

Dijital Diş Hekimliğinde Dental Lazerler: Tanı ve Tedavideki Gelişmeler

Dental Lasers in Digital Dentistry: Developments in Diagnosis and Treatment

Cem PEŞKERSOY
Aybeniz OĞUZHAN

<https://orcid.org/0000-0003-2502-2698>

<https://orcid.org/0000-0002-4108-2968>

Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, İzmir

Atıf/Citation: Peşkersoy, C., Oğuzhan, A., (2022). Dijital Diş Hekimliğinde Dental Lazerler: Tanı ve Tedavideki Gelişmeler. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2022; DİJİTAL DİŞ HEKİMLİĞİ ÖZEL SAYI, 73-83.

ÖZ

Günümüzde dijital teknolojilerin kullanımının yaygınlaşması ile diş hekimliği alanında birçok uygulama daha pratik ve konforlu bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Dental lazerler dijital diş hekimliği iş akışında oldukça yaygın kullanılan cihazlardır. Diş hekimliğinde sert ve yumuşak dokularda kullanılan lazerler ile, dental tedavilerde minimum girişimsel yaklaşımla maksimum etkinlik ve hasta konforu sağlanabilmektedir. Argon ve He-Ne lazerler, aşırı dentin duyarlılığı olgularında tübüller yapıları kapatarak hassasiyeti gidermede oldukça başarılıdır. Direkt pulpa kuafajında, Nd: YAG lazerler ile etkili bir hemostaz sağlanabilirken, Karbondioksit ve Erbium lazerlerin antibakteriyel etkinlikleri sayesinde yeterli bir dekontaminasyon elde edilebilir. Vital pulpa tedavilerinde lazer kullanımının ayrıca tamir dentini yapımını indüklemeye ve pulpadaki rejeneratif iyileşmeyi hızlandırma (biyostimülasyon) gibi avantajları da vardır. Son yıllarda yapılan klinik çalışmalar, lazer uygulamasını takiben uygun bir kuafaj materyaliyle birlikte yapılan vital pulpa tedavilerinde başarı oranının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Dental lazerlerin minimum düzeyde doku kaybına ve canlı doku hasarına neden olmasının yanı sıra, pulpa enflamasyonunu azaltan ve bağ dokusunun iyileşmesini biyolojik olarak uyaran bir tedavi yöntemi olduğu ortaya konmuştur. Bu sayede tedavi sırasında hasta konforunu artırdığı ve post operatif ağrıyı azalttığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital diş hekimliği, Vital pulpa tedavisi, Dental lazer, Kuafaj materyalleri, Biyostimülasyon

ABSTRACT

Currently with the popularization of digital technologies, many applications in dentistry can be performed in a more practical and comfortable way. Dental lasers are widely used devices in the workflow of digital dentistry. With lasers used in hard and soft tissues, maximum efficiency and patient comfort can be achieved with minimal interventional approach. Argon and He-Ne lasers can decrease the sensitivity by closing and cauterizing the tubular structures in hypersensitivity cases. In direct pulp capping, an effective hemostasis can be achieved with Nd: YAG lasers, while an adequate decontamination can be achieved by means of the antibacterial activities of Carbon-dioxide (CO₂) and Erbium lasers. The use of laser in vital pulp treatments also has advantages such as inducing repair dentin and accelerating the regenerative healing of the pulp with the bio-stimulation effects. Recent clinical studies show that the success rate is higher in vital pulp treatments performed with a suitable capping material following laser application. In addition to causing minimal tissue loss, dental lasers have been shown to be a treatment method that reduces pulp inflammation and biologically stimulates the healing of connective tissue. Even though, it has been shown that lasers increase patient comfort during treatment and reduce post-operative pain.

