



The Journal of Turkish Dental Research
Türk Diş Hekimliği Araştırma Dergisi

e-ISSN: 2822-4310 | Yıl / Year: 2026 | Cilt – Volume: 5 | Sayı – Issue: 2

Ortodontik Diş Hareketinde Düşük Seviyeli Lazer Tedavisi

Low-Level Laser Therapy (LLLT) in Orthodontic Tooth Movement

Ortodontide Lazer

Onur Emre ÇİFTÇİ¹, Tuğrul KIRTILOĞLU², Hooman HASHEMZADEH³

¹Araş. Gör., Periodontoloji Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Samsun, Türkiye
onuremrre@gmail.com

ORCID: 0009-0002-2327-2669

²Prof. Dr., Periodontoloji Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Samsun, Türkiye
tugkir@yahoo.com

ORCID: 0000-0003-1330-3927

³Araş. Gör., Periodontoloji Anabilim Dalı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Samsun, Türkiye
drhoomanhashemzadeh@gmail.com

ORCID: 0009-0006-2701-7795

Yazar Katkıları: Bu çalışmanın hazırlığında yazarların tümü eşit katkı sağlamıştır.

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Derleme / Review

Geliş Tarihi / Received: 15-12-2024

Kabul Tarihi / Accepted: 08-01-2026

Sayfa / Pages: 148-155

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Onur Emre ÇİFTÇİ

DOI: <https://doi.org/10.58711/turkishjdentres.vi.1601580>

Ortodontik Diş Hareketinde Düşük Seviyeli Lazer Tedavisi

Low-Level Laser Therapy (LLLT) in Orthodontic Tooth Movement

ÖZET

Düşük Seviyeli Lazer Tedavisi (low level laser therapy; LLLT) diş hareketini hızlandırmak ve tedavi süresini kısaltmak için ortodontide umut verici bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. LLLT invaziv olmayan bir tedavi yöntemi olup fotobiyomodülasyon yoluyla hücrel aktiviteyi uyarıp kemik yeniden şekillenme mekanizmasını hızlandırır. ATP üretimini artıran ve enflamatuvar mediyatörleri azaltan LLLT ortodontik diş hareketini hızlandırmaktadır. Dalga boyu, enerji yoğunluğu ve maruz kalma süresi gibi spesifik lazer parametrelerinin LLLT'nin etkinliği üzerinde önemli bir etkisi olduğu bildirilmiştir. LLLT'nin ortodontik ağrıyı azalttığı kanıtlanmış olup hasta uyumunun artmasına değerli bir yardımcıdır. Bu derleme LLLT'nin biyolojik mekanizmalarını, ortodontik tedavi süresini kısaltmadaki rolünü ve ortodontik ağrı üzerine etkilerini ele alarak klinik etkinlik için lazer ayarlarının optimize edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Umut verici sonuçlar bildirilmiş olsada LLLT'nin rutin ortodontik uygulamalara tam olarak entegre edilebilmesi için daha fazla araştırmaya ve protokollerin standardizasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. LLLT ortodontik tedavinin etkinliğini ve hasta deneyimini iyileştirmek için yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Düşük Seviyeli Lazer; Ortodontik Diş Hareketi; Hızlandırılmış Diş Hareketi; Ağrı

ABSTRACT

Low-Level Laser Therapy (LLLT) has emerged as a promising method in orthodontics to accelerate tooth movement and shorten treatment duration. LLLT is a non-invasive treatment modality that stimulates cellular activity and accelerates the bone remodeling mechanism through photobiomodulation. By increasing ATP production and reducing inflammatory mediators, LLLT accelerates orthodontic tooth movement. It has been reported that specific laser parameters, such as wavelength, energy density, and exposure duration, have a significant impact on the effectiveness of LLLT. It has also been proven that LLLT reduces orthodontic pain, making it a valuable aid in improving patient compliance. This review highlights the biological mechanisms of LLLT, its role in shortening orthodontic treatment duration, and its effects on orthodontic pain, emphasizing the importance of optimizing laser settings for clinical efficacy. Although promising results have been reported, further research and the standardization of protocols are needed for the full integration of LLLT into routine orthodontic practice. LLLT represents an innovative approach to improving the efficiency of orthodontic treatment and enhancing the patient experience.

