871	0,892
		p	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Demineralizasyon ortalama	Bukkal	r	0,885	0,831	0,913	0,822	0,878
		p	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Palatinal	r	0,856	0,868	0,849	0,908	0,852
		p	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Total		r	0,893	0,847	0,843	0,798	0,905
		p	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Çalışmada yer alan tüm gruplar arasında rezorpsiyon krateri derinliği-ortalama değerleri ile demineralizasyon derinliği-ortalama değerleri arasında pozitif yönde istatistiksel olarak anlamlı korelasyon gözlenmiştir (p=0,0001).

7. TARTIŞMA

7.1. Bireyler ve Yöntemin Tartışması

Çalışmamızın amacı, düşük seviyeli lazer terapisinin (DSLTL) hızlı üst çene genişletmesi (HÜÇG) sonrası destek dişlerde kaçınılmaz bir yan etki olarak meydana gelen kök rezorpsiyonları üzerindeki olası önleyici ve tedavi edici etkilerinin değerlendirilmesi olarak belirlendi. Amacımız doğrultusunda, HÜÇG sonrası çekimi planlanan üst çene birinci küçük azı dişlerine randomize olarak DSLTL uygulanan ve uygulanmayan gruplar olarak ikiye ayrıldı. Ayrıca, HÜÇG ihtiyacı olmayan, üst çene birinci küçük azı dişlerinin çekimi planlanmış, ancak aktif tedaviye başlanmadığından henüz ortodontik kuvvet uygulanmamış bireylerin de çekimi planlanan dişlerine DSLTL uygulandı.

Literatürde kök rezorpsiyonu ile diş morfolojisi (140), cinsiyet (141), periodontal durum (142), bağışıklık sistemi (143), kemik metabolizması (144) ve genetik (145) gibi sistemik faktörler arasında ilişki olduğu öne sürülmektedir. Kök boyutları ve şekillerinde meydana gelen değişikliklerin şiddeti bireysel varyasyon gösterdiği için (99) çalışmada her bireyin kendi kontrol grubunu oluşturabilmesi amacıyla split-mouth dizayn tercih edildi. Deney ve kontrol gruplarında yer alacak dişlerin belirlenebilmesi için 24 bireyin üst birinci küçük azı dişleri numaralandırıldı ve numaralara permütasyon blok randomizasyon uygulandı (MedCalc 11.5). Böylece çalışmamıza 24'ü deney, 24'ü kontrol gruplarında olmak üzere toplam 48 adet çekilmiş üst çene birinci küçük azı dişi dahil edildi.

Literatürde HÜÇG için en uygun zaman 13-15 yaş aralığı öncesi olarak bildirilmiştir (45). Daha ileri yaşlarda üst çene genişletmesi mümkün olabilse de, sonuçlar öngörülebilir ya da düzenli değildir (45). Kök rezorpsiyonunun değerlendirileceği çalışmalarda, incelenecek dişin kök gelişimini tamamlamış ve kök ucunun kapanmış olması şartı aranmaktadır. Üst çene küçük azı dişlerinin kök gelişimi 12-13 yaşlarında tamamlanmış olduğundan ve üst çene genişletmesinden optimum iskeletsel faydanın sağlanabilmesi amacıyla çalışmaya dahil edilecek bireylerin yaş aralığı için alt sınır on iki, üst sınır on beş yaş olarak belirlendi (146). Buna ek olarak, kök uçlarının kapalı olup olmadığının değerlendirilebilmesi için üst çene küçük azı dişlerinden periapikal radyografiler alındı.

İdeal genişliğe sahip bir üst çenede birinci büyük azıların palatinal olukları arasından ölçülecek intermolar mesafenin erkeklerde 37,4; kadınlarda 36,2 mm olduğu bildirilmiştir (147). Üst çene genişletme miktarının standartizasyonunu sağlamak için başlangıç üst çene intermolar mesafesi 31 mm veya daha küçük olan, tek veya çift taraflı posterior çapraz

kapanıya sahip (1, 43) bireyler çalışmaya dahil edildi. Deney süresince dişlerin eşit miktarda kuvvete maruz kalması ve her örneğe eşit sayıda DSLT uygulanabilmesi açısından bireylerin üst çene transversal yetersizlik miktarının benzer olmasına özen gösterildi (yaklaşık 9 mm).

Haas ve Hyrax tipi HÜÇG apareylerinin kullanımı sonrasında, destek dişlerin bukkal kök yüzeylerinde meydana gelen rezorpsiyon miktarı arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmamasına rağmen (11, 13), Haas tipi HÜÇG apareyi uygulanmış bireylerden alınan örneklerde üst çene ikinci küçük azı köklerinin palatinal yüzeylerinde de rezorpsiyon alanları olduğu bildirilmiştir (94). Çalışmamızda DSLT uygulamaları bukkal yüzden yapılacağından Hyrax tipi HÜÇG apareyinin akrilik destekli modeli tercih edildi. Akrilik destekli modeli tercih etme sebebimiz ise, akrilikle kaplı olan okluzal yüzeylerin üst çene segmentlerinin genişlemesi sırasında okluzal çatışmaları tamamen ortadan kaldırmasıydı (148). Tüm apareyler aynı laboratuvarında Sarver ve Johnston'ın çalışması referans alınarak üretildi (47). Aparey dizaynı temel olarak, aynı taraftaki ikinci büyük azı dişinden birinci küçük azı dişine kadar uzanan ve tüm okluzal yüzeyleri kaplayan üç milimetre kalınlığında akrilik kısma sahip olacak şekildeydi. Damağın merkezinde konumlandırılan 12 mm'lik genişletme vidası, damak yüzeyine temas olmaksızın mümkün olduğunca damak kubbesine yakın yerleştirildi.

Isaacson ve Ingram (2) ile Zimring ve Isaacson (22)'in belirttikleri üzere, genç bireylerde ilk beş gün boyunca günde iki kez $\frac{1}{4}$ tur, kalan günlerde bir kez $\frac{1}{4}$ tur uygulanan vida protokolü uygun görüldü (2, 22). Çalışmaya dahil edilen bireyler benzer miktarda transversal yetersizliğe sahip oldukları için, her birey genişletme vidasını beş hafta boyunca toplamda 40 kez $\frac{1}{4}$ tur çevirmiş oldu. Böylece eşit miktarda ve sürede kuvvet uygulanan dişlerde rezorpsiyon oluşumu ve aktif dönemde uygulanan DSLT seans sayısı açısından standardizasyon sağlanmaya çalışıldı.

Çalışmamızda üç çalışma grubu ve bu çalışma gruplarına dahil olan bireylere ait karşıt arka bulunan simetrik dişlerden oluşan üç kontrol grubu oluşturuldu. Lazer uygulanan çalışma gruplarını, HÜÇG aktif döneminde olan (vida çevrilirken), HÜÇG pasif döneminde olan (pekiştirme) ve henüz ortodontik kuvvet uygulanmamış olan bireyler oluşturmaktaydı. Örneklerin gruplara dağıtımında seçim yanlılığını önlemek amacıyla çekilecek dişlerin ait olacakları gruplara tamamen şansa bağlı olarak atanmaları için randomizasyon uygulandı. Gruplardaki örneklem sayısı küçük olduğu ve her grupta eşit

sayıda örnek olması istendiği için permütasyon yöntemi tercih edildi (149). Çalışmaya dahil edilecek toplam 24 bireye geliş sırasına göre bir numara verildi ve HÜÇG uygulanacak 16 bireyin numaraları kullanılarak permütasyon yöntemi uygulandı.

Görünür ya da kızıl ötesi spektrumda yayılan lazer ışınları, enzimatik aktiviteyi, elektron transportunu ve adenosin trifosfat (ATP) sentezini arttırmaktadır. Bu durum, iyileşme süreci boyunca hücre metabolik reaksiyonlarının oluşması için uygun koşulları sağlamaktadır (150).

Düşük seviyeli lazer terapinin osteoblast, fibroblast, makrofaj, lenfosit proliferasyonu ve odontoblast farklılaşması ve aktivasyonu üzerine tanınmış etkisi bulunmaktadır (149, 150). Anti-inflamatuvar etkinliği periferel prostoglandin sentezini azaltması ve bölgedeki mikrosirkülasyonu arttırmasının yanı sıra bölgedeki osmotik basıncın dengelenmesine yardım etmesi ile sağlanmaktadır (153). Bölgedeki lenf drenajının artması da hem hücreler arası sıvının eliminasyonuna katkıda bulunmakta hem de bölgedeki ölü ve artık ürünler temizleneceğinden, anti-inflamatuvar etkiyi tetiklemektedir (154).

Huang ve ark., DSLT'nin gerilme koşulları altında bulunan PDL hücreleri üzerindeki proliferasyon, inflamasyon ve osteojenik etkilerini *in vitro* olarak incelemiştir. Periodontal ligament hücreleri 670 nm dalga boyuna ve 500 mW çıkış gücüne sahip bir lazer ile radyant enerjisi 1,25 J ve 2,5 J olacak şekilde ışınlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre DSLT uygulanan PDL hücrelerinin proliferasyonu ve osteojenik aktivitesi anlamlı miktarda artarken inflamasyonun azaldığı bildirilmiştir (155).

Vilela ve ark., sıçanlar üzerinde gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada, üst çene sol kesici dişi çektikten sonra çekilmiş dişin tüm kök yüzeyine, replantasyon öncesi alveol soketine ve replantasyon sonrası 15., 30. ve 60. günlerde kökü çevreleyen tüm mukozaya lazer ışını uygulamıştır (685 nm, 50 J/cm²). Çalışma sonuçlarına göre lazer terapisi grubundaki dişlerde kontrol grubuna kıyasla daha az kök rezorpsiyonu gerçekleşirken histolojik incelemeler lazer terapisi grubunda daha az inflamatuvar hücre ve nekrotik alan olduğunu ortaya koymuştur (156).

Toomarian ve ark., 808 nm (2 J/cm², 100 mW, 20 sn) dalga boyuna sahip lazer ışınının, sıçan dişlerinin kök gelişimi üzerindeki etkilerini incelerken aynı zamanda pulpa ve periodontal dokuların lazer ışınına olan tepkilerini histolojik olarak değerlendirmiştir. Lazer ışını, 48 saat aralıklarla sıçanların alt büyük azı dişlerinin köklerine split-mouth dizaynda uygulanmıştır. Lazer terapisi uygulanan dişlerin kök gelişimlerinin kontrol

grubuna kıyasla daha hızlı olduğu bildirilmiştir. Lazer terapisi grubunda sekonder sement formasyonu kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha fazla bulunmuştur (157).

Ortodontik olarak hareket ettirilen dişin fonksiyonel bütünlüğünün korunabilmesinde kök yüzeyindeki rezorptif lezyonların tamir proçesi önemli rol oynamaktadır. Kurol ve Owman-Moll (25), kuvvet ortadan kalktığında bile rezorpsiyon bölgesinde bulunan odontoklastların rezorpsiyon sürecini devam ettirdiğini, bu yüzden aktif kök rezorpsiyonu ve tamirin bir arada gözlenebileceğini bildirmişlerdir (25). Hızlı üst çene genişletmesi sırasında ve sonrasındaki pekiştirme dönemi boyunca, rezorpsiyon ve tamir süreçlerinin eş zamanlı devam ediyor olması kuvvetle muhtemeldir.

Odontoklast aktivitesinden sonra, fibroblast benzeri ve sementoblastik hücreler olarak adlandırılan tamir hücreleri, kolajen yapı üzerine kalsifiye olmayan ince sementoid matriks depolamaktadırlar (24). Düşük seviyeli lazer terapisinin biyostimülan etkisini ele alan çalışmalarda, terapinin fibroblast büyüme gelişiminde, yara iyileşmesinde, kemik onarımında ya da osteoblastların farklılaşmasında önemli rol oynadığı gösterilmiştir (158).

Bu bilgiler ışığında, DSLT'nin HÜÇG esnasında meydana gelecek odontoklastik aktiviteyi önleme, rezorpsiyonun şiddetini hafifletme ve/veya tamir sürecini hızlandırma konusundaki etkilerini değerlendirebilmek için hem HÜÇG esnasında hem de pekiştirme dönemi esnasında lazer uygulanacak gruplar oluşturulmuştur. Hızlı üst çene genişletmesi esnasında lazer uygulanan çalışma gruplarına kontrol oluşturmak amacıyla, henüz ortodontik kuvvet uygulanmamış bireylerden oluşan bir lazer çalışma grubu daha eklenmiştir.

Hızlı üst çene genişletme apareyi bünyesinde oluşturulan kuvvetler neticesinde periodontal ligament sıkışmakta, alveol kemiği bükülmekte, destek dişler eğilmekte ve kademeli olarak midpalatal suture açılmaktadır (42). Hızlı üst çene genişletmesi sırasında periodontal ligamentte meydana gelen sıkışma sonucu, destek dişlerin bukkal kök yüzeyinde belirgin şekilde rezorpsiyon meydana geldiği bildirilmiştir (10, 11, 99–102, 154). Bu sebeple DSLT, lazer gruplarına dahil olan dişlerin bukkal kök yüzeyleri boyunca uygulanmıştır.

Üst çene birinci küçük azı dişlerinin ortalama kök boyu uzunluğu (mine-sement bağlantısı ile kök ucu arasındaki mesafe) erkeklerde ve kadınlarda sırasıyla $13,24 \pm 1,30$ mm ve $12,40 \pm 1,53$ mm bulunmuştur (160). Çalışmamızda kullandığımız DSLT uygulama

başlığının çapının yedi milimetre olması sebebiyle, kökün bukkal yüzeyi boyunca vertikal aksta iki bölgeden uygulanması uygun görülmüştür.

Düşük seviyeli lazer terapisinde istenen etkilerin elde edilebilmesi için gereken kriterlerden biri 'doğru dalga boyunu seçmek'tir. Ancak henüz her endikasyon için 'en iyi' dalga boyu belirlenememiştir. Hücresel düzeyde etki, spektrumda incelendiğinde yakın kızıl ötesi dalga boylarında, 600-860 nm aralığında biyolojik yanıtın en fazla olduğu bildirilmiştir (161). Bu aralığın üzerindeki dalga boyları dokunun yüzeysel tabakalarınınca absorbe edilir ve derin dokular stimüle edilemez. Yakın kızıl ötesi ışınlar hemoglobin ve suda düşük absorpsiyon katsayısına sahiptir; böylece ışınlanmış dokuya daha derin şekilde penetre olmaktadır. Klinik uygulamalar için, yakın kızıl ötesi ışık (808– 980 nm) doku penetrasyonundaki etkinliği sebebiyle tercih sebebidir (162–164). Çalışmamızda kullandığımız GaAlAs diyot lazer cihazı, 820 nm dalga boyu ile elektromanyetik dalga spektrumunda yakın kızıl ötesi bantta yer almaktadır. Bu bilgiler ışığında DSLT'nin yumuşak doku ve kemik yapının altında bulunan kök yüzeyine optimal penetrasyonunu sağlamak için çalışmamızda GaAlAs diyot lazer tercih edilmiştir.