Keywords: Low-Level Laser; Orthodontic Tooth Movement; Accelerated Tooth Movement; Pain

Giriş

Düşük Seviyeli Lazer Tedavisi (Low-Level Laser Therapy, LLLT) biyolojik süreçleri hücresel düzeyde uyarmak için düşük enerjili ışığın kullanıldığı invaziv olmayan bir tıbbi tedavidir.¹ Başlangıçta yara iyileşmesi ve ağrı yönetimi için geliştirilen LLLT ortodonti dahil olmak üzere çeşitli tıbbi ve diş hekimliği uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu tedavi genellikle 600-1000 nm dalga boyu aralığında çalışır ve önemli bir ısı üretmeden daha derin doku penetrasyonu sağlar. Kesme veya ablasyon için kullanılan yüksek güçlü lazerlerin aksine LLLT ışık enerjisinin mitokondrideki sitokrom c oksidaz gibi hücresel kromoforlar tarafından emildiği ve ATP üretimini artırma hücre çoğalmasını destekleme ve enflamasyonu azaltma gibi hücresel yanıtları tetiklediği fotobiyomodülasyon adı verilen bir süreçle çalışır.²

Ortodontide LLLT tedavi etkinliğini artırma ve hasta konforunu iyileştirme potansiyeli açısından incelenmiştir. Ortodontik diş hareketi (ODH) mekanik kuvvetlerin etkisi altında alveolar kemiğin yeniden şekillenmesini içerir. Bu süreç osteoklast aracılı kemik rezorpsiyonu ve osteoblast kaynaklı kemik oluşumunun karmaşık bir etkileşimiyle düzenlenir. LLLT'nin kemik yıkımını artıran osteoklastların aktivitesini destekleyerek ve periodontal bağ dokusunda anjiyogenezi teşvik ederek bu yeniden şekillenme sürecini hızlandırdığı önerilmektedir.³ Araştırmalar LLLT'nin nosiseptif yolları modüle ederek ve enflamatuvar sitokin seviyelerini azaltarak tedaviyle ilişkili rahatsızlıkları hafifletebildiğini göstermiştir.^{4,5}

Teorik avantajlarına rağmen LLLT'nin ortodontide uygulanması hâlâ aktif araştırma ve tartışma konusudur. Birçok çalışma diş hareket hızını artırdığı ve tedavi süresini azalttığını rapor ederken diğerleri minimal veya hiçbir etkisinin olmadığını bulmuş bu da farklı hasta grupları ve deneysel koşullar arasında sonuçların güvenilirliği konusunda sorulara yol açmıştır. Dalga boyu, güç yoğunluğu ve uygulama sıklığı gibi lazer parametrelerindeki değişkenlik sonuçları önemli ölçüde etkiler. Bireysel biyolojik tepkilerdeki ve deneysel yöntemlerdeki farklılıklar bulguların yorumlanmasını daha da karmaşık hale getirmektedir. Bu tutarsızlıklar LLLT'nin ortodontik tedavideki kesin rolünü belirlemek için standartlaştırılmış protokoller ve sağlam klinik çalışmalar yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.^{6,7}

Bu derleme çalışmasının amacı düşük seviyeli lazer tedavisinin ortodontik diş hareketi üzerindeki biyolojik etkilerini, ağrı kontrolündeki rolünü ve klinik uygulama protokollerini güncel literatür ışığında sistematik biçimde analiz etmektir. Literatürde LLLT'ye dair çalışmaların sonuçları önemli oranda çelişkilidir ve etkinliğe dair klinik konsensüs hâlâ sağlanamamıştır. Bu nedenle çalışmamız mevcut veriler arasındaki tutarsızlıkları belirlemeyi, lazer parametreleri arasındaki farklılıkları karşılaştırmalı olarak sunmayı ve standardizasyon ihtiyacına dikkat çekmeyi amaçlamaktadır. Böylece hem klinisyenlerin protokol seçiminde daha bilinçli karar vermesine katkı sağlamak hem de gelecekteki araştırmalar için yön gösterici bir çerçeve oluşturmak hedeflenmiştir.

Ortodontik Diş Hareketinin Hızlandırılması

Düşük Düzey Lazer Tedavisinin (Low-Level Laser Therapy, LLLT) ortodontik diş hareketini (ODH) hızlandırmadaki etkisi kemik yeniden şekillenmesinde merkezi rol oynayan hücresel ve moleküler mekanizmaları artırma kabiliyeti ile açıklanmaktadır. Ortodontik tedavi periodontal ligamentin sıkışma tarafındaki osteoklast aktivitesini ve gerilim tarafındaki osteoblast aktivitesini uyaran alveolar kemiğin yeniden şekillenmesine dayanır.⁸ LLLT fotobiyomodülasyon yoluyla bu süreci destekler bu durum mitokondriyal fonksiyonu artırır, ATP üretimini destekler ve interlökin-1 β (IL-1 β) ve nükleer faktör kappa-B ligandının (RANKL) modülasyonu gibi enflamatuvar sitokinleri etkiler.^{5,9}