Düşük seviyeli lazer terapinin davranışsal modelini tanımlamak için birkaç kural ve yasa ileri sürülmüştür. Bunlardan biri olan Bunsen-Roscoe yasasında, uygulanan rejime bakılmaksızın, belirli bir biyolojik etkinin toplam enerji yoğunluğu (J/cm^2) ile doğru orantılı olduğu belirtilmektedir (165). Enerji yoğunluğu olarak tanımlanan tedavi dozu, güç yoğunluğu (W/cm^2) ve maruz kalma süresinin (sn) bir ürünüdür ve bu nedenle uygulanan lazer terapinin dozu, kaynağın güç yoğunluğundan ve pozlamanın kesintisiz ya da fraksiyonlara ayrılmış olup olmamasından etkilenmektedir. Fotokimyasal reaksiyonlar için, Bunsen-Roscoe yasasının, en azından her reaksiyon için ayrı ayrı tanımlanacak belli bir doz aralığında geçerli olduğu kabul edilebilmektedir.

Lazerin hücre üzerine etkisi, dalga boyuna ve uygulama dozuna göre değişiklik göstermektedir. Literatürde uygun enerji yoğunluğunun (J/cm^2) en az dalga boyu kadar önemli olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalar, dozajın Arndt-Schultz yasasını izlediğini doğrulamıştır; belirli bir doz aralığında bir terapötik pencere vardır. Örneğin açık yarada optimal doz $1-2 J/cm^2$ iken, kapalı ciltte $3-6 J/cm^2$ 'dir (116). Ancak insan periodontal dokularındaki uyarıcı etkiler için optimal dozla ilgili bilgi eksikliği vardır. İnsan ve hayvan çalışmaları arasında doza bağlı doku yanıtlarında kaçınılmaz farklılıklar vardır. Düşük seviyeli lazer terapisinin insan kültürü hücreleri üzerindeki uyarıcı etkisini

bildiren pek çok çalışma vardır (161, 162); ancak uygunluğu bildirilen dozajlar periodonsiyuma dair uygulamalarda yumuşak doku ve kemik içinden penetrasyon sırasında oldukça büyük miktarda enerji yoğunluğu kaybı nedeniyle etkin olamamaktadır. Yapılan bir çalışmada, insan ve sığır mandibular kortikal kemiğine uygulanan diyet lazer ışınının yaklaşık %50'sinin 1.0 mm derinliğe nüfuz edebildiğini göstermiştir (168). Bunun yanı sıra, dokuların morfolojik ve anatomik özellikleri bireysel farklılıklar gösterdiğinden, optimal doz kavramının da bireysel olarak fark gösterebileceği göz önüne alınarak dozaj belirlenmelidir.

Lubart ve ark., sabit dozda düşük ışık yoğunluğunun memeli hücreleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır (169). Çalışma sonuçlarına göre, fibroblast çoğalmasındaki indüksiyonunun, doğrusal olmayan bir şekilde lazer ışınının yoğunluğuna bağlı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca hücre çoğalmasının indüksiyonunun dalga boyuna bağlı bir şekilde maksimum olduğu doz ve yoğunluk kombinasyonları gösterilmiştir (169).

Van Breughel ve Bär, HeNe lazer (632,8 nm) ile sabit bir dozda (43 mJ/mm^2) ve farklı yoğunluk ve ışınlama sürelerinde fibroblast kültürlerini ışınlamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre fibroblast çoğalması ve kolajen üretiminin, yalnızca orta yoğunluklar ve ışınlama süreleri (145 sn için 1,2 mW) ile uyarılabildiğini ortaya koymaktadır (29).

Al Watban ve Zhang, sıçanlarda HeNe (632,8 nm) düşük yoğunluklu lazerin yara iyileşmesi sürecinde karşılıklılık kuralı geçerliliğini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, belirgin bir şekilde doza bağımlılık bulunmasına rağmen, $3,7 \text{ mW/cm}^2$ ile $15,9 \text{ mW/cm}^2$ yoğunlukları arasında yara iyileşmesi hızı üzerinde anlamlı bir fark bulunamamıştır (170).

Bu çalışmaların yanı sıra Schindl ve ark., aşırı sınırlarda (yani çok yüksek ve çok düşük dozlarda), Bunsen-Roscoe yasasının geçerliliğini kaybedeceğini bildirilmiştir. Bu yasa çoğu fotobiyolojik reaksiyon için oldukça dar limitlerle sınırlandırılmıştır (165). Bu sebeple yasanın çok sınırlı doz aralığında geçerli olduğu varsayılmalıdır.

Biyolojik etkileri tetiklemek için doğru enerji yoğunluğu (tedavi dozu) gerekliliğinin yanı sıra lazerin çıkış gücü de önemlidir. Çünkü düşük çıkış gücü daha uzun pozlama süresi ile tam olarak telafi edilemez (171).

Huang ve ark., 'düşük seviyeli lazer terapide çift fazlı (bifazik) doz yanıtı' başlıklı makalede, lazer ışınının biyolojik dokular üzerindeki etkisinde en önemli faktörün ışığın yoğunluğu (mW/cm^2) olduğunu ileri sürmektedirler (172). Düşük seviyeli lazer ışınının

radyant enerjisi (J) iki bileşenden oluşmaktadır; güç ve zaman. Bu bileşenlerin arasında karşılıklılık kuralı olması gerekmediği gösterilmiştir. Yani başka bir deyişle, eğer güç iki katına çıkarılırken zaman yarıya indirilirse yine aynı enerji elde edilir; ancak sıklıkla farklı bir biyolojik tepki gözlenmektedir (171).

Lazer terapinin yara iyileşmesi üzerinde "karşılıklılık ilişkisi olmadığını" bulan Ginsbach ise, hayvan çalışmasında lazer dozunu 4 J/cm^2 ile sabit tutarak güç yoğunluğunun 45 mW/cm^2 olarak uygulandığı grupta stimülasyon gözlenirken, 12.4 mW/cm^2 olarak uygulanan grupta stimülasyon gözlenmediğini bildirmiştir (173).

Düşük seviyeli lazer terapinin hücre aktiviteleri üzerindeki tartışmalı sonuçlar, lazer ışınının dalga boyuna spesifik optimal enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğunun değişken olması şeklinde yorumlanabilmektedir.

Genel olarak düşük seviyeli lazer terapide, 3 veya 5 J/cm^2 kadar düşük dozlar *in vivo* olarak efektif olabilse de, 50 veya 100 J/cm^2 gibi yüksek dozlar yararlı etkisini kaybedecek ve hatta zararlı hale gelebilecektir (172). Biyolojik uyarılma için efektif doz aralığının üst sınırı 12 J/cm^2 olarak tanımlanmaktadır (113).

Deney hayvanları üzerinde yapılan bir çok çalışmada, DSLT'nin çeşitli ortodontik uygulamalar esnasında ortaya çıkan doku tepkileri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir (30, 131, 164–166). Hawkins, enerji yoğunluğu ve uygulama sayısının hücre yanıtı üzerindeki etkilerini değerlendirdiği çalışmasında, düşük dozda lazer terapisi ($2,5 \text{ J/cm}^2$ veya 5 J/cm^2) uygulanan grupta oluşan kümülatif etkinin uyarıcı, yüksek dozda lazer terapisi (16 J/cm^2) uygulanan grupta oluşan kümülatif etkinin ise baskılayıcı bir yanıt oluşturduğunu bildirmiştir (123). Saito ve Shimizu, fareler üzerinde DSLT'nin midpalatal sutur genişletmesi sırasında kemik rejenerasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlar ve lazerin tedavi edici etkilerinin olduğunu, bu etkilerin uygulanan toplam doza, uygulama sıklığına ve tedavi süresine bağlı olduğunu bildirmişlerdir (174). Düşük seviyeli lazer terapisinin ortodontik diş hareketi üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalarda, optimal doza yakın dozlarda önemli biyostimülatör etkiler (131, 159, 176) daha yüksek dozlarda biyo inhibitör etkiler (131, 128) ve daha düşük dozlarda ise anlamlı olmayan etkiler meydana geldiği bildirilmiştir (166).

Cruz ve ark. (2004), 11 birey üzerinde split-mouth dizayn yürüttükleri klinik bir çalışmada DSLT'nin ortodontik diş hareketi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan diyot lazerin dalga boyu 780 nm ve çıkış gücü 20 mW olmak üzere

tedavi dozu 5 J/cm² olarak ayda dört defa uygulanmıştır. Çalışmaya dahil edilen tüm bireylerde, DSLT uygulanan taraftaki ortodontik diş hareketi hızının kontrol grubuna kıyasla anlamlı miktarda daha hızlı olduğu bildirilmiştir (131).

Youssef ve ark. (2008), çalışmalarında DSLT'nin ortodontik diş hareketi üzerindeki etkilerini incelemek üzere GaAlAs lazer kullanılmıştır. Tedavi planında dört küçük azı çekimi gerektiren 15 birey üzerinde yürüttükleri klinik çalışmada, bireylerin kanin distalizasyonu sırasında sağ kadranslardaki kanin dişleri lazer grubunu oluştururken sol kadranslardaki kanin dişleri kontrol grubunu oluşturmuştur. Kullanılan GaAlAs diyet lazerin dalga boyu 809 nm, çıkış gücü 100 mW iken her uygulama için total radiant enerji 8 J olarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarında deney grubundaki diş hareketinin kontrol grubuna kıyasla daha hızlı olduğu ve deney grubundaki ağrı seviyesinin kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir (159).

Long ve ark. (2015), gerçekleştirmiş oldukları meta analiz çalışmasının sonuçlarına göre, dalga boyu 780 nm, tedavi dozu 5 J/cm² ve/veya çıkış gücü 20 mW olan DSLT'nin ortodontik diş hareketini iki ve üç ay içinde hızlandırabileceğini bildirmişlerdir (177).

Goulart ve ark. (2006), köpekler üzerinde yürüttükleri bir hayvan çalışmasında GaAlAs diyet lazerin ortodontik diş hareketi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. On sekiz köpek iki gruba ayrıldıktan sonra her grup için split-mouth dizayn çalışılmıştır. Birinci grupta DSLT tedavi dozu 5,25 J/cm² ve ikinci grupta DSLT tedavi dozu 35 j/cm² olarak uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, 5,25 j/cm² doz lazer terapisi uygulanan deney grubunda kontrol grubuna kıyasla ortodontik diş hareketi hızlanırken; 35 j/cm² doz lazer terapisi uygulanan deney grubunda kontrol grubuna kıyasla diş hareketinin geciktiği bildirilmiştir (128).

Seifi ve ark. (2007), farklı dalga boyuna sahip iki lazerin ortodontik diş hareketi üzerindeki etkilerini tavşanlarda incelenmişlerdir. Çalışmada kullanılan 850 nm dalga boyuna (5 mW) ve 630 nm dalga boyuna (10 mW) sahip lazerlerin toplam radyant enerjisi sırasıyla 8,1 J ve 27 J olacak şekilde uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, DSLT uygulanan (850 nm ve 630 nm) deney grubundaki diş hareketi hızının DSLT uygulanmayan kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede azalmış olması, insanlar için önerilen tedavi dozlarının tavşanlar için çok yüksek gelmiş olabileceği şeklinde yorumlanmıştır (131).

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar, ortodontik diş hareketi hızının uygulanan lazer terapisinin tedavi dozuna veya total radyant enerjisine bağlı olduğunu göstermektedir.

Altan ve ark. (2015), sıçanlar üzerinde DSLT'nin ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu üzerindeki önleyici ve/veya iyileştirici etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, 820 nm dalga boyuna sahip GaAlAs diyot lazer, tedavi dozu 4.8 J/cm^2 (50 mW, 12 s, 0.6 J) olmak üzere gün aşırı olarak uygulanmıştır. Ortodontik kuvvet varlığında uygulanan DSLT sırasında, iyileştirici ve rezorptif süreçlere ait parametrelerde artış bildirilmiştir. Ortodontik kuvvetin sonlandırılmasından sonra uygulanan DSLT'nin, rezorpsiyonu önemli derecede azaltırken, ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonunun iyileşmesini arttırdığı/hızlandığı gözlenmiştir (33).

Sun ve Tuner'in 'Diş Hekimliğinde Düşük Seviyeli Lazer Terapisi' başlıklı yayınında, dişe doğrudan veya kemik yapısı üzerinden dolaylı olarak düşük seviyeli lazer terapisi uygulamasında önerilen tedavi dozu haftada bir veya iki defa $2-4 \text{ J/cm}^2$ olarak bildirilmiştir (115). Çalışmamızda, lazer ışığının kortikal kemikten geçip kök yüzeyine %50 kayıpla ulaşacağı düşünülerek, tedavi dozu haftada 2 defa 8 J/cm^2 olarak uygulandı (168).

Doku ile lazer başlığı arasında bir mesafe bulunduğunda lazer ışığının yansımayla kaybı toplam %10-20 iken, dokuyla temasta çalışılırken ışığın yansımayla kaybı azalmakta ve %2-4 kadar olabilmektedir (116). Bu nedenle çalışmamızda, lazer başlığı dokuya hafif basınçla temas edecek şekilde uygulanmıştır.

Lazer terapisinin bir diğer özelliği de etkilerinin kümülatif olmasıdır yani bir seans önce yapılan uygulamanın etkisi bölgede birikip, sonraki seansta uygulanan dozla birleşerek hedeflenen doz miktarının aşılmasına yol açabilmektedir. Bu şekilde kümülatif bir etkiyle optimal dozun aşılması inhibe edici etkilerin ortaya çıkmasına yol açabileceğinden, uygulama seansları arasındaki sürelerin iyi ayarlanması gerekmektedir. Tedavi aralıklarının belirlenmesi konusunda yaygın görüş, orta seviyeli bir dozla, haftada 3-4 kez yapılacak uygulamanın, yüksek seviyeli doz kullanılarak, daha az sıklıkta yapılacak uygulamadan daha iyi olduğu yönündedir. Kümülatif doz nedeniyle yakın aralıklarla başlanmasının ve ardından daha uzun aralıklarla devam edilmesinin yararlı olduğu bildirilmektedir (116). Hode, uygun aralıklardaki düşük dozların çok yakın aralıklarla uygulananlara kıyasla daha etkin olduğunu bildirmiştir (119). Araştırmacıya

göre akut problemlerde genellikle bir kaç gün üst üste her gün lazer terapisi uygulanması uygun görülse de kronik durumlar için daha geniş aralıklarla yapılacak uygulamalar en iyisidir (116). Bu bilgiler ışığında, çalışmamızda haftada iki kez olmak üzere, belirlenen süreçler boyunca DSLT uygulanması tercih edilmiştir.