Klinik ve deneysel çalışmalar LLLT'nin ODH'yi hızlandırma kapasitesini ortaya koymuştur. Bir klinik çalışma premolar dişlerin çekimi sonrasında köpek dişlerinin distalizasyonunda LLLT uygulandığında tedavi süresinde önemli bir azalma gözlemlendiğini bildirmiştir. Çalışmada lazer tedavisi gören grubun tedaviyi yaklaşık 84 günde tamamladığı kontrol grubunun ise 97 günde tamamladığı belirtilmiştir.⁶ Başka bir çalışma lazer grubunda diş hareket hızının kontrol grubuna göre %40 arttığını gözlemlemiş ve bu etkileri kemik rezorpsiyonu ve yeniden şekillenmesinde kritik rol oynayan IL-1 β seviyelerindeki artışa bağlamıştır.⁹

Yakın tarihli bir klinik çalışma LLLT uygulamasının ortodontik diş hareketini %1.22 oranında hızlandırdığını ancak bu etkinin klinik açıdan sınırlı kalabileceğini bildir-

miştir.¹⁰ LLLT ile elde edilen hızlanma oranı lazer parametreleri, dalga boyu, enerji yoğunluğu ve uygulama sıklığı dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlıdır. Optimal lazer dozlarının 5 ile 8 J/cm² arasında değiştiği daha yüksek dozların kemik yeniden şekillenme aktivitelerini baskılayabileceği belirtilmiştir. Sistematik inceleme ve meta-analiz yapılan bir çalışma düşük ila orta enerji yoğunluklarının daha yüksek dozlara göre daha etkili olduğunu ve lazer ayarındaki tutarsızlıkların sonuçlardaki değişkenliğe katkıda bulunduğunu göstermiştir.⁴

2023 yılında yayınlanan bir meta-analiz ilk ay içinde en az dört lazer uygulamasının diş hareketini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığını göstermiştir.¹¹ Hayvan çalışmaları LLLT'nin histolojik etkilerini inceleyerek ODH'nin hızlanmasındaki rolünü desteklemektedir. Sıçanlarda günlük lazer uygulamalarının ardından sıkışma bölgesinde osteoklast sayısının arttığını ve kemik yeniden şekillenmesinin hızlandığını bildirmiştir. Aralıklı uygulamaların ise bunun aksine daha az etkili olduğu bildirilmiştir. Tedavi sıklığının arzu edilen sonuçların elde edilmesinde kritik bir rol oynadığı bildirilmiştir.¹² Bununla birlikte başka bir çalışmada çelişkili bulgular bildirilmiştir. LLLT ile kontrol grupları arasında ODH hızında anlamlı bir fark olmadığını bildirmiş ve bu etkinin yetersiz enerji yoğunluğuna bağlı olabileceğini belirtmiştir. Bu durum LLLT'nin klinik faydalarını doğrulamak ve etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için iyi tasarlanmış ve standartlaştırılmış çalışmaların önemini vurgulamaktadır.¹³

Sonuç olarak LLLT'nin ortodontik diş hareketini hızlandırmadaki etkinliğini destekleyen önemli kanıtlar bulunmaktadır. Farklı metodolojiler nedeniyle sonuçlardaki değişkenlik tedavi protokollerinin standardizasyonunu ve bu etkilerin biyolojik mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını gerektirmektedir.

Ağrı Azaltma

Ortodontik tedavinin en önemli zorluklarından biri özellikle tedavinin erken aşamalarında diş hareketine eşlik eden ağrıdır. Bu ağrı periodontal ligamentte uygulanan ortodontik kuvvetlerin neden olduğu enflamatuvar yanıt sonucu ortaya çıkar ve prostaglandinler, interlökinler ve tümör nekroz faktörü-alfa (TNF- α) gibi enflamatuvar mediatörlerin salınımı ile ilişkilidir.^{14,15} Düşük Düzey Lazer Tedavisi (Low-Level Laser Therapy, LLLT) bu enflamatuvar yolları modüle etme ve nosiseptif sinyalleri azaltma

kabiliyeti sayesinde ortodontide ağrı yönetimi için potansiyel bir farmakolojik olmayan yöntem olarak dikkat çekmiştir.^{5,16}

LLLT fotobiyomodülasyon yoluyla hücresel fonksiyonu çeşitli şekillerde etkileyerek ağrıyı azaltır.¹⁷ Ana mekanizmalarından biri ağrı ve enflamasyona büyük ölçüde katkıda bulunan prostaglandin üretimini azaltarak siklooksijenaz-2 (COX-2) enziminin aktivitesini inhibe etmesidir. LLLT endojen anti-enflamatuvar moleküller (büyüme dönüşüm faktörü-beta, TGF- β) üretimini artırır ve lokal doluşımı iyileştirerek uygulama bölgesindeki enflamatuvar mediatörlerin uzaklaştırılmasını kolaylaştırır.⁶

2022 tarihli bir çalışma LLLT'nin özellikle ortodontik tedavinin ilk 48 saatinde ağrı şiddetini anlamlı düzeyde azalttığını bildirmiştir.¹⁸ Klinik çalışmalar LLLT'nin ortodontik ağrıyı azaltmadaki etkinliğini tutarlı bir şekilde göstermiştir. Köpek dişi distalizasyonu sırasında LLLT uygulanan hastalarda kontrol gruplarına kıyasla deney gruplarında ağrı algısında önemli bir azalma olduğu bildirilmiştir. Hastalar özellikle ortodontik kuvvet uygulandıktan sonraki ilk iki günde (ağrının en yoğun olduğu dönem) görsel analog skalada (VAS) daha düşük ağrı skorları bildirmiştir.¹⁶ LLLT ile tedavi edilen hastalarda ağrı seviyelerinde yaklaşık %25'lik bir azalma olduğunu ve ağrı hafifletici etkinin özellikle tedavinin ilk haftasında belirgin olduğunu bildirmiştir.⁶

Buna ek olarak 2024 yılında yapılan bir başka çalışma LLLT'nin ağrı süresini kısaltmakta etkili olduğunu ancak pik ağrı dönemlerinde anlamlı bir azalma sağlamadığını ortaya koymuştur.¹⁹ Ağrı yoğunluğunu azaltmanın yanı sıra LLLT'nin hastaların ortodontik tedaviye uyumunu artırmada da etkili olduğu gösterilmiştir. Ağrı ortodontik tedaviye uyumsuzluğun en önemli nedenleri arasındadır ve LLLT'nin bu semptomları hafifletebilme yeteneği tedavi sonuçlarını iyileştirmeye katkıda bulunabilir. Bir çalışmada LLLT uygulanan hastaların önemli ölçüde daha az ağrı yaşadığı ve tedavi programlarına daha sıkı bir şekilde uydukları tespit edilmiştir.²⁰

LLLT'nin ağrı üzerindeki etkileri dalga boyu, enerji yoğunluğu ve uygulama protokolü gibi lazer parametrelerine bağlı olarak değişebilir. LLLT'nin ağrıyı azaltmadaki etkinliği genellikle doza bağlıdır ve düşük seviye enerji yoğunluklarında (2.5, 5 ve 8 J/cm²) en iyi sonuçların elde edildiği bildirilmiştir. Yüksek seviye enerji yoğunluklarının

da (20 ve 25 J/cm²) istenen analjezik etkileri sağlayamamaktadır. Çalışmada elde edilen bulguların istatistiksel olarak anlamlı farklılıklarının klinik önemi tartışmalı olup mevcut kanıtların genel kalitesi düşük ile çok düşük arasında değişmektedir. Bu nedenle protokol standardizasyonunun sağlandığı daha kesin çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu derlemede tartışıldığı üzere lazer dozunun J/cm² yerine ayda toplam uygulanan joule sayısı ile ifade edilmesi ve karşılaştırılması şiddetle tavsiye edilmektedir.⁴

Sonuç olarak LLLT farmakolojik müdahalelere güvenli ve invaziv olmayan bir alternatif sunarak ortodontik ağrıyı yönetmek için umut verici bir yöntemdir. LLLT enflamatuvar yolları hedef alarak ve hücrel aktiviteyi modüle ederek yalnızca ağrıyı azaltmakla kalmaz aynı zamanda tedavi sırasında hasta konforunu ve uyumunu da artırır. Gelecekteki araştırmalar lazer parametrelerinin optimize edilmesine ve daha geniş hasta popülasyonlarında uzun vadeli faydalarının keşfedilmesine odaklanmalıdır.

Etkililikle İlgili Çelişkili Bulgular

Çalışmaların umut verici sonuçlarına rağmen Düşük Seviye Lazer Terapisi (LLLT) ile ortodontik diş hareketinin hızlandırılmasının etkinliği farklı deneysel ve klinik ortamların sebep olduğu tutarsız bulgular nedeniyle tartışmalıdır. Bazı araştırmalar LLLT'nin önemli faydalarını vurgularken diğerleri ihmal edilebilir veya hiçbir etki görmediklerini bildirmiş gözlemlenen sonuçların tekrarlanabilirliği ve genellenebilirliği hakkında soru işaretleri uyandırmıştır. Bu çelişkili bulgular genellikle çalışma tasarımları, lazer parametreleri ve bireyler arasındaki biyolojik çeşitlilikteki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu da klinik protokollerin standardizasyonuna duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.^{4,13}

Değişkenliğin Başlıca Kaynakları

Ana değişkenlik kaynağı LLLT'nin enerji yoğunluğu ve uygulama sıklığındaki farklılıklardır. LLLT'nin ODH hızındaki etkilerini test etmek için 25 J/cm² enerji yoğunluğuyla yapılan çift kör randomize klinik bir çalışma yapmış ancak tedavi edilen grup ile kontrol grubu arasında anlamlı bir fark bulamamıştır. Yazarlar çalışmalarında kullanılan enerji yoğunluğunun kemik remodelajı üzerinde uyarıcı bir etki yaratmak için yeterince yüksek olmayabileceğini öne sürmüşlerdir.¹³ LLLT'nin aralıklı uygulamasının osteoklast aktivitesini ve kemik remodelajını artırmada gün-

lük tedaviye göre daha az etkili olduğunu gözlemlemiş ve lazer uygulama sıklığının etkinliğin kritik bir belirleyeni olduğunu göstermiştir.¹²