Literatürde HÜÇG esnasında rezorpsiyon alanlarının çoğunlukla destek dişlerin bukkal kök yüzeylerinde olduğu bildirildiğinden, çalışmamızda üst çene birinci küçük azı dişlerinin bukkal kök yüzeyleri hedef bölge olarak belirlenmiştir. Konvansiyonel periapikal veya panoramik radyografilerin bu alanların değerlendirilmesinde metodolojik olarak yetersiz kalacağı açıktır (11, 97, 100, 102, 105). Kök rezorpsiyonu çalışmalarında alternatif olarak kullanılan histolojik değerlendirme yönteminde, kesitlerin hazırlanması sırasında numunelerde doku kayıpları meydana geldiğinden, histolojik kesitlerin ışık mikroskobu altında incelenmesiyle elde edilen kantitatif değerler de şüphelidir (35). Bilgisayar biliminin gelişimi ile dental ve maksillofasial görüntüleme konik ışınli bilgisayarlı tomografinin (KIBT) kullanılmaya başlanmasıyla, radyografik, histolojik kesitler ve elektron mikroskobu ile elde edilen iki boyutlu verilerin yerine üç boyutlu veriler elde edilebilir hale gelmiştir. Konik ışınli bilgisayarlı tomografinin çok kesitli konvansiyonel bilgisayarlı tomografilere kıyasla, daha yüksek çözünürlüğe ve daha düşük radyant dozuna sahip olması diş hekimliği pratiğine kolayca girmesini sağlamıştır (108). Örneklerden alınan kesit sayısının çokluğu, yani kesit kalınlığının ince olması, örnekten daha fazla bilgi alınmasını sağlayarak elde edilen görüntünün çözünürlüğünün artmasını sağlamaktadır (110). Çözünürlüğün daha da artırılmasını sağlamak amacıyla kesit kalınlığının mikrometre cinsinden ifade edilebildiği mikro-tomografi cihazları geliştirilmiştir. Wang ve ark. (2013) yaptıkları *in vitro* bir çalışmada KIBT ile mikro-BT cihazını, kök rezorpsiyonu kraterlerinin değerlendirilmesindeki başarıları açısından kıyaslamışlar; KIBT'ın 3,47 mm³'den büyük rezorpsiyon kraterlerinin tespitinde oldukça iyi olduğunu ancak 1,07 mm³'den küçük olan kraterlerin tespiti için yeterli olmadığını gözlemlemişlerdir (105). Konik ışınli bilgisayarlı tomografinin, tanıdan ziyade bir ölçüm aracı olarak kullanılabilmesi için doku segmentasyonu ve üç boyutlu yeniden yapılandırma işlemini doğru ve güvenilir şekilde gerçekleştirebilmesi gerekmektedir. Voksel boyutunun görüntü çözünürlüğünü ne derece etkilediğine dair yapılmış bir çalışmada, farklı voksel büyüklüğüne sahip KIBT (voksel büyüklüğü 76.200,300 µm) ile elde edilmiş hacimsel ölçümler, mikro-BT (voksel büyüklüğü 41 µm) ile elde edilmiş hacimsel ölçümlerle

kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, 200 µm'a kadar voksel büyüklüğü olan KIBT ile elde edilmiş görüntülerde, maksimum geometrik bozukluklar gözardı edilebilir olsa da, 300 µm sonrası için kalitatif ve kantitatif ölçümlerin hata vermeye başladığı bildirilmiştir (109). Günümüzde, mikro-BT ile elde edilen ölçümler referans alınarak KIBT görüntülerinden elde edilen doğrusal ve hacimsel ölçümlerin başarısı ve doğruluğu değerlendirilmektedir. Bu sebeplerle çalışmamızda, kök rezorpsiyonu kraterlerinin *in vitro* olarak hacimsel ölçümlerinin doğruluğu ve güvenilirliği için mikro-BT (SkyScan1172, Kontich, Belgium) cihazının kullanımı tercih edilmiştir.

Mikro-BT taraması sonrası randomize bir şekilde inceleme yapılabilmesi için dişler gruplara ayrılmadan, birden kırk sekize kadar numaralandırıldı. Değerlendirme esnasında yanlılığı önlemek için, mikro-BT görüntülerinin analizlerini yapacak olan araştırmacılar, örneklerin ait olduğu gruplar hakkında bilgilendirilmedi (179).

Hızlı genişletme sürecinin tamamlanmasını takiben rezidüel kuvvetlerin çoğu pekiştirme döneminin ilk bir haftasında kaybolurken, 5. ile 7. haftasına kadar çevre dokulara azalarak etkidiği bildirilmektedir (22). Aparey bünyesinde meydana gelen rezidüel kuvvetler, maksiller segmentlerde daha fazla harekete veya apareylerle desteklenen dişlerin iskelet yapıdan bağımsız hareket etmesine neden olacaktır (22, 100). Hızlı üst çene genişletmesi sırasında midpalatal suturda hızlıca gerçekleşen ayrılma neticesinde, suturda yer alan liflerin elastikiyeti artmaktadır. Bölgedeki kemik organizasyonunun ve kalsifikasyonunun henüz tamamlanmamış olması, pekiştirme döneminin başlarında maksiller segmentlerin hızlıca kollabe olmasına neden olacaktır. Dolayısıyla destek alınan dişlerin özellikle bukkal taraftaki periodontal aralıklarındaki basınç bölgelerinin HÜÇG'yi takiben hemen ortadan kalkmayacağı açıktır. Pekiştirme döneminde basınç bölgelerinin yok olmasıyla birlikte hiyalinize doku uzaklaştırılmaya başlanacaktır. Hiyalinize dokunun uzaklaştırılması esnasında sıklıkla kök rezorpsiyonu gerçekleşebilmektedir (180). Bu bilgiler ışığında, çalışmamızda, aparey bünyesinde biriken çoğu rezidüel kuvvetlerin kaybolması için pekiştirme safhasına geçildikten sonra bir hafta kadar beklenilmesi planlanmıştır (22).

Rygh (1977), hiyalinize dokunun tamamen uzaklaştırılmasının, HÜÇG ile kuvvet uygulamasını takiben 20.-25. günlere dek sürdüğünü ve sonrasında kök rezorpsiyonunun arttığını bildirmiştir (165). Çalışmamızda hızlı genişletme tedavilerinin aktif fazı yaklaşık 35 gün sürmüş ve aktif fazdan bir hafta sonra pekiştirme döneminde ilgili gruplardaki

bireylerin lazer uygulamalarına başlanmıştır. Literatür doğrultusunda, çalışmamızın pekiştirme döneminde de rezorpsiyonun devam ettiği açıktır.

7.2. Bulguların Tartışması

7.2.1. Rezorpsiyon Krateri Sayısı

Çalışmamızdan elde ettiğimiz bulgular doğrultusunda HÜÇG esnasında uygulanan DSLT, rezorpsiyon krateri oluşumunu sayıca oldukça önemli oranda azaltmıştır. Pekiştirme dönemine dair bulgular da bu dönemde uygulanan DSLT'nin rezorpsiyon krateri sayısı bakımından pozitif etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Aktif ve pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grupları arasında yapılan karşılaştırmada, gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Hızlı üst çene genişletmesi sonrası aparey bünyesinde biriken rezidüel kuvvetler nedeniyle pekiştirme döneminde de kök rezorpsiyonunun devam ettiğini bildiren çalışma bulursa da (194) HÜÇG-kontrol grupları arasında rezorpsiyon krater sayısı açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Rezorpsiyon kraterleri sayısı bakımından HÜÇG-kontrol grupları arasında anlamlı fark bulunmazken, bu gruplar ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubuyla karşılaştırıldıklarında ortodontik kuvvet uygulanmasıyla istatistiksel açıdan önemli sayıda rezorpsiyon krateri oluştuğu saptanmıştır. Bu durum, HÜÇG sonrası kök rezorpsiyonunun kaçınılmaz bir yan etki olduğu gerçeğini bir kez daha doğrulamaktadır. Diğer yandan, aktif ve pekiştirme dönemi HÜÇG-kontrol grupları arasında rezorpsiyon krateri sayısı bakımından fark olmaması, beklenenin aksine pekiştirme fazında (rezidüel kuvvetlere bağlı) yeni rezorpsiyon krateri oluşmadığını ortaya koymaktadır.

Rezorpsiyon krateri sayısı ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer ve kontrol grupları arasında lazer grubunda daha yüksek bulunmakla birlikte anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Lazer uygulanan grupta kök yüzeyindeki toplam rezorpsiyon sayısı $2,09 \pm 1,58$ iken, kontrol grubunda $1,45 \pm 1,37$ olarak bulunmuştur. Lazer uygulanan taraftaki istatistiksel olarak anlamsız olan krater sayısındaki fazlalık lazerin kök yüzeyi üzerindeki etkisi şeklinde yorumlanabilir. Biyostimülasyon teorisine göre, DSLT ile tüm hücre fonksiyonlarının stimüle olduğu düşünülürse fizyolojik olarak devam eden internal turn-over mekanizmasının DSLT'nin biyostimülatif etkisiyle tetiklenmesine bağlı olabileceği düşünülebilir.

7.2.2. Rezorpsiyon Krateri Alanı-En Geniş Olan

Her bir kök yüzeyinde seçilen en geniş rezorpsiyon krateri alanının x, y, z koordinat düzlemindeki ölçüm sonuçlarında lazer gruplarının kendi kontrol gruplarıyla olan ve lazer gruplarının birbirleriyle olan karşılaştırmasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Tüm kontrol grupları arasında yapılan karşılaştırmada ise hem bukkal hem de palatinal yüzeylerde anlamlı farklar saptanmıştır. Elde edilen bulgulara göre pekiştirme dönemindeki ve aktif dönemdeki HÜÇG-kontrol gruplarıyla, ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubu arasında en geniş rezorpsiyon krateri alanına dair ölçümler açısından istatistiksel olarak anlamlı farklar bulunmuştur. Hızlı üst çene genişletmesi ile ağır kuvvetlere maruz kalan dişlere kıyasla ortodontik kuvvet uygulanmayan dişlerdeki rezorpsiyon krateri alanının hem bukkal hem de palatinal yüzeylerde daha geniş ve derin olmasını açıklamak zor olmakla birlikte, diş çekimi sırasındaki el aleti kullanımına bağlı olabileceği düşünülmüştür.

Aktif dönemdeki HÜÇG-kontrol grubunda, ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubuna kıyasla sadece bukkal yüzeyde bulunan rezorpsiyon krateri alanının derinliği anlamlı olarak daha fazla bulunmuşken, ortodontik kuvvet uygulanmayan kontrol grubunda bukkal yüzeydeki kraterin genişliği ve palatinal yüzeydeki kraterin hem genişliği hem de derinliği anlamlı olarak daha fazla bulunmuştur. Elde edilen bu değişken sonuçlar, sadece en geniş olan kraterin değerlendirilmiş olması ve kök yüzeylerinde diş kuvvet uygulanmamış olsa dahi yüzey konfigürasyonundaki çeşitliliğe bağlı olarak rezorpsiyon krateri meydana gelebileceği şeklinde yorumlanabilir.

7.2.3. Rezorpsiyon Krateri Derinliği ve Demineralizasyon Derinliği-Ortalama Değerler

Aktif ve pekiştirme dönemlerindeki HÜÇG-lazer grupları ile eş değer kontrol grupları karşılaştırıldığında, ortalama rezorpsiyon krateri derinliği değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak çok yüksek düzeyde anlamlılık göstermiştir. HÜÇG-lazer gruplarında rezorpsiyon krateri derinliğine dair değerlerin düşük olması, DSLT'nin kök rezorpsiyonu üzerindeki önleyici ve/veya iyileştirici etkisi şeklinde yorumlanmıştır.

Rygh (1977), HÜÇG sırasında uygulanan kuvveti takiben 20. ve 25. günde hiyalinize dokunun tamamen uzaklaştırıldığını ve bugünlerden itibaren kök rezorpsiyonunun arttığını bildirmiştir (165). Çalışmamızda hızlı genişletme tedavilerinin aktif fazı 35 gün sürmüş ve yaklaşık 45. günde pekiştirme dönemindeki bireylere DSLT uygulanmaya başlanmıştır.

Aktif dönemdeki HÜÇG-lazer grubunda, pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubuna kıyasla krater derinliği ve demineralizasyon derinliği değerlerinin kökün bazı yüzeylerinde anlamlı miktarda daha düşük olması, pekiştirme döneminde de rezorpsiyon sürecinin devam ettiğini göstermektedir.

Aktif dönemdeki HÜÇG-lazer grubu eş değer kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, rezorpsiyon krateri derinliği ve demineralizasyon derinliği değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan çok yüksek düzeyde anlamlılığa sahiptir. Elde edilen bulgularda ortalama rezorpsiyon krateri derinliği değeri, kökün tüm yüzeylerinde ve totalde $p=0,0001$ anlamlılığında olmak üzere, lazer grubunda kontrol grubuna kıyasla daha düşük bulunmuştur. Demineralizasyon derinliği ortalama değeri ise lazer grubunda yine yüksek düzeyde anlamlılıkta kontrol grubuna kıyasla daha düşük bulunmuştur. Diğer yandan, pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer ve eş değer kontrol grupları arasındaki anlamlılık değeri aktif dönemdekinden farklı olarak, tüm parametreler için geçerli değildir. Yani pekiştirme döneminde uygulanan DSLT, rezorpsiyonu baskılamak adına pozitif bir etki göstermiş olsa da aktif HÜÇG döneminde uygulanan DSLT kadar etkili olamamıştır. Dolayısıyla, DSLT'nin rezorpsiyon krateri oluştuktan sonra değil, henüz rezorpsiyon krateri oluşmamışken uygulanmasıyla elde edilen baskılayıcı/önleyici etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir.

Aktif dönem HÜÇG-kontrol grubu ile pekiştirme dönemi HÜÇG-kontrol grubu arasında rezorpsiyon krateri derinliği, demineralizasyon derinliği ve rezorpsiyon krateri hacmi değerlerinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubunda, aktif dönem HÜÇG-lazer grubuna kıyasla rezorpsiyon krateri derinliğinde mesial, distal, bukkal ve total değerlerde anlamlı bir artış gözlenmiştir. Aynı karşılaştırmada demineralizasyon derinliği değerinde de mesial, distal ve total değerlerde pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubunda anlamlı artışlar gözlenmiştir. Bu bulgulardan yola çıkarak pekiştirme dönemindeki rezorpsiyon sürecinin lazer ve kontrol dişlerinde farklı şekilde geliştiği söylenebilir. Bu durum DSLT'nin klastik hücre proliferasyonu üzerindeki biyostimülatif etkileri ya da klastik hücre sayısındaki artışın lazerin önleyici ve iyileştirici etkisinin zayıflamasına neden olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Nicola ve ark., lazer ışınlarının osteoklastları doğrudan etkilediğini gözlemlemiştir (181). Çok çekirdekli hücreler olan osteoklastlarda, osteoblastlar ve kemik iliği kökenli monosit/makrofaj öncüllerinden daha fazla sayıda aktif mitokondri

bulunmaktadır (182). Karu'ya göre mitokondriyal sitokromlar foton enerjisini absorbe etmekte ve sonuç olarak ATP sentezi ve hücrelerin potansiyel aktivitesi artmaktadır (183). Dolayısıyla bol mitokondri içeren osteoklastların lazer ışınlarından daha fazla etkilendiği düşünülebilir.

Düşük seviyeli lazer terapisi, dokuda o an varolan yanıtı stimüle etmektedir. Bu durum DSLT'nin biyostimülatif etkisi olarak tanımlanmaktadır. Yapılan bir doktora tezi çalışmasında, DSLT'nin uygulanan ortodontik kuvvete karşı verilen inflamatuvar yanıtı şiddetlendirerek osteoklastik aktiviteyi arttırdığı saptanmıştır (30). Bu bulgular çalışmamızda pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubundan elde ettiğimiz bulguları desteklemektedir.

Pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubunda dikkat çekici bir şekilde bukkal yüzeydeki demineralizasyon derinliği pekiştirme dönemi HÜÇG-kontrol grubuna kıyasla anlamlı miktarda daha az bulunurken ($p=0,016$), mesial, distal ve palatinal yüzeyler için anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu durumun lazerin uygulanma bölgesi ile ilgili olabileceği düşünülmüştür. Pekiştirme döneminde lazer grubu için rezorpsiyon prosesinin daha yoğun geliştiği şeklinde yaptığımız yorum kök yüzeylerine göre spesifik olarak değerlendirilmelidir.

Rezorpsiyon kraterlerindeki demineralize alanlar olasılıkla diş kökünde aktif olarak devam eden rezorpsiyonunun yerini temsil etmektedir. Fokal asit üretimi ile sonuçlanan odontoklastik/segmentoklastik rezorptif aktivite, ileri dönemde dentin demineralizasyona neden olmaktadır. Sürecin devamında, bu bölgeler büyük olasılıkla gelecekteki diş kökü kaybının gerçekleşeceği alanlar olacaktır. Rezorpsiyon kraterindeki demineralize alanların olmaması, rezorptif aktivitenin sessizliğe eriştiğini gösterebilmesi mümkündür (138)

Wierzbicki ve ark., ortodontik olarak indüklenmiş kök rezorpsiyonunu inceledikleri Mikro-BT çalışmasında, rezorpsiyon krateri boyutları ile demineralize alan boyutları arasında korelasyon olduğunu gözlemlemişlerdir (138). Çalışmamızda rezorpsiyon krateri derinliği ve demineralizasyon derinliği arasında yaptığımız korelasyon analizinde istatistiksel olarak anlamlılık çok yüksek düzeyde bulunmaktadır ($p=0,0001$). Bu durum demineralize alanlarda devam eden rezorptif aktivite ile krater derinliğinin artması şeklinde yorumlanabilir.

Aktif HÜÇG-lazer grubuna nazaran pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubunda özellikle mesial ve distal yüzeylerde artan demineralizasyon derinliği, bukkal yüzeyde

anamlı bir fark göstermemiştir. Demineralizasyon derinliğinin ortamdaki aktif rezorpsiyon sürecini yansıttığı göz önüne alındığında, bu durumun, bukkal dişeti yüzeyinden uygulanan DSLT'nin kök rezorpsiyonunu önleyici ve/veya durdurucu etkisine bağlı olduğu düşünölmüştür.

Diğer yandan, aktif ve pekiştirme HÜÇG-kontrol grupları arasında demineralizasyon derinliği değerlerinde anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu durum, pekiştirme döneminde rezorptif sürecin yanı sıra, bir yandan tamir sürecinin de geliştini göstermektedir. HÜÇG sonrası pekiştirme döneminde rezidüel kuvvetler varlığı nedeniyle ortamda salt rezorpsiyon oluyor olsaydı, aktif ve pekiştirme dönemi HÜÇG-kontrol grupları arasında anlamlı farklar bulmak kaçınılmaz olurdu.

Ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer ve kontrol grupları arasında rezorpsiyon krateri derinliği ve demineralizasyon derinliği parametreleri için yapılan karşılaştırmada, lazer grubunda değerler daha yüksek olmakla birlikte anlamlı bir fark bulunmamıştır. Tıpkı rezorpsiyon krateri sayısının karşılaştırma sonuçlarında olduğu gibi, lazer grubunda gözlenen bu anlamsız farkın internal turn-over mekanizmasının DSLT'nin biyostimülatif etkisiyle tetiklenmesine bağlı olabileceği düşünölebilir.

7.2.4. Rezorpsiyon Krateri Hacmi

Değerlendirilen kök yüzeylerindeki toplam rezorpsiyon krateri hacmi aktif faz HÜÇG-lazer grubunda eş değer kontrol grubuna kıyasla anlamlı miktarda düşük bulunmuştur. Aktif faz HÜÇG-lazer grubunda rezorpsiyon krateri hacmindeki düşüş, rezorpsiyon krateri sayısı, rezorpsiyon krateri derinliği ve demineralizasyon derinliğindeki anlamlı düşüş ile uyumludur. Bu bulgular aktif dönemde uyguladığımız DSLT'nin rezorpsiyon krateri sayısı ve hacminde anlamlı azalma sağladığı şeklinde yorumlanmıştır.

Rezorpsiyon krateri hacmi, pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubunda eş değer kontrol grubuna kıyasla anlamlı miktarda düşük bulunmuştur. Ancak aktif ve pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grupları arasındaki rezorpsiyon krateri hacmi değerinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. Literatürde, rezorpsiyon ve tamir işlemlerinin eş zamanlı olarak gerçekleştiği ve rezorpsiyonun pekiştirme döneminin başlangıç safhaları boyunca tamir miktarını baskıladığı bildirilmiştir (184). Çalışmamızda elde edilen bulgular, dişe kuvvet uygulanmasını takiben 20. ile 25. günden itibaren artan kök rezorpsiyonunun etkisiyle pekiştirme dönemindeki DSLT'nin önleyici ve/veya iyileştirici etkisinin azalmasına neden olduğu ya da DSLT'nin süreç karşısında etkisiz kaldığı şeklinde yorumlanabilir (179).

7.2.5. Total Kök Hacmi

Total kök hacmi parametresi için yapılan gruplar arası karşılaştırmalarda aktif dönem HÜÇG-lazer grubu ile ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubu arasındaki fark, HÜÇG-lazer grubunda anlamlı olarak daha fazla bulunmuştur. Ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubunda eş değer kontrol grubuna kıyasla anlamsız da olsa toplam rezorpsiyon krateri sayısı, krater derinliği ve demineralizasyon derinliği parametrelerindeki yüksek değerler bu gruba ait toplam kök hacmi miktarını etkilemiş ve aktif dönem HÜÇG-lazer grubuyla arasında anlamlı farkın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Değerlendirilen üst çene küçük azı dişlerinin bazılarının çift köklü olması grubun total kök hacmi değerini arttırmış olabilir. Diğer yandan, yapılan karşılaştırmalarda başka hiçbir grup arasında anlamlı fark gözlenmezken, aktif dönem HÜÇG-lazer grubu ile ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubu arasında fark bulunmuş olması, lazerin biyostimülatif etkisi olarak yorumlanabilir. Üst çenede ortodontik kuvvet uygulamadığımız deneğin alt çenesinde ortodontik tedaviye başlanmış olması, okluzal değişiklikler meydana getirmiş, buna bağlı olarak uyguladığımız DSLT biyostimülatif etkisi ile klastik aktiviteyi arttırmış olabilir.

7.2.6. Total Kök Pulpa Hacmi

Total kök pulpa hacmi parametresi için yapılan gruplar arası karşılaştırmaların hiçbirinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan sonuçlar, rezorpsiyon prosesi ile pulpanın hacimsel değişimi arasında bir korelasyon kurulabilmesini engellemiştir.

7.2.7. Total Rezorpsiyon Yüzdesi

Total rezorpsiyon yüzdesi bakımından aktif ve pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer gruplarının eş değer kontrol gruplarıyla karşılaştırılması sonucu elde edilen farklar istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı olarak HÜÇG-lazer gruplarında daha düşük bulunmuştur. Öte yandan, ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer ve kontrol grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Bu durum, DSLT'nin kuvvet varlığı altında kök yüzeylerindeki belirgin etkisini yansıtmaktadır.

Aktif dönem HÜÇG-lazer grubunda, ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer grubuna kıyasla total rezorpsiyon yüzdesi önemli oranda daha düşük bulunmuştur. Bu durum, total kök hacmi değeri için aktif dönem HÜÇG-lazer grubu ile ortodontik kuvvet uygulanmayan

lazer grubu arasında bulunan anlamlı farkın total rezorpsiyon yüzdesini etkilemesi şeklinde yorumlanabilir.

Mikro-BT cihazlarının uygulama tekniği sebebiyle henüz insanlarda kullanılmıyor olması, çalışmamız kapsamında OIKR'nin çekilmiş dişlerden elde edilen görüntülerde değerlendirilebilmesine olanak vermiştir. Ortodontik olarak indüklenmiş inflamatuvar kök rezorpsiyonu apikal bölgede de meydana gelmiş ve kök boyu kısalmış olabilir. Bu nedenle tedavi öncesi kök uzunluğunun bilinmiyor oluşu çalışmanın limitasyonlarından.

Ortodontik diş hareketi lokal inflamatuvar bir süreç sonucu gerçekleşmektedir. Bu inflamatuvar süreç, sementoblast tabakası ortadan kalktığında kök yüzeyinde rezorpsiyona neden olabilmektedir (185). Diş hareketi esnasında kemikte ve kök yüzeyinde oluşan hyalinize dokunun uzaklaştırılması sürecine katılan hücreler, kök yüzeyine de zarar verebilmektedir (64). Bu şekilde düşünüldüğünde, diş hareketinin hızlanmasına neden olan mekanizmanın, kök yüzeyindeki rezorpsiyonu da hızlandırabileceği akla gelmektedir. Literatürde DSLT'nin ortodontik diş hareketi hızını osteoklastları uyararak arttırabildiği bildirilmektedir (33, 125). Bu sebeple, artan osteoklast sayısının diş kök yüzeyindeki rezorpsiyon sürecini arttırabilme varsayımını bazı çalışmalar desteklerken (182, 183), bazı çalışmalar ise diş hareketini düzenleyen mekanizmanın kök rezorpsiyon mekanizmasından farklı olabileceğini öne sürmektedir (137, 184).

Nimeri, ortodontik diş hareketi sırasında DSLT'nin kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerini incelemiş; DSLT uygulanan gruptaki kök rezorpsiyonunun ortodontik tedavi sırasında sıklıkla tespit edilen kök rezorpsiyonu miktarından daha fazla olmadığını bildirmiştir (137). Bu çalışmada DSLT'nin osteoklast sayısı üzerindeki biyostimülatif etkisine bağlı olarak kök rezorpsiyonunu arttıracak hipotezi çürütülmüştür.

Seifi ve ark., yaptıkları hayvan çalışmasında çekim soketine doğru hareket ettirilen dişte kök rezorpsiyonu miktarını değerlendirdikleri çalışmalarında, DSLT uygulanan grupta (808 nm, 6 J/cm²) kontrol grubuna kıyasla kök rezorpsiyonunun anlamlı derecede az olduğunu gözlemlemişlerdir (176).

Günümüzde, fototerapinin hüresel metabolizma değişikliklerine neden olduğu kesin olarak bilinse de etki mekanizmaları halen araştırılmaktadır (183). Çalışmalarda uygun güç yoğunluğu ve total radyant enerjiye ek olarak dalga boyu ve lazerin tipi elde edilen sonuç için önemlidir (189). Her tedavi şekli için uygun ve bireysel optimal dozu bulma zorluğu, terapinin yaygınlaşmasını olumsuz yönde etkilemektedir.

Yukarda bahsedilen varsayımların dışında, DSLT'nin klast hücrelerinin kök yüzeyiyle olan etkileşimini değiştiriyor ve/veya bozuyor olmasına dayandırılan farklı bir varsayımdan daha söz edilebilir. Yamada ve ark., yaptıkları *in vitro* çalışmada Nd-Yag lazer uygulanmış dentin yüzeyinde kültürize edilmiş osteoklastların davranışlarını incelemişlerdir. Osteoklastların dokuda rezorpsiyon gerçekleştirebilmeleri için öncelikle bu hücrelerin dokuya adezyonu gerekmektedir. Aktin, vinkülin ve talin gibi proteinler hücre iskeletini oluşturmaktadırlar ve integrin gibi ankor proteinler ise iskeletin hücre zarından geçmektedirler. Ekstraselüler olarak uzanan integrinler, kemik matris protein olarak adlandırılan osteopontin gibi adezyon proteinine bağlanmaktadır (190). Çalışma sonuçlarına göre lazer ile ışınlanmamış dentin üzerinde osteoklastlar ve rezorpsiyon kraterleri gözlenirken ışınlanmış dentin üzerinde görülmediği; dolayısıyla dentin yüzeyinin lazerle maruz kalmasının osteoklastların yapışmasını engellediği bildirilmiştir (190).

Reinholt ve ark., osteopontin-spesifik integrin reseptörünün osteoklast hücre membranına karşılık gelen bölgede var olduğunu saptamışlardır (191). Osteoklastların adezyon proteinlerinin lazerin koterize edici termal etkisi sebebiyle harabiyetinden dolayı yüzeyde adezyonları olmadığı sonucuna varılabilir. Diğer yandan, osteoklastların plastik, cam veya yüksek derecede sentetik siyanit materyaller üzerine adezyonları gösterilmiştir (188, 189). Bu durum kemik matriks proteinin, yukarıda tarif edildiği gibi osteoklastların yapışması için gerekli olduğu teorisine ters düşmektedir. Eğer DSLT osteoklastların osteopontinle olan bağlantılarını bozuyor olsaydı, kemik rezorpsiyonunun azalması ve dolayısıyla diş hareketinin yavaşlaması beklenirdi. Bu durumda osteoklastların kök yüzeyine adezyonu için yüzeyin kayganlığının ve kristallerin homojenliğinin daha belirleyici olduğu düşünülebilir (191). Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgulara dayanarak, DSLT'nin kök yüzeyinin kayganlığını ve kristallerin homojenliğini bozuyor olması, DSLT uygulanan kök yüzeyinde rezorpsiyonun baskılanmasını açıklayabilir. Bu varsayımın doğrulanması için gelecek çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çalışmamızın bulguları, HÜÇG sonrası pekiştirme döneminde aparey bünyesinde biriken rezidüel kuvvetler nedeniyle rezorpsiyonun devam ettiği ve total rezorpsiyon krateri hacminin arttığını söyleyen çalışmayla ters düşmektedir (194). İnsanlarda ortodontik kuvvet uygulanan dişlerin kök yüzeylerinde fagositlerin farklılaşması bir hafta gibi kısa bir sürede gerçekleşirken, osteoklastların ortamda bulunmaya başlaması ortodontik kuvvetin uygulanmasının iki veya dört hafta sonrasında gözlenmektedir (195).

Ancak bizim çalışmamızda, pekiştirme dönemindeki HÜÇG kontrol grubuna ait dişlerin çekimi aktif kuvvet uygulanmadan geçen altı hafta sonunda gerçekleştirildiği için devam eden kök rezorpsiyonu aktif dönem ve pekiştirme dönemi HÜÇG-kontrol grupları arasında anlamlı bir fark yaratmamıştır. Oysa referans alınan çalışmada aktif kuvvet uygulanmadan geçen 24 hafta süreli pasif pekiştirme süreci, kök yüzeylerinde oluşan değişim veya devam eden kök rezorpsiyonunun gözlenebilmesine olanak vermiştir (194).