Lazer Parametreleri ve Dalga Boyu Seçimi

Optimal lazer parametreleri üzerinde fikir birliği eksikliği doğrudan doku penetrasyonu ve hücrel aktivasyonu etkileyen dalga boyu seçimine de yansımaktadır. Yakın kızılötesi spektrumda (810–940 nm) bulunan dalga boylarının daha derin doku penetrasyonu sağladığı için olumlu sonuçlar gösterdiği halde görünür spektrumda (600–700 nm) daha kısa dalga boyları kullanan çalışmalar tutarsız sonuçlar raporlamıştır. Çalışmalarda farklı dalga boyları kullanan çalışmalarda etkinlikteki değişkenliği vurgulamış ve lazer parametrelerinin standardize edilmesi gerektiğini böylece çalışmalar arasında anlamlı karşılaştırmalar yapılabileceğini belirtmiştir.^{7,21}

Biyolojik Değişkenlik ve Denek Farklılıkları

Biyolojik değişkenlik bulguların yorumlanmasını daha da karmaşık hale getirmektedir. Yaş, kemik yoğunluğu ve metabolik aktivite gibi bireysel farklılıklar LLLT'ye olan yanıtı etkileyebilir. Bir çalışmada nispeten yüksek bir enerji dozu olan 72 J diş başına kullanımına rağmen ergenler ve genç yetişkinlerden oluşan bir grupta diş hareketinde belirgin bir hızlanma gözlemlenmemiştir. Yazarlar bireysel biyolojik yanıtlarındaki değişkenliğin LLLT'nin potansiyel faydalarını gizlemiş olabileceğini öne sürmüşlerdir.¹¹

Deneysel Modellerin Değişkenliği

Çelişkili bulgulara katkıda bulunan bir diğer kritik faktör LLLT'yi değerlendirmek için kullanılan deneysel modellerin değişkenliğidir. Hayvan çalışmaları LLLT'nin biyolojik mekanizmaları hakkında değerli bilgiler sunsa bile anatomik farklılıklar ve kemik remodelajı dinamikleri nedeniyle klinik ortamlarda tam olarak geçerli olmayabilirler. Günlük lazer tedavisi uygulanan sıçanlarda osteoklastik aktivitedeki artışı gözlemlemiş ancak bu tür sonuçların benzer koşullar altında insan yanıtlarını yansıtmayabileceğini belirtmişlerdir.¹²

Düşük Düzey Lazer Tedavisinin (LLLT)

Biyolojik Etkileri

Düşük Düzey Lazer Tedavisi (LLLT) ışık enerjisinin hücrel kromoforlar tarafından emildiği ve çeşitli biyolojik yanıtların ortaya çıktığı fotobiyomodülasyon süreci yoluyla etkisini gösterir. LLLT'nin birincil hedefi mitokond-

riyal solunum zincirinde yer alan bir enzim olan sitokrom c oksidazdır. Bu etkileşim mitokondriyal aktiviteyi artırarak adenosin trifosfat (ATP) üretiminin artmasına neden olur. Artan ATP seviyeleri doku yeniden şekillenmesi için kritik olan hücresel işlevleri olan hücre çoğalması, farklılaşması ve protein sentezini destekler.⁵

Ortodontik diş hareketi (ODH) bağlamında LLLT hem osteoklast hem de osteoblast aktivitesini uyarır. Osteoklastlar periodontal bağ dokusunun sıkışma tarafında kemik rezorpsiyonunu kolaylaştırırken osteoblastlar gerilim tarafında kemik oluşumuna katkıda bulunur.^{22,23} LLLT interlökin-1β (IL-1β), nükleer faktör kappa-B ligand (RANKL) ve vasküler endotelial büyüme faktörü (VEGF) gibi önemli sitokinlerin ve büyüme faktörlerinin ekspresyonunu artırarak bu süreçleri destekler. Bu moleküller osteoklast farklılaşmasını ve aktivitesini düzenler, anjiyogenezi artırır ve ekstraselüler matrisi modüle eder. Diş hareketi için gerekli olan kemik yeniden şekillenmesini hızlandırır.^{5,9}