8. SONUÇLAR

Çalışmamızda, hızlı üst çene genişletmesi (HÜÇG) esnasında veya genişletme sonrası pekiştirme fazında çekimi planlanan üst küçük azı dişlerinin bukkal kök yüzeyleri boyunca, iki bölgeden, dişetine temas ederek, beş hafta boyunca dört günde bir kez olmak üzere, Ga-Al-As diyot lazer cihazı (820 nm) ile 8 J/cm² dozunda DSLT uygulanarak, terapinin kök rezorpsiyonu oluşumu ve sürecin devamı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Grup planlamalarına göre DSLT uygulamaları tamamlandıktan sonra çekilen lazer gruplarındaki dişler ve kontrol gruplarındaki dişler Mikro-BT cihazıyla taranarak elde edilen görüntüler CTAn (Skyscan, versiyon 1.16.5.1, Belgium) programıyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- HÜÇG esnasında uygulanan DSLT, rezorpsiyon krateri oluşumunu sayıca istatistiksel olarak oldukça önemli miktarda azaltmıştır.
- Total rezorpsiyon yüzdesi bakımından aktif ve pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer gruplarının eş değer kontrol gruplarıyla karşılaştırılması sonucu, DSLT'nin kök rezorpsiyonu miktarını azalttığı saptanmıştır. Gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak oldukça yüksek anlamlılıkta bulunmuştur.
- Aktif ve pekiştirme dönemlerindeki HÜÇG-lazer grupları ile eş değer kontrol grupları karşılaştırıldığında, ortalama rezorpsiyon krateri derinliği değerlerinin HÜÇG-lazer gruplarında istatistiksel olarak çok yüksek anlamlılıkta daha düşük çıkması, DSLT'nin kök rezorpsiyonu üzerindeki önleyici ve/veya iyileştirici etkisini göstermektedir.
- Rezorpsiyon krateri hacmi, rezorpsiyon krateri sayısı, rezorpsiyon krateri derinliği ve demineralizasyon derinliği aktif faz HÜÇG-lazer grubunda eş değer kontrol grubuna kıyasla anlamlı miktarda düşük bulunmuştur. Bu bulgular aktif dönemde uyguladığımız DSLT'nin rezorpsiyon kraterleri üzerindeki baskılayıcı ve/veya iyileştirici etkisini göstermektedir.
- Pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubunda pekiştirme dönemi HÜÇG-kontrol grubuna kıyasla bukkal yüzeydeki demineralizasyon derinliği anlamlı miktarda daha az bulunmuştur. Bu durum, DSLT'nin rezorpsiyon kraterleri üzerindeki iyileştirici etkisi olarak yorumlanabilir.

- Tüm kontrol grupları rezorpsiyon krateri sayısı bakımından karşılaştırıldığında HÜÇG-kontrol gruplarında anlamlı miktarda daha fazla rezorpsiyon krateri saptanmıştır. Bu durum, HÜÇG sonrası kök rezorpsiyonunun kaçınılmaz bir yan etki olduğu gerçeğini doğrulamaktadır.
- Rezorpsiyon kraterleri sayısı bakımından HÜÇG-kontrol grupları arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Pekiştirme dönemindeki sürenin az olması sebebiyle rezidüel kuvvetlere bağlı oluşabilecek yeni rezorpsiyon krateri sayısı benzer çalışmalardaki kadar anlamlı miktarda artmamıştır.
- Rezorpsiyon krateri sayısı ve total rezorpsiyon yüzdesi, ortodontik kuvvet uygulanmayan lazer ve kontrol grupları arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir.
- Aktif dönem HÜÇG-kontrol grubu ile pekiştirme dönemi HÜÇG-kontrol grubu arasında rezorpsiyon krateri derinliği, demineralizasyon derinliği ve rezorpsiyon krateri hacmi değerleri açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır.
- Aktif dönem HÜÇG-lazer grubunda, pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubuna kıyasla krater derinliği ve demineralizasyon derinliği değerleri kökün bazı yüzeylerinde anlamlı miktarda daha düşük bulunmuştur. Bu durum, pekiştirme döneminde devam eden rezorptif süreçte, DSLT'nin klastik hücre proliferasyonu üzerindeki biyostimülatif etkisi ya da klastik hücre sayısındaki artış nedeniyle lazerin önleyici ve iyileştirici etkisinin zayıflaması şeklinde yorumlanabilir.
- Demineralizasyon derinliği açısından, pekiştirme dönemi HÜÇG-lazer grubu ile eş değer kontrol grubu arasındaki fark, aktif dönemdeki HÜÇG-lazer grubu ile eş değer kontrol grubu arasındaki fark kadar yüksek anlamlılıkta değildir. Dolayısıyla, DSLT'nin rezorpsiyon krateri oluştuktan sonra değil, henüz rezorpsiyon krateri oluşmamışken uygulanmasıyla elde edilen baskılayıcı/önleyici etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir.
- Total kök pulpa hacmi parametresi için yapılan gruplar arası karşılaştırmaların hiçbirinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.
- Hızlı üst çene genişletmesi esnasında, dört günde bir uygulanacak 8 J/cm^2 'lik DSLT, kök rezorpsiyonunu önlemek/baskılamak açısından etkili bulunduğundan, ayrıca uygulamanın diş dokuları üzerinde herhangi bir yan etkisi gözlenmediğinden klinik

kullanım açısından faydalı olacağı düşünölmekte ve araştırmacılar tarafından tavsiye edilmektedir.



9. KAYNAKLAR

1. Haas AJ (1965). The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 35:200–17.
2. Isaacson RJ, Ingram AH (1964). Forces produced by rapid maxillary expansion II. Forces present during treatment. *Angle Orthod* 34:261–70.
3. Hicks EP (1978). Slow maxillary expansion. A clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force. *Am J Orthod* 3: 121–41.
4. Krebs A (1959). Expansion of the midpalatal suture, studied by means of metallic implants. *Acta Odontol Scand* 17:491–501.
5. Ghoneima A, Abdel-Fattah E, Hartsfield J, El-Bedwehi A, Kamel A, Kula K (2011). Effects of rapid maxillary expansion on the cranial and circummaxillary sutures. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 140: 510–9.
6. Graber LW, Vanarsdall Jr RL, Vig KWL, Huang GJ (2011). *Orthodontics: current principles and techniques*. Elsevier Health Sciences.
7. Needleman HL, Hoang CD, Allred E, Hertzberg J, Berde C (2000). Reports of pain by children undergoing rapid palatal expansion. *Pediatr Dent* 22: 221–6.
8. Ciambotti C, Ngan P, Durkee M, Kohli K, Kim H (2001). A comparison of dental and dentoalveolar changes between rapid palatal expansion and nickel-titanium palatal expansion appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 119:11–20.
9. Greenbaum KR, Zachrisson BU (1982). The effect of palatal expansion therapy on the periodontal supporting tissues. *Am J Orthod* 81:12–21.
10. Baysal A, Karadede I, Hekimoglu S, Ucar F, Ozer T, Veli İ (2011). Evaluation of root resorption following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. *Angle Orthod* 82: 488–94.
11. Erverdi N, Okar I, Küçükkeles N, Arbak S (1994). A comparison of two different rapid palatalexpansion techniques from the point of root resorption. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 106: 47–51.
12. Forst D, Nijjar S, Khaled Y, Lagravere M, Flores-Mir C (2014). Radiographic assessment of external root resorption associated with jackscrew-based maxillary expansion therapies: A systematic review 36: 576–85.
13. Dindaroğlu F, Doğan S (2016). Evaluation and comparison of root resorption between tooth-borne and tooth-tissue borne rapid maxillary expansion appliances:

- A CBCT study. *Angle Orthod* 86: 46–52.
14. King GJ, Fischlschweiger W (1982). The effect of force magnitude on extractable bone resorptive activity and cemental cratering in orthodontic tooth movement. *J Dent Res* 61: 775–9.
 15. Kvam E (1972). Scanning electron microscopy of tissue changes on the pressure surface of human premolars following tooth movement. *Eur J Oral Sci* 80: 357–68.
 16. Storey E (1952). Force in orthodontics and its relation to tooth movement. *Aust J Orthod* 56: 11–8.
 17. Leach HA, Ireland AJ, Whaites EJ (2001). Radiology: Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. *Br Dent J* 190: 16–22.
 18. Sandstedt C (1904). “Einige Beiträge Zur Theorie der Zahnregulierung”,. *Nord Tandilak Tidskr* 5: 236–56.
 19. Schwarz AM (1932). Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr* 18: 331–52.
 20. Oppenheim A (1944). A possibility for physiologic orthodontic movement. *Am J Orthod Oral Surg* 30: 345–68.
 21. Baumrind S (1969). A reconsideration of the propriety of the “pressure-tension” hypothesis. *Am J Orthod* 55: 12–22.
 22. Zimring JF, Isaacson RJ (1965). Forces produced by rapid maxillary expansion: III. Forces present during retention. *Angle Orthod* 35: 178–86.
 23. Vardimon AD, Graber TM, Voss LR, Lenke J (1991). Determinants controlling iatrogenic external root resorption and repair during and after palatal expansion. *Angle Orthod* 61: 113–22.
 24. Brudvik P, Rygh P (1995). The repair of orthodontic root resorption: an ultrastructural study. *Eur J Orthod* 17: 189–98.
 25. Kurol J, Owman-Moll P (1998). Hyalinization and root resorption during early orthodontic tooth movement in adolescents. *Angle Orthod* 68: 161–6.
 26. Piccione PJ (2004). Dental laser safety. *Dent Clin North Am* 48: 795–807.
 27. Khadra M, Lyngstadaas SP, Haanæs HR, Mustafa K (2005). Effect of laser therapy on attachment, proliferation and differentiation of human osteoblast-like cells cultured on titanium implant material. *Biomaterials* 26: 3503–9.
 28. Kim Y, Kim S, Hwang D, Kim S, Kwon Y, Shin S (2007). Effect of low-level laser

- treatment after installation of dental titanium implant-immunohistochemical study of RANKL, RANK, OPG: An experimental study in rats. *Lasers Surg Med* 39: 441–50.
29. Van Breugel HHFI, Bär PR (1992). Power density and exposure time of He-Ne laser irradiation are more important than total energy dose in photo-biomodulation of human fibroblasts in vitro. *Lasers Surg Med* 12: 528–37.
 30. Kocoglu-Altan B (2010). Effects of diode laser on orthodontic tooth movement rate . Cumhuri Üniversitesi Sağlık Bilim Enstitüsü Ortod Anabilim Dalı, Doktora Tezi Çalışması.
 31. Bicakci AA, Kocoglu-Altan B, Toker H, Mutaf I, Sumer Z (2012). Efficiency of low-level laser therapy in reducing pain induced by orthodontic forces. *Photomed Laser Surg* 30: 460–5.
 32. Genc G, Kocadereli I, Tasar F, Kilinc K, El S, Sarkarati B (2012). Effect of low-level laser therapy (LLLT) on orthodontic tooth movement. *Lasers Med Sci* 28: 41–7.
 33. Altan AB, Bicakci AA, Mutaf HI, Ozkut M, Inan VS (2015). The effects of low-level laser therapy on orthodontically induced root resorption. *Lasers Med Sci* 30: 2067–76.
 34. Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D (1996). Effects of a doubled orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An inter-individual study in adolescents. *Eur J Orthod* 18: 141–50.
 35. Chan EKM, Darendeliler MA (2004). Exploring the third dimension in root resorption. *Orthod Craniofac Res* 7: 64–70.
 36. Dudic A, Giannopoulou C, Martinez M, Montet X, Kiliaridis S (2008). Diagnostic accuracy of digitized periapical radiographs validated against micro-computed tomography scanning in evaluating orthodontically induced apical root resorption. *Eur J Oral Sci* 116: 467–72.
 37. Holberg C, Steinhäuser S, Geis P, Rudzki-Janson I (2005). Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop der Kieferorthopädie* 66: 434–44.
 38. Angell EH (1860). Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *Dent*

Cosmos 1: 540-44.

39. Goddard CL (1893). Separation of the superior maxilla at the symphysis. *Dent Cosm* 35: 880–2.
40. Korkhaus G (1953). Discussion of report: a review of orthodontic research (1946–1950). *Int Dent J* 3: 356.
41. Haas AJ (1959). Gross reactions to the widening of the maxillary dental arch of the pig by splitting the hard palate. *Am J Orthod* 45: 868.
42. Haas AJ (1961). Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 31: 73–90.
43. Haas AJ (1970). Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod* 57: 219–55.
44. Bell RA (1982). A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod* 81: 32–7.
45. Bishara SE, Staley RN (1987). Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 91: 3–14.
46. Biederman W (1968). A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO J Pract Orthod* 2: 67–70.
47. Sarver DM, Johnston MW (1989). Skeletal changes in vertical and anterior displacement of the maxilla with bonded rapid palatal expansion appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 95: 462–6.
48. McNamara Jr JA (1987). An orthopedic approach to the treatment of Class III malocclusion in young patients. *J Clin Orthod JCO* 21: 598–608.
49. Lamparski DG, Rinchuse DJ, Close JM, Sciote JJ (2003). Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 123: 321–8.
50. Oliveira NL, Da Silveira AC, Kusnoto B, Viana G (2004). Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 126: 354–62.
51. Garib DG, Henriques JFC, Janson G, Freitas MR, Coelho RA (2005). Rapid maxillary expansion—tooth tissue-borne versus tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation of dentoskeletal effects. *Angle Orthod*. 75: 548–57.

52. Bretos JLG, Pereira MD, Gomes HC, Hino CT, Ferreira LM (2007). Sagittal and vertical maxillary effects after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) using Haas and Hyrax expanders. *J Craniofac Surg* 18: 1322–6.
53. Asanza S, Cisneros GJ, Nieberg LG (1997). Comparison of Hyrax and bonded expansion appliances. *Angle Orthod* 67:1 5–22.
54. Reed N, Ghosh J, Nanda RS (1999). Comparison of treatment outcomes with banded and bonded RPE appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 116: 31–40.
55. Kılıç N, Kiki A, Oktay H (2008). A comparison of dentoalveolar inclination treated by two palatal expanders. *Eur J Orthod* 30: 67–72.
56. Bates SB (1856). Absorption. *Br J Dent Sci* 1: 256.
57. Ottolengui R (1914). The physiological and pathological resorption of tooth roots. *Dent Items Interest* 36: 322–62.
58. Becks H, Marshall JA (1932). Resorption or Absorption? *J Am Dent Assoc* 19: 1528–37.
59. Ketcham AH (1927). A preliminary report of an investigation of apical root resorption of permanent teeth. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr* 13: 97–127.
60. Rudolph CE (1940). An evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. *J Dent Res* 19: 367–71.
61. Dunn MD, Park CH, Kostenuik PJ, Kapila S, Giannobile WV (2007). Local delivery of osteoprotegerin inhibits mechanically mediated bone modeling in orthodontic tooth movement. *Bone* 41: 446–55.
62. Kanzaki H, Chiba M, Shimizu Y, Mitani H (2001). Dual regulation of osteoclast differentiation by periodontal ligament cells through RANKL stimulation and OPG inhibition. *J Dent Res* 80: 887–91.
63. Wehrbein H, Fuhrmann RAW, Diedrich PR (1995). Human histologic tissue response after long-term orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107: 360–71.
64. Brudvik P, Rygh P (1993). Non-clast cells start orthodontic root resorption in the periphery of hyalinized zones. *Eur J Orthod* 15: 467–80.
65. Kvam E (1972). Cellular dynamics on the pressure side of the rat periodontium following experimental tooth movement. *Eur J Oral Sci* 80: 369–83.
66. Reitan K (1974). Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthod*

- 44: 68–82.
67. Brudvik P, Rygh P (1993). The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament. *Eur J Orthod* 15: 249–63.
 68. Brudvik P, Rygh P (1994). Root resorption beneath the main hyalinized zone. *Eur J Orthod* 16: 249–63.
 69. Brudvik P, Rygh P (1994). Multi-nucleated cells remove the main hyalinized tissue and start resorption of adjacent root surfaces. *Eur J Orthod* 16: 265–73.
 70. Brudvik P, Rygh P (1995). Transition and determinants of orthodontic root resorption—repair sequence. *Eur J Orthod* 17: 177–88.
 71. Shigeyama Y, Grove TK, Strayhorn C, Somerman MJ (1996). Expression of adhesion molecules during tooth resorption in feline teeth: a model system for aggressive osteoclastic activity. *J Dent Res* 75: 1650–7.
 72. Kvam E (1972). Tissue changes on the marginal pressure side following experimental tooth movement. A histologic, autoradiographic, and scanning electron microscopic study. *Nor Tannlaegeforen Tid* 82: 522–8.
 73. Ne RF, Witherspoon DE, Gutmann JL (1999). Tooth resorption. *QUINTESSENCE Int Ed* 30: 9–26.
 74. Mescher AL (2007). *Junqueira's basic histology: text and atlas*. McGraw-hill.
 75. Guyton AC, Hall JE, Çavuşoğlu H, Yeğen BÇ, Aydın Z, Alican İ (2007). *Tıbbi fizyoloji*. Nobel Tıp Kitabevleri.
 76. Sahara T, Sasaki T (2001). Effects of brefeldin-A: Potent inhibitor of intracellular protein transport on ultrastructure and resorptive function of cultured osteoclasts. *Anat Rec* 263: 127–38.
 77. Brudvik P, Rygh P (1991). Root resorption after local injection of prostaglandin E2 during experimental tooth movement. *Eur J Orthod* 13: 255–63.
 78. Tsuji Y, Yamaza T, Kido MA, Goto T, Nakata S, Akamine A (2001). Expression of cathepsin K mRNA and protein in odontoclasts after experimental tooth movement in the mouse maxilla by in situ hybridization and immunoelectron microscopy. *Cell Tissue Res* 303: 359–70.
 79. Tanaka T, Tanaka M (1988). Cytological and functional studies of preosteoclasts and osteoclasts in the alveolar bones from neonatal rats using microperoxidase as a tracer. *Calcif Tissue Int* 42: 267–72.

80. Tanaka T, Morioka T, Ayasaka N, Jima T, Kondo T (1990). Endocytosis in odontoclasts and osteoclasts using microperoxidase as a tracer. *J Dent Res* 69: 883–9.
81. Yamaza T, Goto T, Kamiya T, Kobayashi Y, Sakai H, Tanaka T (1998). Study of immunoelectron microscopic localization of cathepsin K in osteoclasts and other bone cells in the mouse femur. *Bone* 23: 499–509.
82. Sahara N, Toyoki A, Ashizawa Y, Deguchi T, Suzuki K (1996). Cytodifferentiation of the odontoclast prior to the shedding of human deciduous teeth: an ultrastructural and cytochemical study. *Anat Rec* 244: 33–49.
83. Gotz W, Quondamatteo F, Ragotzki S, Affeldt J, Jäger A (2000). Localization of cathepsin D in human odontoclasts. a light and electron microscopical immunocytochemical study. *Connect Tissue Res* 41: 185–94.
84. Linsuwanont-Santiwong B, Takagi Y, Ohya K, Shimokawa H (2006). Expression of MT1-MMP during deciduous tooth resorption in odontoclasts. *J Bone Miner Metab* 24: 447–53.
85. Sasaki T (2003). Differentiation and functions of osteoclasts and odontoclasts in mineralized tissue resorption. *Microsc Res Tech* 61: 483–95.
86. Kitaura H, Fujimura Y, Yoshimatsu M, Eguchi T, Kohara H, Jang I (2009). An M-CSF receptor c-Fms antibody inhibits mechanical stress–induced root resorption during orthodontic tooth movement in mice. *Angle Orthod* 79: 835–41.
87. Hartsfield JK, Everett ET, Al-Qawasmi RA (2004). Genetic Factors in External Apical Root Resorption and Orthodontic Treatment. *Crit Rev Oral Biol Med* 15: 115–22.
88. Hartsfield Jr JK (2009). Pathways in external apical root resorption associated with orthodontia. *Orthod Craniofac Res* 12: 236–42.
89. Vecilli R, Katona T, Chen J, Roberts E, Hartsfield J (2009). Comparison of dentoalveolar morphology in WT and P2X7R KO mice for the development of biomechanical orthodontic models. *Anat Rec* 292: 292–8.
90. Al-Qawasmi RA, Hartsfield JK, Everett ET, Flury L, Liu L, Foroud TM (2003). Genetic predisposition to external apical root resorption in orthodontic patients: linkage of chromosome-18 marker. *J Dent Res* 82: 356–60.
91. Lilja E, Lindskog ST, Hammarström L (1983). Histochemistry of enzymes

- associated with tissue degradation incident to orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 83: 62–75.
92. Reitan K (1951). The initial tissue reaction incident to orthodontic tooth movement as related to the influence of function; an experimental histologic study on animal and human material. *Acta Odontol Scand* 6: 1–240.
 93. Schwartz AM (1932). Tissue changes incidental to tooth movement. *Int J Orthod*. 8: 331–52.
 94. Odenrick L, Lilja E, Lindbäck KF (1982). Root surface resorption in two cases of rapid maxillary expansion. *Br J Orthod* 9: 37–40.
 95. Sicher H, Bhaskar SN (1962). *Orban's Oral Histology and Embryology* (5th edn.), Mosby, St. Louis, MI 252–3.
 96. Odenrick L, Karlander EL, Pierce A, Fracds OD, Kretschmar U (1991). Surface resorption following two forms of rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 13: 264–70.
 97. Langford SR, Sims MR (1982). Root surface resorption, repair, and periodontal attachment following rapid maxillary expansion in man. *Am J Orthod* 8: 108–15.
 98. Langford SR (1982). Root resorption extremes resulting from clinical RME. *Am J Orthod* 81: 371–7.
 99. Akyalcin S, Alexander SP, Silva RM, English JD (2015). Three-dimensional root surface changes and resorption following rapid maxillary expansion: an evaluation of cone beam computed tomography investigation. *Orthod Craniofac Res* 18: 117–26.
 100. Ericson S, Kurol J (2000). Incisor root resorptions due to ectopic maxillary canines imaged by computerized tomography: a comparative study in extracted teeth. *Angle Orthod* 70: 276–83.
 101. Heimisdottir K, Bosshardt D, Ruf S (2005). Can the severity of root resorption be accurately judged by means of radiographs? A case report with histology. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 128: 106–9.
 102. Wang Y, He S, Guo Y, Wang S, Chen S (2013). Accuracy of volumetric measurement of simulated root resorption lacunas based on cone beam computed tomography. *Orthod Craniofac Res* 16: 169–76.
 103. Watt IM (1997). *The principles and practice of electron microscopy*. 2nd ed.

- Cambridge University Press 60-89.
104. Kittel PW, Sampson WJ (1994). RME-induced root resorption and repair: a computerised 3-D reconstruction. *Aust Orthod J* 13: 144.
 105. Angelopoulos C, Scarfe WC, Farman AG (2012). A comparison of maxillofacial CBCT and Medical CT. *Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America* 20: 1–17.
 106. Molen AD (2010). Considerations in the use of cone-beam computed tomography for buccal bone measurements. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 137: 130–5.
 107. Elliott JC, Davis GR, Dover SD (2008). X-ray microtomography: Past and present. In: *Optical Engineering+ Applications*. Int Soc for Optics and Photonics 707803–11.
 108. Şahin FÜ, Topuz Ö (2014). Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları. *Acta Odontol Turc* 31: 114.
 109. Maret D, Peters OA, Galibourg A, Dumoncel J, Esclassan R, Kahn JL (2014). Comparison of the accuracy of 3-dimensional Cone-beam Computed Tomography and Micro-Computed Tomography reconstructions by using different voxel sizes. *J Endod* 40: 1321–6.
 110. Hode L TJ (2014). *Laser phototherapy, clinical practice and scientific background-some basic laser physics*. Prima Books AB, Grangesburg, Sweden 2-58.
 111. Maiman TH (1960). Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187: 493–4.
 112. Coluzzi DJ (2000). An overview of laser wavelengths used in dentistry. *Dent Clin North Am* 44: 753–65.
 113. Glinkowski W, Pokora L (2001). *Lasers in Therapy*. Warsaw 7-27.
 114. Hode L TJ (2014). *Laser phototherapy, clinical practice and scientific background-therapeutic lasers*. Prima Books AB, Grangesburg, Sweden chapter 2: 60-82.
 115. Sun G, Tuner J (2004). Low-level laser therapy in dentistry. *Dent ClinNorth Am* 48: 0011–8532.
 116. Hode L TJ (2014). *Laser phototherapy, clinical practice and scientific background-biostimulation*. Prima Books, Grangesburg, Sweeden Chapter 3: 84-168.
 117. Meister J (2007). Basic Research. In: Gutknecht N. *Proceedings of the 1st International Workshop of Evidence Based Dentistry on Lasers in Dentistry*. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 3-27.

118. Enwemeka C (2001). Attenuation and penetration of visible 632.8 nm and invisible infra-red 904nm light in soft tissues. *Off J WALT* 13: 95–101.
119. Beckerman H, De Bie RA, Bouter LM, De Cuyper HJ, Oostendorp RA (1992). The efficacy of laser therapy for musculoskeletal and skin disorders: a criteria-based meta-analysis of randomized clinical trials. *Phys Ther* 72: 483.
120. Karu T (1989). Photobiology of low-power laser effects. *Health Phys* 56: 691–704.
121. Xu M, Deng T, Mo F, Deng B, Lam W, Deng P (2009). Low-intensity pulsed laser irradiation affects RANKL and OPG mRNA expression in rat calvarial cells. *Photomed Laser Surg* 27: 309–15.
122. Esnouf A, Wright PA, Moore JC, Ahmed S (2007). Depth of penetration of an 850nm wavelength low level laser in human skin. *Acupunct Electrother Res* 32: 81–6.
123. Hawkins D, Abrahamse H (2006). Effect of multiple exposures of low-level laser therapy on the cellular responses of wounded human skin fibroblasts. *Photomed Laser Ther* 24: 705–14.
124. Torri S, Weber JBB (2013). Influence of low-level laser therapy on the rate of orthodontic movement: a literature review. *Photomed Laser Surg* 31: 411–21.
125. Kawasaki K, Shimizu N (2000). Effects of low-energy laser irradiation on bone remodeling during experimental tooth movement in rats. *Lasers Surg Med* 26: 282–91.
126. Sudoh A (1995). Effect of low power laser irradiation on experimental tooth movement. *J Dent Res* 74: 457.
127. Fujita S, Yamaguchi M, Utsunomiya T, Yamamoto H, Kasai K (2008). Low-energy laser stimulates tooth movement velocity via expression of RANK and RANKL. *Orthod Craniofacial Res* 11: 143–55.
128. Goulart CS, Nouer PRA, Mouramartins L, Garbin IU, Lizarelli R de FZ (2006). Photoradiation and orthodontic movement: experimental study with canines. *Photomed Laser Surg* 24: 192–6.
129. Seifi M, Shafeei HA, Daneshdoost S, Mir M (2007). Effects of two types of low-level laser wave lengths (850 and 630 nm) on the orthodontic tooth movements in rabbits. *Lasers Med Sci* 22: 261–4.
130. Cossetin E, Janson G, Carvalho M (2013). Influence of low-level laser on bone

- remodeling during induced tooth movement in rats. *The Angle* 83: 1015-21.
131. Cruz D, Kohara E, Ribeiro M (2004). Effects of low-intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: A preliminary study. *Lasers Surg Med* 35: 117-20.
 132. Limpanichkul W, Godfrey K, Srisuk N, Rattanayatikul C (2006). Effects of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res* 9: 38–43.
 133. Long H, Pyakurel U, Wang Y, Liao L, Zhou Y, Lai W (2013). Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthodontist* 83: 164–71.
 134. Doshi-Mehta G, Bhad-Patil WA (2012). Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: A clinical investigation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 141: 289–97.
 135. Meguro D, Yamaguchi M, Kasai K (2002). Laser irradiation inhibition of open gingival embrasure space after orthodontic treatment. *Aust Orthod J* 18: 53-63.
 136. Suzuki SS, Garcez AS, Suzuki H, Ervolino E, Moon W, Ribeiro MS (2016). Low-level laser therapy stimulates bone metabolism and inhibits root resorption during tooth movement in a rodent model. *J Biophotonics* 9: 1222–35.
 137. Nimeri G, Kau CH, Corona R, Shelly J (2014). The effect of photobiomodulation on root resorption during orthodontic treatment. *Clin Cosmet Investig Dent*. 15: 1-8.
 138. Wierzbicki T, El-Bialy T, Aldaghreer S, Li G, Doschak M (2009). Analysis of orthodontically induced root resorption using micro-computed tomography (Micro-CT). *Angle Orthod* 79: 91–6.
 139. Vasconcelos EC, Henriques JFC, Sousa MVS, de Oliveira RC, Consolaro A, Pinzan A (2016). Low-level laser action on orthodontically induced root resorption: histological and histomorphometric evaluation. *J lasers Med Sci* 7: 146–51.
 140. Sameshima GT, Asgarifar KO (2001). Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. *Angle Orthod* 71: 185–9.
 141. Segal GR, Schiffman PH, Tuncay OC (2004). Meta analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption. *Orthod Craniofac Res* 7: 71–8.
 142. Sringskarnboriboon S, Matsumoto Y, Soma K (2003). Root resorption related to

- hypofunctional periodontium in experimental tooth movement. *J Dent Res* 82: 486–90.
143. Alhashimi N, Frithiof L, Brudvik P, Bakhiet M (2004). CD40-CD40L expression during orthodontic tooth movement in rats. *Angle Orthod* 74: 100–5.
 144. Fukushima H, Okamoto F, Okabe K, Motokawa W, Takada K, Kajiya H (2004). Calcitonin in human odontoclasts regulates root resorption activity via protein kinase A. *J Bone Miner Metab* 22: 12–8.
 145. Al-Qawasmi RA, Hartsfield Jr JK, Everett ET, Flury L, Liu L, Foroud TM (2003). Genetic predisposition to external apical root resorption. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 123: 242–52.
 146. Logan WHG, Kronfeld R (1933). Development of the human jaws and surrounding structures from birth to the age of fifteen years. *J Am Dent Assoc* 20: 379–428.
 147. Nimkarn Y, Miles P, O'Reilly M, Weyant R (1995). The validity of maxillary expansion indices. *Angle Orthod* 65: 321–6.
 148. Memikoglu TUT, Işeri H (1999). Effects of a bonded rapid maxillary expansion appliance during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 69: 251–6.
 149. Kanık EA, Taşdelen B, Erdoğan S (2011). Klinik denemelerde randomizasyon. *Marmara Med J* 24: 149–55.
 150. Karu TI (1986). Molecular mechanism of the therapeutic effect of low-intensity laser irradiation 291: 1245–9.
 151. Passarella S, Casamassima E, Molinari S, Pastore D, Quagliariello E, Catalano IM (1984). Increase of proton electrochemical potential and ATP synthesis in rat liver mitochondria irradiated in vitro by helium-neon laser. *FEBS Lett* 175: 95–9.
 152. Chen CH, Hung HS, Hsu SH (2008). Low-energy laser irradiation increases endothelial cell proliferation, migration, and eNOS gene expression possibly via PI3K signal pathway. *Lasers Surg Med* 40: 46–54.
 153. Moshkovska T, Mayberry J (2005). It is time to test low level laser therapy in Great Britain. *Postgrad Med J* 81: 436–41.
 154. Gur A, Sarac AJ, Cevik R, Altindag O, Sarac S (2004). Efficacy of 904 nm gallium arsenide low level laser therapy in the management of chronic myofascial pain in the neck: a double-blind and randomize-controlled trial. *Lasers Surg Med* 35: 229–35.