LLLT ayrıca enflamasyonu ve doku onarımını düzenleyen hücresel sinyal yollarını etkiler. Prostaglandinler ve tümör nekroz faktörü-alfa (TNF-α) gibi pro-enflamatuvar moleküllerin ekspresyonunu baskılayarak LLLT ortodontik tedaviyle ilişkili enflamasyon ve ağrıyı azaltır. Doku iyileşmesini destekleyen ve dengeli bir kemik yeniden şekillenme ortamına katkıda bulunan büyüme dönüşüm faktörü-beta (TGF-β) gibi anti-enflamastuvar mediatörlerin üretimini artırır.^{6,16}

Histolojik düzeydeki çalışmalar LLLT'nin osteoklast sayısını artırdığını ve periodontal bağ dokusunda kolajen yeniden şekillenmesini teşvik ettiğini göstermiştir.²⁴ Deney modellerinde osteoklast sayısında ve olgunlaşmamış kolajen üretiminde belirgin bir artış olduğunu rapor etmiştir. Lazer uygulama sıklığı ve zamanlaması optimal sonuçlara ulaşmada kritik bir rol oynar. Sürekli veya günlük uygulamaların biyolojik etkileri aralıklı uygulamalardan daha etkili bir şekilde artırdığı görülmüştür.¹²

LLLT kemik yeniden şekillenmesi ve iyileşme için kritik bir faktör olan anjiyogenezi artırır.²⁵ LLLT sonrası VEGF ekspresyonundaki artış periodontal bağ dokusunda vaskülarizasyonu iyileştirir ve bu da besinlerin iletilmesini ve atık ürünlerin uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Ortodontik tedavi sırasında daha hızlı iyileşme ve yeniden şekillenmeye destek sağlar.⁵

Pek çok olumlu etkisine rağmen LLLT'nin biyolojik etkileri doz bağımlıdır. Aşırı maruziyet kemik yeniden şekillenmesi üzerinde paradoksal olarak engelleyici etkilere yol açabilir. Çalışmalar lazer parametrelerini (dalga boyu, enerji yoğunluğu ve uygulama süresi) optimize etmenin faydaları en üst düzeye çıkarmak ve olumsuz sonuçları önlemek için kritik olduğunu vurgulamaktadır.⁴

Sonuç olarak LLLT'nin ortodontik tedavideki biyolojik etkileri çok yönlüdür ve artan mitokondriyal aktivite enflamatuvar yolların modülasyonu ve kemik yeniden şekillenme süreçlerinin uyarılmasını içerir. Bu mekanizmalar diş hareketini hızlandırma, tedaviyle ilişkili rahatsızlıkları azaltma ve genel tedavi sonuçlarını iyileştirme potansiyelini ortaya koymaktadır. Tutarlı ve etkili sonuçlar elde etmek için biyolojik prensiplerin daha iyi anlaşılması ve tedavi protokollerinin dikkatlice optimize edilmesi gereklidir.

Genişletilmiş Meta-Analizler ve Sistematik İncelemeler

Sistematik incelemeler ve meta-analizler Düşük Düzey Lazer Tedavisinin (Low-Level Laser Therapy, LLLT) ortodontik diş hareketi (ODH) üzerindeki etkinliğini değerlendirmede kritik bir rol oynamıştır. Bu analizler bireysel çalışmaların metodolojik çeşitliliğini bir araya getirerek hem tedavinin potansiyelini hem de sınırlamalarını ortaya koymaktadır.

2020 yılında yapılan bir meta-analiz LLLT'nin ODH'yi hızlandırmadaki etkinliğini değerlendirmiş ve randomize kontrollü çalışmalara (RCT) odaklanmıştır. Bulgular lazerle tedavi edilen dişlerin kontrol grubuna kıyasla daha hızlı hareket ettiğini ve köpek dişlerinin retraksiyon hızında istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağladığını göstermiştir. Metodolojik tutarsızlıklar, küçük örneklem boyutları ve kayıp oranı nedeniyle genel kanıt kalitesinin düşük olduğu belirtilmiştir. Çalışma lazer dozajlarının ve protokollerinin standartlaştırılması gerektiğini vurgulamış ve lazer enerjisinin yüzey enerji yoğunluğu (J/cm²) yerine aylık toplam joule birimiyle ifade edilmesini önermiştir.⁴

Bir başka sistematik inceleme çalışmalardaki farklı lazer dalga boyları, enerji yoğunlukları ve uygulama zamanlamalarına bağlı olarak sonuçların değişken olduğunu vurgulamıştır. Bazı çalışmalar diş hareketinde belirgin hızlanma ve tedavi süresinde azalma rapor ederken diğerleri ölçülebilir bir fayda gösterememiştir. Meta-analiz

LLLT'nin üst çenede üç ay ve alt çenede bir ay süresince diş hareketi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ancak bu etkilerin tüm zaman dilimlerinde tutarlı olmadığını ortaya koymuştur. LLLT'nin belirli senaryolarda etkinliğini destekleyen kanıtlar bulunduğunu ancak yöntem ve sonuçlardaki heterojenliğin bulguların genelleştirilebilirliğini sınırlandığını belirtmiştir.²⁶