155. Huang TH, Liu SL, Chen CL, Shie MY, Kao CT (2013). Low-level laser effects on simulated orthodontic tension side periodontal ligament cells. *Photomed Laser Surg* 31: 72–7.
156. Vilela RG, Gjerde K, Frigo L, Leal Junior ECP, Lopes-Martins RAB, Kleine BM (2012). Histomorphometric analysis of inflammatory response and necrosis in re-implanted central incisor of rats treated with low-level laser therapy. *Lasers Med Sci* 27: 551–7.
157. Toomarian L, Fekrazad R, Tadayon N, Ramezani J, Tunér J (2012). Stimulatory effect of low-level laser therapy on root development of rat molars: a preliminary study. *Lasers Med Sci* 27: 537–42.
158. Lim HM, Lew KKK, Tay DKL (1995). A clinical investigation of the efficacy of low level laser therapy in reducing orthodontic postadjustment pain. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 108: 614–22.
159. Barber AF, Sims MR (1981). Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *Am J Orthod*. 79: 630–52.
160. Kim SY, Lim SH, Gang SN, Kim HJ (2013). Crown and root lengths of incisors, canines, and premolars measured by cone-beam computed tomography in patients with malocclusions. *Korean J Orthod* 43: 271.
161. Karu TI, Kolyakov SF (2005). Exact action spectra for cellular responses relevant to phototherapy. *Photomed Laser Ther* 23: 355–61.
162. Henderson TA, Morries LD (2015). Near-infrared photonic energy penetration: can infrared phototherapy effectively reach the human brain? *Neuropsychiatr Dis Treat* 11: 2191–208.
163. Tedford CE, Delapp S, Jacques S, Anders JJ (2015). Quantitative analysis of transcranial and intraparenchymal light penetration in human cadaver brain tissue. *Lasers Surg Med* 47: 312–22.
164. Longo L, Tamburini A MA (1991). Treatment with 904 nm and 10,600 nm laser of acute lumbago - double blind control-laser. *J Eur Med Laser Assoc* 1: 16–9.
165. Schindl B, Rosado-Schlosser FT (2001). The reciprocity rule in photobiology - a review 18-20.
166. Dörtbudak O, Haas R (2000). Biostimulation of bone marrow cells with a diode soft laser. *Clin oral Implant Res* 11: 540-5.

167. Aihara N, Yamaguchi M, Kasai K (2006). Low-energy irradiation stimulates formation of osteoclast-like cells via RANK expression in vitro. *Lasers Med Sci* 21: 24-33.
168. Yamagishi H, Shinohara C, Saito S, Sasaki H (1994). A basic study on the use of semiconductor laser of penetrative sensitivity on living tissue. *J Jpn Soc Laser Dent* 5: 13-22.
169. Lubart R, Friedmann H, Peled I, Grossman N (1993). Light effect on fibroblast proliferation. *LASER Ther* 5: 55-7.
170. Al-Watban AH F, Zhang Z (1994). Dosimetry-related wound healing response in the rat model following helium neon laser LLLT. *LASER Ther* 6: 119-24.
171. Kim SJ, Moon SU, Kang SG, Park YG (2009). Effects of low-level laser therapy after Corticision on tooth movement and paradental remodeling. *Lasers Surg Med* 41: 524-33.
172. Huang YY, Chen ACH, Carroll JD, Hamblin MR (2009). Biphasic dose response in low level light therapy. *Dose-Response* 7: 358-83.
173. Ginsbach G (1979). Laser induced stimulation of woundhealing in bad healing wounds. *Proc Laser '79 Opto Elektron Conf Munich IPC Sci Technol Press Guildf UK* 5 338-43.
174. Saito S, Shimizu N (1997). Stimulatory effects of low-power laser irradiation on bone regeneration in midpalatal suture during expansion in the rat. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 111: 525-32.
175. Youssef M, Ashkar S, Hamade E, Gutknecht N, Lampert F, Mir M (2008). The effect of low-level laser therapy during orthodontic movement: A preliminary study. *Lasers Med Sci* 23: 27-33.
176. Seifi M, Atri F, Yazdani MM (2014). Effects of low-level laser therapy on orthodontic tooth movement and root resorption after artificial socket preservation. *Dent Res J* 11: 61-6.
177. Long H, Zhou Y, Xue J, Liao L, Ye N, Jian F (2015). The effectiveness of low-level laser therapy in accelerating orthodontic tooth movement: a meta-analysis. *Lasers Med Sci* 30: 1161-70.
178. Lagan KM, Clements BA, McDonough S BG (2001). Low intensity laser therapy (830 nm) in the management of minor postsurgical wounds: A controlled clinical

- study. *Lasers Surg Med* 28: 27–32.
179. Consolaro A (2013). Effects of medications and laser on induced tooth movement and associated root resorption: four key points. *Dental Press J Orthod* 18: 4–7.
 180. Rygh P (1977). Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. *Angle Orthod* 47: 1–16.
 181. Nicola RA, Jorgetti V, Rigau J, Pacheco MTT, Reis LM, Zingaro RA (2003). Effect of low-power GaAlAs laser (660 nm) on bone structure and cell activity: an experimental animal study. *Lasers Med Sci* 18: 89–94.
 182. Miyazaki T, Iwasawa M, Nakashima T, Mori S, Shigemoto K, Nakamura H (2012). Intracellular and extracellular ATP coordinately regulate the inverse correlation between osteoclast survival and bone resorption. *J Biol Chem* 287: 37808–23.
 183. Karu TT (1999). Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. *J Photochem Photobiol B Biol.* 49: 1–17.
 184. Cheng LL, Türk T, Elekdağ-Türk S, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA (2009). 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 Dentofac Orthop* 136: 320.e1-320.e10.
 185. Andreasen J (1985). External root resorption: its implication in dental traumatology, paedodontics, periodontics, orthodontics and endodontics. *Int Endod J* 2: 109–18.
 186. Sato M, Grasser W, Endo N, Akins R, Simmons H, Thompson DD (1991). Bisphosphonate action. Alendronate localization in rat bone and effects on osteoclast ultrastructure. *J Clin Invest* 88: 2095.
 187. Sirisoontorn I, Hotokezaka H, Hashimoto M, Gonzales C, Luppapornlarp S, Darendeliler MA (2012). Orthodontic tooth movement and root resorption in ovariectomized rats treated by systemic administration of zoledronic acid. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 141: 563–73.
 188. Gonzales C, Hotokezaka H, Matsuo K-I, Shibazaki T, Yozgatian JH, Darendeliler MA (2009). Effects of steroidal and nonsteroidal drugs on tooth movement and root resorption in the rat molar. *Angle Orthod* 79: 715–26.
 189. Van Breugel HH, Bär PR (1992). Power density and exposure time of He-Ne laser

- irradiation are more important than total energy dose in photo-biomodulation of human fibroblasts in vitro. *Lasers Surg Med* 12: 528–37.
190. Yamada K, Kuroda H, Hayashi C, Yamada N, Kamiyama K (1994). Behaviour of osteoclast cultured on laser irradiated dentin. *J Japanese Soc Laser Dent* 5: 67–72.
 191. Reinholt FP, Hultenby K, Oldberg A, Heinegård D (1990). Osteopontin--a possible anchor of osteoclasts to bone. *Proc Natl Acad Sci U S A* 87: 4473–5.
 192. Lakkakorpi P, Tuukkanen J, Hentunen T, Järvelin K, Väänänen K (2009). Organization of osteoclast microfilaments during the attachment to bone surface in vitro. *J Bone Miner Res* 4: 817–25.
 193. Marchisio PC, Cirillo D, Naldini L, Primavera M V, Teti A, Zamboni-Zallone A (1984). Cell-substratum interaction of cultured avian osteoclasts is mediated by specific adhesion structures. *J Cell Biol* 99: 1696–705.
 194. Çolak C (2012). Hızlı ve yavaş üst çene genişletmesinde destek dişlerdeki kök rezorpsiyonunun değerlendirilmesi: Mikro-BT çalışması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
 195. Casa M, Faltin R, Faltin K, Arana-Chavez V (2006). Root resorption on torqued human premolars shown by tartrate-resistant acid phosphatase histochemistry and transmission electron microscopy. *Angle Orthod* 76: 1015-21.

10. EKLER

Ek 1. Ebeveyn Bilgilendirme Formu

EBEVEYN BİLGİLENDİRME FORMU

Çalışmanın adı: Düşük Seviyeli Lazer Terapisinin Hızlı Üst Çene Genişletmesi Sonrası Oluşan Kök Rezorpsiyonu Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi

1. Araştırmacıların adları, kurumları ve iletişim numaraları.

Araş. Gör. Demet YENİDEDE, Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 262-3442222/5036

Doç.Dr. Ayşe Burcu ALTAN, Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, 262-3442222/5060

2. Araştırma amacının anlaşılır ve özet açıklaması:

Düşük seviyeli lazer terapisi, dokular üzerinde tamir edici, anti-inflamatuvar (iltihap giderici), ağrı kesici vb. özellikleri olan iyileştirici bir tedavi yöntemidir. Ortodontide, temel olarak tüm düzensizlikler (dişlerin malpozisyonları), ortodontik diş hareketleri ile çözülmektedir. Hızlı üst çene genişletmesi (HÜÇG), üst çenenin iskeletsel kaynaklı darlığının tedavisinde, ortopedik etkinin başarılması için 100 yılı aşkın süredir sık kullanılan bir prosedürdür. HÜÇG sırasında kullanılan apareyin ortasındaki vidanın her 1 tur aktivasyonu ile yaklaşık 1300-4500 gram arasında kuvvet uygulanır. Uygulanan kuvvetler sonucunda periodonsiyumda, dişlerde ve çevre dokularda birtakım değişiklikler gözlenmekte ve bu duruma cevaben, dişler kemik içerisinde hareket etmektedir. Bu kuvvet sonucunda meydana gelen harekete bağlı olarak, diş kökü yüzeyinde, daha sonradan tamir olması beklenen, rezorpsiyon (erime) alanları ortaya çıkmaktadır. Çeşitli sebeplerden dolayı, ortodontik tedavilerin bir yan etkisi olarak, bu erime alanları tamir olamamakta ve durum şiddetlenerek kök ucu erimesi (kök boyunun kısalması) görülebilmektedir. Her ne kadar ortodontik tedavi esnasında oluşan kök erimelerine bağlı diş kayıpları çok nadir görülse de dişlerde ortaya çıkan lüksasyon (sallanma) hastaya rahatsızlık vermekte ve bazen dişlere endodontik tedavi (kanal tedavisi) uygulamak gerekmektedir.

Ek 1. Ebeveyn Bilgilendirme Formu (Devam)

Ortodontik tedaviler esnasında kök yüzeyinde ortaya çıkan yüzeyel erimeler ve tedavinin ileri safhalarında oluşabilen kök ucu erimeleri, diş çevreleyen yapıların iltihabi tepkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. Düşük doz lazer terapisinin iltihap giderici ve yara iyileştirici etkileri bilindiğinden; bu uygulamanın kök rezorpsiyonunun önlenmesinde ve tamirinde yararlı olabileceği düşünülmüştür.

Çalışmamızda, düşük seviyeli lazer terapisi ile ortodontik diş hareketi esnasında oluşan yüzeyel kök erimelerinin önlenmesi/azaltılması; yanı sıra oluşan erime alanlarının tamirinin hızlandırılması ve arttırılması hedeflenmektedir. Yöntem başarılı olduğu takdirde, yüzeyel kök erimeleri azaltılabilecek, tamir süreci hızlandırılacak ve ortodontik tedavilerin en büyük yan etkilerinden olan kök ucu erimeleri önlenebilecektir.

3. Neden benim çocuğum seçildi?

Çünkü KOÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalına, ortodontik tedavi (tel tedavisi) yaptırmak için başvurduğunuz ve ilgili öğretim üyeleri tarafından yapılan değerlendirmeler sonucunda, çocuğunuzun var olan ortodontik bozukluğunun tedavisi için hızlı üst çene genişletmesi ve üst 2 adet küçük azı dişlerinin çekilmesi gerektiğine karar verilip 01.09.2015-01.03.2016 tarihleri arasında tedavisine başlandı.

4. Araştırmaya katılmak / bir kez katıldıktan sonra sonuna kadar devam etmek zorunda mıyım?

Araştırmaya katılım zorunluluğunuz bulunmamaktadır. Araştırmaya katıldıktan sonra istediğiniz herhangi bir anda, araştırmacıya önceden haber vermek koşulu ile araştırmadan ayrılabilirsiniz. Bu size herhangi bir maddi ya da manevi yükümlülüğe neden olmadığı gibi tedavinizin sürdürülmesinde herhangi bir aksama olmayacaktır.

5. Katılmayı kabul edersem bana ne yapılacak?

Çocuğunuza hızlı üst çene genişletmesi amacıyla yapılan aparey takıldıktan sonra ilk seanstan itibaren veya hızlı üst çene genişletmesi bittikten bir hafta sonra başlayıp, 5 hafta boyunca her hafta, ileride çekilecek olan dişlerden birine 90 saniye süresince lazer uygulaması yapılacak. Bu esnada rutin tedavi kontrolleri de

Ek 1. Ebeveyn Bilgilendirme Formu (Devam)

yapılacak. Tedaviye başlandıktan 5 hafta veya 11 hafta sonra iki diş çekilecek, ortodontik tedavi devam edecektir.

6. Araştırmaya katılmanın olası dezavantajları ve riskleri nelerdir?

Düşük doz lazer terapisinin kişiye hiçbir zararı yoktur; uygulama risk taşımaz. Ancak olası bir sorun halinde sorumlu araştırmacı Arş. Gör. Dt. Demet YENİDEDE ile 0 262-3442222/5036 numaralı kurum telefonundan mesai saatleri içinde iletişime geçebilirsiniz.

7. Araştırmaya katılmanın olası yararları nelerdir?

Lazer uygulaması, çocuğunuzun zaten çekilecek olan dişlerine yapılacağından, uygulamanın olası pozitif etkilerinin kendisine doğrudan bir faydası olmayacaktır. Ancak, gelecekte bu terapinin rutin uygulamaya girebilmesi ve ortodontik tedavinin bir yan etkisi olarak gelişen kök kayıplarının önlenmesi açısından bilime katkıda bulunmuş olacaksınız.