Hem insan hem de hayvan modellerini içeren çalışmaları incelemiş ve LLLT uygulamalarında kullanılan parametrelere odaklanmış bir çalışmada LLLT'nin etkinliğinin büyük ölçüde dalga boyuna ve enerji yoğunluğuna bağlı olduğunu ve orta dozların düşük veya yüksek uçlardan daha etkili olduğunu göstermiştir. İnsan çalışmaları arasında dört tanesi ODH'de istatistiksel olarak anlamlı iyileşmeler rapor etmiş ancak diğerleri fayda bulamamış veya metodolojik eksiklikler nedeniyle sonuçlarını destekleyememiştir. Bu inceleme tutarlı tedavi sonuçları için lazer parametrelerinin optimize edilmesinin önemini vurgulamıştır.⁷

Son olarak PRISMA yönergelerini kullanarak gerçekleştirilmiş sistematik bir inceleme 77 makaleyi analiz etmiş yalnızca 11 tanesi dahil edilme kriterlerini karşılamıştır. Bulgular sekiz çalışmanın LLLT'nin ODH'yi önemli ölçüde hızlandığını üç çalışmanın ise herhangi bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Özellikle beş çalışma LLLT'nin yan etkilerinin olmadığını doğrulamış ve tedavinin güvenli bir profil sunduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte inceleme hücresel düzeyde gözlemlenen biyolojik etkilerin her zaman klinik olarak anlamlı sonuçlara dönüşmediğini ve bu boşluğu kapatmak için daha iyi tasarlanmış çalışmalara ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır.²⁷

Gelecekteki çalışmalar küçük örneklem büyüklükleri, kısa takip süreleri ve tutarsız metodolojiler gibi mevcut literatürdeki sınırlamaları ele almaya odaklanmalıdır. Standart lazer parametreleri ve sağlam sonuç ölçütleri ile tasarlanmış iyi yapılandırılmış randomize kontrollü çalışmalar LLLT'nin uzun vadeli faydalarını ve güvenliğini doğrulamak için gereklidir. Yaş, biyolojik farklılıklar ve sistemik sağlık durumu gibi hasta özelindeki faktörlerin incelenmesi LLLT uygulamalarını bireysel ihtiyaçlara göre uyarlayarak terapötik potansiyelini maksimize etmeye yardımcı olacaktır.^{4,7}

Özet olarak meta-analizlerin ve sistematik incelemelerin sonuçları LLLT'nin ortodontik tedavide umut vaat

eden ancak tutarsız sonuçlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Terapi diş hareketini hızlandırma ve hasta deneyimini iyileştirme potansiyeline sahip olsada önemli metodolojik farklılıklar ve standartlaşma eksikliği tedavinin genel kabulünü engellemektedir. Gelecekteki araştırmalar kesin sonuçlar elde etmek için geniş ölçekli yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalara ve birbiriyle uyumlu protokollere öncelik vermelidir.^{4,7}

Sonuç

Lazer tedavisinin diş hareketi üzerinde yaklaşık %30'a varan hızlandırıcı etkisi olduğu gözlenmiştir. Ağrı kontrolü açısından ise tedavinin ilk 48 saatlik döneminde hasta şikâyetlerinde belirgin azalma kaydedilmiştir. Uygulama parametreleri arasında ciddi değişkenlik olduğu için klinik protokol önerisi geliştirmek henüz mümkün değildir.