8. Araştırma masrafları:

Araştırma süresince (dahil olduğunuz gruba göre; 5 veya 11 hafta), ortodontik kontrollere dört günde bir gelmeniz gerekmektedir. Rutin kontrol kapsamı dışında kalan geliş-gidişleriniz, (belgelendirmeniz kaydıyla) toplu taşıma ücretlendirmesi üzerinden tarafınıza ödenecektir. Lazer uygulaması için ayrıca bir ücret ödemenize gerek yoktur.

(Not: Ortodontik tedavi ücretiniz rutinde olduğu üzere tarafınız ve kurumunuzca karşılanacaktır.)

9. Araştırmada ters giden bir şey olursa?

Uygulamanın öngörülen herhangi bir zararı yoktur. Herhangi bir beklenmeyen durum halinde araştırmacı Arş. Gör. Dt. Demet YENİDEDE ile kurum telefonundan (3442222/5036) mesai saatleri içerisinde temasa geçebilirsiniz.

10. (Tedavi edici araştırmalarda) Alternatif tedavi/tanı yöntemleri nelerdir?

Kök rezorpsiyonlarının önlenmesi/tedavisi için hormon ve ilaç tedavisi gibi uygulamaların yapıldığı deneysel çalışmalar vardır. Ancak bu maddeler, yan etkileri nedeniyle rutin klinik uygulamalarında kullanılmamaktadır.

Ek 1. Ebeveyn Bilgilendirme Formu (Devam)

11. Kimlik bilgilerim ve elde edilen verilerin gizliliği nasıl sağlanacak?

Araştırmada elde edilen bilgiler sadece araştırmacıların ulaşabildiği Şifreli bir bilgisayarda korunacak; elde edilen sonuçlar kimlik bilgileriniz olmaksızın yalnızca bilimsel ve eğitimsel amaçlarla kullanılacaktır.

12. Araştırma sonunda bana bilgi verilecek mi?

Araştırma sonuçları bilimsel amaçlarla kullanılacaktır; talep ettiğiniz takdirde elde edilen sonuçlar tarafınızla paylaşılacaktır.

13. Araştırma sonuçlarına ne olacak?

Araştırma sonuçları yalnızca bilimsel ve eğitimsel amaçlarla kullanılacaktır.

14. Daha ayrıntılı bilgi için,

Demet YENİDEDE, demet.yenidede@kocaeli.edu.tr

15. Teşekkür:

Araştırmaya katılmayı kabul ettiğiniz için teşekkür ederiz.

16. Şikâyet için başvuru adresi;

Kocaeli Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu

Nurşen Alkaya 0262 303 7164

Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Umuttepe Merkez Yerleşkesi 41380 Kocaeli

Ek 2. Katılımcı Bilgilendirme Formu

KATILIMCI BİLGİLENDİRME FORMU

1. **Çalışmanın adı:** Düşük seviyeli lazer terapisinin hızlı üst çene genişletmesi sonrası oluşan kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi

2. **Araştırmacıların adları, kurumları ve iletişim numaraları.**

Araş. Gör. Dt. Demet Yenidede, Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
262-3442222/5036

Doç.Dr. Ayşe Burcu ALTAN, Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
262-3442222/5060

3. **Araştırma amacının anlaşılır ve özet açıklaması:**

Düşük doz lazer terapisinin dokular üzerinde yara iyileştirici, iltihap giderici, ağrı kesici vb. pozitif etkileri vardır. Ortodontik tedavilerde, dişlerin hareketini sağlamak için dişlere kuvvet uygulanmaktadır. Uygulanan kuvvetlere bağlı, diş kökünde daha sonradan tamir olması beklenen erime alanları oluşmaktadır. Çeşitli sebeplerden dolayı, ortodontik tedavilerin bir yan etkisi olarak, bu erime alanları tamir olamamakta ve durum şiddetlenerek kök ucunda erime ve kök boyunda kısalma görülebilmektedir. Her ne kadar ortodontik tedavi esnasında oluşan kök erimesine bağlı diş kayıpları çok nadir görülse de dişlerde ortaya çıkan sallanma hastaya rahatsızlık vermekte ve bazen dişlere kanal tedavisi uygulamak gerekmektedir.

Çalışmamızda, uygulayacağımız düşük doz lazer terapisinin yara iyileştirici etkileri olduğundan kök erimesinin önlenmesi ve/veya tedavisi için kullanılabilmesi düşünülmektedir. Yöntem başarılı olduğu takdirde, yüzeysel erimeler azaltılabilecek, tamir süreci hızlandırılabilir ve kök boyunda oluşabilecek kısaltmalar önlenilebilecektir.

4. **Neden ben seçildim?**

Çünkü KOÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'na, ortodontik tedavi (tel tedavisi) yaptırmak için başvuran ve ilgili öğretim üyeleri tarafından yapılan değerlendirmeler sonucunda, var olan ortodontik bozukluğunun tedavisi için hızlı üst çene genişletmesi ve üst 2 adet küçükazı dişlerinin çekilmesi

Ek 2. Katılımcı Bilgilendirme Formu (Devam)

gerektiğine karar verilip 01.09.2015-01.03.2016 tarihleri arasında tedavisine başlanan 12-15 yaş grubundaki bireylerden birisin.

5. Araştırmaya katılmak / bir kez katıldıktan sonra sonuna kadar devam etmek zorunda mıyım?

Araştırmaya katılım zorunluluğun bulunmamaktadır. Araştırmaya katıldıktan sonra istediğin herhangi bir anda, ailene ve araştırmacıya önceden haber vermek koşulu ile araştırmadan ayrılabilirsin. Bu sana/ailene herhangi bir maddi ya da manevi yükümlülüğe neden olmayacak ve tedavinin sürdürülmesinde herhangi bir aksama olmayacaktır.

6. Katılmayı kabul edersem bana ne yapılacak?

Katılmayı kabul edersen ortodontik tedavin için gereken hızlı üst çene genişletmesi apareyi takıldığı ilk seanstan itibaren 5 hafta boyunca dört günde bir, ileride çekilecek olan dişlerden birine 90 saniye lazer uygulaması yapılacak. Tedaviye başladıktan 5 hafta veya 11 hafta sonra iki dişin çekilecek, ortodontik tedavin devam edecek.

7. Araştırmaya katılmanın olası dezavantajları ve riskleri nelerdir?

Düşük doz lazer (ışık) terapisinin kişiye hiçbir zararı yoktur; uygulama risk taşımaz. Ancak olası bir sorun halinde sorumlu araştırmacı Arş. Gör. Dt. Demet Yenidede ile 0 262-3442222/5036 numaralı kurum telefonundan mesai saatleri içinde iletişime geçebilirsin.

8. Araştırmaya katılmanın olası yararları nelerdir?

Lazer uygulaması, zaten çekilecek olan dişlerine yapılacağından, uygulamanın olası pozitif etkilerinin sana doğrudan bir faydası olmayacaktır. Ancak, ileride ortodontik tedavi görecektir kişilerin diş köklerinde gelişecek kök erimesinin önlenmesi/tedavisi açısından bilime katkıda bulunmuş olacaksın.

9. Araştırma masrafları:

Araştırma masrafları senden/ailenden talep edilmeyecektir.

Ek 2. Katılımcı Bilgilendirme Formu (Devam)

10. Araştırmada ters giden bir şey olursa?

Uygulamanın beklenen herhangi bir zararı yoktur. Herhangi bir beklenmeyen durum olursa araştırmacı Arş. Gör. Dt. Demet Yenidede ile kurum telefonundan (3442222-5036) mesai saatleri içerisinde temasa geçebilirsiniz.

11. (Tedavi edici araştırmalarda) Alternatif tedavi/tanı yöntemleri nelerdir?

Kök erimesinin önlenmesi/tedavisi için rutinde kullanılan bir tedavi alternatifi yoktur.

12. Kimlik bilgilerim ve elde edilen verilerin gizliliği nasıl sağlanacak?

Araştırmada elde edilen bilgiler sadece araştırmacıların ulaşabildiği şifreli bir bilgisayarda korunacak; elde edilen sonuçlar kimlik bilgilerinin olmaksızın yalnızca bilimsel ve eğitimsel amaçlarla kullanılacaktır.

13. Araştırma sonunda bana bilgi verilecek mi?

Araştırma sonuçları bilimsel amaçlarla kullanılacaktır; istersen elde edilen sonuçlar seninle paylaşılacaktır.

14. Araştırma sonuçlarına ne olacak?

Araştırma sonuçları yalnızca bilimsel ve eğitimsel amaçlarla kullanılacaktır.

15. Daha ayrıntılı bilgi için,

Demet Yenidede, demet.yenidede@kocaeli.edu.tr

16. Teşekkür:

Araştırmaya katılmayı kabul ettiğin için teşekkür ederiz. 😊



17. Şikâyet için başvuru adresi;

Kocaeli Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu

Nurşen Alkaya 0262 303 7164

Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Umuttepe Merkez Yerleşkesi 41380 Kocaeli

11. ETİK KURUL ONAYI

 	
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMA ETİK KURUL DEĞERLENDİRME FORMU	
ETİK KURULUN ADI	KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU
AÇIK ADRES	Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Birimi Umuttepe Yerleşkesi /KOCAELİ
TELEFON	0262 303 74 50
FAKS	0262 303 74 63
E-POSTA	etikkurul@kocaeli.edu.tr

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Düşük seviyeli lazer terapisinin hızlı üst çene genişletmesi sonrası oluşan kök rezorpsiyonu üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi			
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜNÜN KODU	KOÜ KAİK 2015/329			
	EUDRACT NUMARASI	-			
	KOORDİNATÖRÜN ÜNVANI/ADI/SOYADI	Yrd. Doç. Dr. Ayşe Burcu Altan			
	KOORDİNATÖRÜN UZMANLIK ALANI	Ortodonti			
	SORUMLU ARAŞTIRMACI ÜNVANI/ADI/SOYADI	Arş. Gör. Demet Yenidede			
	SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Ortodonti			
	ARAŞTIRMA MERKEZİ	Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi			
	DESTEKLEYİCİ	-			
	DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ	-			
	ARAŞTIRMANIN NİTELİĞİ	-			
	ARAŞTIRMANIN TÜRÜ	İLAÇ DIŞI ARAŞTIRMA (UZMANLIK TEZİ)			
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ	ÇOK MERKEZLİ	ULUSAL	ULUSLARARASI	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili		
		ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ/PLANI	08.12.2015		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	08.12.2015		Türkçe <input checked="" type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer

DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı	Açıklama
	TÜRKÇE ETİKET ÖRNEĞİ	<input type="checkbox"/>
	SIGORTA	<input type="checkbox"/>
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	<input type="checkbox"/>
	BIYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	<input type="checkbox"/>
	HASTA KARTI/GÜNÜKLÜKLERİ	<input type="checkbox"/>
	İLAN	<input type="checkbox"/>
	YILLIK BİLDİRİM	<input type="checkbox"/>
	SONUÇ RAPORU	<input type="checkbox"/>
	GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	<input type="checkbox"/>
	Diğer	<input type="checkbox"/>

Etik Kurul Değerlendirme Formu
28 Nisan 2009 Versiyon No: 1

KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 11/19	Proje No: KOU KAİK 2015/329	Tarih : 11.12.2015
	Yrd. Doç. Dr. Ayşe Burcu Altan sorumluluğunda yapılan ve yukarıda bilgileri verilen Klinik Araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezlerde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplantıya katılan Etik Kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.		

ETİK KURUL BİLGİLERİ

ÇALIŞMA ESASI	Hasta Hakları Yönetmeliği (01.08.1998/23420), 8 Mayıs 2014 tarih ve 26994 sayılı Resmî Gazetede ilan edilen Hasta Hakları Yönetmeliği'nde Değişiklik Yapılmasına dair Yönetmelik, Helsinki Bildirgesi (2008), İyi Klinik Uygulamalar Kılavuzu (Nisan 2013), ICH/GCP-Guideline for Good Clinical Practice (10 Haziran 1996) İnsan Denekleri İçeren Biyomedikal Araştırmaların Uluslar arası Rehber Kuralları (CIOMS, 2002), Biyotıp Araştırmalarına İlişkin İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesine Ek Protokolün Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kararın (10 Mart 2011/6212), Biyoloji ve Tıbbın Uygulanması Bakımından İnsan Hakları ve İnsan Haysiyetinin Korunması Sözleşmesi: İnsan Hakları ve Biyotıp Sözleşmesi (4 Nisan 1997), Ek Madde -10 (6 Nisan 2011, 6225) Resmî Gazetede 13.04.2013 tarih ve 28617 sayılı ile yayınlanan Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik, 25 Haziran 2014 tarih ve 29041 sayılı Resmî Gazetede ilan edilen İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik
---------------	---

ETİK KURUL BAŞKANI UNVANI/ADI/SOYADI: PROF. DR. NERMİN ERŞOY
ETİK KURUL ÜYELERİ

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile ilişkisi	Katılım *	İmza
Prof.Dr. Nermin ERŞOY Başkan	Tıp Tarihi ve Etik	KOU Tıp Fak. Tıp Tarihi ve Etik AD	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	N. Erşoy
Prof.Dr. Zeynep CANTÜRK Başkan Yrd.	Endokrinoloji	KOU Tıp Fak. İç Hastalıkları AD	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Zeynep Cantürk
Doç. Dr. İpek K. ÇELİKYURT Raportör	Farmakoloji	KOU Tıp Fak. Farmakoloji AD	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	İpek K. Çelikyurt
Doç. Dr. Selin ÖNCEL Üye	Pediyatri	KOU Tıp Fak. Çocuk Sağ. ve Hst. AD	<input checked="" type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Selin Öncel
Prof.Dr. Yavuz GÖRKAN Üye	Anesteziyoloji ve Reanimasyon	KOU TF Anesteziyoloji ve Reanimasyon	<input checked="" type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Yavuz Gökkan
Prof.Dr. Sevinç KÜŞKAY Üye	Biokimya	KOU Tıp Fak. Biokimya AD	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Sevinç Küskay
Doç.Dr. Ayşe KARSON Üye	Fizyoloji	KOU Tıp Fak. Fizyoloji AD	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Ayşe Karson
Üm.Dr. Murat GÜVEN Üye	Genel Cerrahi	Kocaeli Derince Eğt. ve Arş. Hastanesi	<input checked="" type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Murat Güven
Üm.Dr. Berna A. ŞERİFİ Üye	Halk Sağlığı	İzmit 1 Nolu AÇSAP	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Berna A. Şerifi
Ersayın İŞİK Üye	Avukat	Kocaeli Barosu	<input checked="" type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Ersayın İşik
Yasemin ÇELSOY Üye	Hasta Hakları Temsilcisi	Sivil Üye	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Yasemin Çelsoy
Yrd Doç.Dr. Örgen TAK	Danışman Diş Hekimi	KOU Diş Hekimliği Fak.	<input checked="" type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/>	Örgen Tak

* Toplantıda Bulunma

12. ÖZGEÇMİŞ

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Bakırköy'de doğdu. İlköğrenimini ve ortaöğretimini Ahmet Hamdi Tanpınar Ortaokulu'nda, lise öğrenimini Haydarpaşa Lisesi'nde 1998 yılında tamamladı. 2003 yılında İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nden mezun oldu. 2013 yılı ağustos ayında Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı'nda uzmanlık eğitimine başladı. Uzmanlık eğitimi süresince Kocaeli Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde klinik ve akademik faaliyetlerde bulundu.

İngilizce bilmektedir.