Kaynaklar

- Huang, Y.-Y., Sharma, S. K., Carroll, J. & Hamblin, M. R. Biphasic dose response in low level light therapy - an update. *Dose-Response Publ. Int. Hormesis Soc.* 9, 602–618 (2011).
- Kim, S., Chou, M. Y. & Park, Y.-G. Effect of low-level laser on the rate of tooth movement. *Semin. Orthod.* 21, 210–218 (2015).
- Amid, R., Kadkhodazadeh, M., Ahsaie, M. G. & Hakakzadeh, A. Effect of low level laser therapy on proliferation and differentiation of the cells contributing in bone regeneration. *J. Lasers Med. Sci.* 5, 163–170 (2014).
- Bakdach, W. & Hadad, R. Effectiveness of low-level laser therapy in accelerating the orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *Dent. Med. Probl.* 57 1, 73–94 (2020).
- Zheng, J. & Yang, K. Clinical research: low-level laser therapy in accelerating orthodontic tooth movement. *BMC Oral Health* 21, (2021).
- Isola, G. et al. Effectiveness of Low-Level Laser Therapy during Tooth Movement: A Randomized Clinical Trial. *Materials* 12, 2187 (2019).
- Carvalho-Lobato, P. et al. Tooth movement in orthodontic treatment with low-level laser therapy: a systematic review of human and animal studies. *Photomed. Laser Surg.* 32 5, 302–9 (2014).
- Kapoor, P., Kharbanda, O. P., Monga, N., Miglani, R. & Kapila, S. Effect of orthodontic forces on cytokine and receptor levels in gingival crevicular fluid: a systematic review. *Prog. Orthod.* 15, 65 (2014).
- Üretürk, S. E. et al. The effect of low-level laser therapy on tooth movement during canine distalization. *Lasers Med. Sci.* 32, 757–764 (2017).
- Inchingolo, F. et al. Low-Level Light Therapy in Orthodontic Treatment: A Systematic Review. *Appl. Sci.* 13, 10393 (2023).
- Jnaneshwar, P. R. et al. Assessment of the effect of frequency of low-level laser therapy exposure at different intervals on orthodontic tooth movement – A systematic review and meta-analysis. *J. Orthod. Sci.* 12, 14 (2023).
- Marquezan, M., Bolognese, A. & Araújo, M. T. Effects of two low-intensity laser therapy protocols on experimental tooth movement. *Photomed. Laser Surg.* 28 6, 757–62 (2010).
- Limpanichkul, W., Godfrey, K., Srisuk, N. & Rattanayatikul, C. Effects of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement. *Orthod. Craniofac. Res.* 9, 38–43 (2006).
- Lim, H. M., Lew, K. K. & Tay, D. K. A clinical investigation of the efficacy of low level laser therapy in reducing orthodontic postadjustment pain. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Off. Publ. Am. Assoc. Orthod. Its Const. Soc. Am. Board Orthod.* 108, 614–622 (1995).
- Borzabadi-Farahani, A. The Adjunctive Soft-Tissue Diode Laser in Orthodontics. *Compend. Contin. Educ. Dent. Jamesburg NJ* 1995 38, e18–e31 (2017).
- Hosseini, M. H., Kamali, A. & Darbandi, M. EVALUATION OF EFFECT OF LOW LEVEL LASER THERAPY ON PAIN DURING ORTHODONTIC TOOTH MOVEMENT IN HUMAN. *J. Dent. Med.* 23, 21–26 (2010).
- Lopes, L. P. B. et al. Effect of photobiomodulation therapy on postoperative pain after endodontic treatment: a randomized, controlled, clinical study. *Clin. Oral Investig.* 23, 285–292 (2019).
- Brito, M. H. et al. Efficacy of Low-Level Laser Therapy in Reducing Pain in the Initial Stages of Orthodontic Treatment. *Int. J. Dent.* 2022, 3934900 (2022).
- Shahawy, R. E., Sameeh, H. M., Sedky, Y. & Nagar, W. R. E. Clinical effect of low-level laser therapy on pain perception after placement of initial orthodontic archwires. *APOS Trends Orthod.* 15, 158–165 (2025).
- Kochar, G. et al. Effect of Low-level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement. *J. Indian Orthod. Soc.* 51, 81–86 (2017).
- Cruz, D. R., Kohara, E. K., Ribeiro, M. S. & Wetter, N. U. Effects of low-intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: a preliminary study. *Lasers Surg. Med.* 35, 117–120 (2004).
- Lee, K.-J., Park, Y.-C., Yu, H.-S., Choi, S.-H. & Yoo, Y.-J. Effects of continuous and interrupted orthodontic force on interleukin-1beta and prostaglandin E2 production in gingival crevicular fluid. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Off. Publ. Am. Assoc. Orthod. Its Const. Soc. Am. Board Orthod.* 125, 168–177 (2004).
- Uematsu, S., Mogi, M. & Deguchi, T. Interleukin (IL)-1 beta, IL-6, tumor necrosis factor-alpha, epidermal growth factor, and beta 2-microglobulin levels are elevated in gingival crevicular fluid during human orthodontic tooth

- movement. J. Dent. Res. 75, 562–567 (1996).
24. Altan, B. A., Sokucu, O., Ozkut, M. M. & Inan, S. Metrical and histological investigation of the effects of low-level laser therapy on orthodontic tooth movement. Lasers Med. Sci. 27, 131–140 (2012).
 25. Varella, A. M., Revankar, A. V. & Patil, A. K. Low-level laser therapy increases interleukin-1 β in gingival crevicular fluid and enhances the rate of orthodontic tooth movement. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 154, 535-544.e5 (2018).
 26. Almeida, V. L. de et al. Efficiency of low-level laser therapy within induced dental movement: A systematic review and meta-analysis. J. Photochem. Photobiol. B 158, 258–66 (2016).
 27. Fini, M. B., Olyae, P. & Homayouni, A. The Effect of Low-Level Laser Therapy on the Acceleration of Orthodontic Tooth Movement. J. Lasers Med. Sci. 11 2, 204–211 (2020).