Keywords: Digitalized dentistry, Vital pulp therapy, Dental laser, Capping materials, Biostimulation

Sorumlu yazar/Corresponding author*: dtcempeskersoy@hotmail.com

Başvuru Tarihi/Received Date: 04.10.2022

Kabul Tarihi/Accepted Date: 22.11.2022

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde her yeni gün teknolojinin gelişimi ile hayatı kolaylaştıracak, teşhis ve tedaviye katkı sağlayacak yeni uygulamalar geliştirilmektedir. Dijital uygulamalar ilk olarak bilgisayar destekli yazılım ve üretim cihazları ile diş hekimliği alanında yerini almıştır.¹ Teknolojideki güncel ilerleme ile dijital iş akışı diş hekimliği kliniklerinde oldukça tercih edilen ve kullanılan bir disiplin haline gelmiştir. Ağız içi kameralar, tarayıcılar, gülüş tasarımı yazılımları vb yardımcı ekipmanlar ile hem hekim ve laboratuvar arasındaki hazırlık aşamaları azalmış hem de hekim ve hasta arasındaki iletişim kuvvetlenmiştir. Teşhis, preparasyon, ölçü, restorasyon tasarımı ve üretimi aşamalarının tümü bu işlemler için özelleştirilmiş dijital cihazlar ile en hızlı ve konforlu şekilde gerçekleştirilebilmektedir.^{2,3} Bu amaç ile kullanılan teknolojilerden bir tanesi de lazer cihazlarıdır.

Lazer cihazlarının gelişmesi ve kullanımlarının kolaylaşmasıyla birlikte diş hekimliği pratiğinde başta cerrahi olmak üzere birçok disiplinde kullanımları artmıştır.⁴ Yumuşak ve sert doku cerrahisinde kullanılmaya başlanan lazerler, son yıllarda beyazlatma, kavite preparasyonu ve vital pulpa tedavilerinde de yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.⁴ Doksanlı yıllarda diş hekimliği pratiğinde uygulanması için üretilmiş olan lazer sistemleri gelişerek günümüzde farklı özellikleri bir arada bulundurabilen kombine lazer sistemleri geliştirilmiştir.⁵ Dental lazerlerin pratikte bu kadar yaygınlaşmasındaki asıl sebeplerin başında ise, uygulama kolaylığı, tedavi sürecini kısaltma, prognozu iyileştirme ve elbette ki hastalara ağrısız ve konforlu bir tedavi seçeneği sunması gelmektedir.^{4,5,6}

Diş hekimliği pratiğinde kullanılan lazerlerin, canlı dokularda oluşturduğu etkiler tedavi ve iyileşme sürecinde farklı sonuçlara yol açmaktadır. Lazerin sert dokularda oluşturduğu istenmeyen “yansıma” (refleksiyon) ve “saçılma” (scatter) etkilerinden farklı olarak yumuşak dokulardaki “emilim” (absorpsiyon) etkinliği iyileşmenin stimüle edilmesi açısından son derece önemlidir. Lazer enerjisinin biyolojik doku tarafından absorbe edilmesindeki en önemli faktörler ilgili dokunun pigmentasyonu, su, mineral ve protein içeriğidir.⁷ Lazer enerjisi ısıya dönüştüğünde lazer ile doku arasında fototermal etki adı verilen ana etkileşim meydana gelir. Fototermal etkileşimin sonucunda ise canlı dokularda “hipertermi” (ısı artışı), “denatürasyon” (bozulma), “koagülasyon” (pıhtılaşma) “ablasyon” (dokunun buharlaşması), ve “karbonizasyon” meydana gelir.⁷ Lazerin absorpsiyon derecesini etkileyen başka bir faktör ise dalga boyu, gücü ve sudaki absorpsiyon katsayısıdır.⁸ Lazerin suda daha düşük absorpsiyon katsayısına sahip olması biyolojik yumuşak dokulara daha derin penetrasyonunu sağlarken, daha yüksek bir absorpsiyon katsayısı yüzeysel penetrasyon sergilemektedir.⁸ Bu nedenle, diş hekimliğinde kullanılan sert doku lazerleri

genelde yüksek absorpsiyon katsayısına sahip ve hidrofilik ortamda çalışabilen Erbiyum (Er) lazerler olmakla birlikte, yumuşak doku lazerleri ise Neodyum (Nd) türevleridir.

2. DIŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANILAN LAZER SİSTEMLERİ

Diş hekimliğinde kullanılan lazerler genellikle içerisinde kullanılan aktif maddeye göre, katı, sıvı, gaz ve elektronik olmak üzere dört ana başlıkta sınıflandırılırlar. Ayrıca lazer ışığının hareketi, ışığın dalga boyu, ışığın enerjisi ve lazerin uygulanış şekline göre de alt başlıklara ayrılırlar (Tablo-1). Vital pulpa tedavilerinde, sert doku lazerinin, kavite preparasyonu, selektif çürük uzaklaştırma ve kavite dezenfeksiyonu özelliklerinden yararlanılırken, yumuşak doku lazerinin hemostaz ve biyo-stimülasyon özelliğinden faydalanılır (Tablo-2).

2.1 Argon Lazer: Aktif ortamı bir soy gaz olan bu lazer 488 - 514 nm dalga boyuna sahip olup elektromanyetik spektrumun görünür kısmında mavi-yeşil bir ışık yayar. Diş hekimliği alanında en sık çürük teşhisi, beyazlatma tedavisi, rezin polimerizasyonu, pigment ve vasküler lezyonların tedavisi, yumuşak doku insizyonu, çürük oluşumunun önlenmesi ve dentin hipersensitivitesi tedavisinde kullanılmaktadır.⁹ Ek olarak mine demineralizasyonun önlenmesi ve rezin dentin bağlantısının artırılmasına yönelik kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur.^{10,11}

2.2 Ho:YAG Lazer: 2120 nm dalga boyuna sahip kristal özellikte olan bu lazer, hemostaz özelliği sayesinde yumuşak doku uygulamalarında kullanılabilir. Yüzeysel ve hızlı etki gösterirken, anestezi ihtiyacını azaltır.¹² En sık kullanıldıkları alan TME cerrahisi ve artroskopik cerrahidir. Bakterisit etkiye sahip olan bu lazer; dentin hipersensitivitesi tedavisinde, periodontal tedavide, kavite ve kök kanal dezenfeksiyonunda ve kemik, kırık dokusunun şekillendirilmesinde kullanılmaktadır.¹²

2.3 Er:YAG, Er-Cr:YSSG Lazer: Erbiyum lazer ailesi dalga boylarına göre iki gruba ayrılmaktadır: Er-Cr: YSSG (ytriyum skandiyum galyum granat) 2780 nm ve Er:YAG (ytriyum alüminyum granat) 2940 nm dalga boyuna sahip lazerlerdir (Resim-1a). Yüksek hidroksiapatit afinitesine ve yüksek su absorpsiyonuna sahiptirler.^{13,14} Diş sert dokularının tedavisinde, en sıklıkla kullanılan Erbiyum lazerler, yüksek oranda su içeriğine sahip yumuşak dokudaki tedavi prosedürlerinde de uygulanabilmektedir.¹⁵ Erbiyum lazerler diş hekimliğinde; smear tabakasını kaldırma, kavite ve kök kanal dezenfeksiyonu selektif çürük uzaklaştırma, mine çürüğünün ve erozyonun önlenmesi, dentin hassasiyetinin giderilmesi, periodontal tedaviler, implant yüzey dezenfeksiyonu, depigmentasyon, oral lökoplaki tedavisi, kuron boyu uzatma uygulamalarında kullanılmaktadır.^{11,16,17,18}

Tablo 1: Diş Hekimliğinde Kullanılan Lazer Tipleri

Sınıflama	Lazer Türleri			
Lazer Aktif Maddesine Göre	<u>KATI LAZERLER</u> • Nd:YAG, • Ho:YAG, • Er:YAG, • Er-Cr:YSGG	<u>GAZ LAZERLER</u> • CO ₂ , • Ar/Krypton, • Excimer, • He-Ne	<u>SIVI LAZERLER</u> • Boya (Dye), • VIS, • He-Cd	<u>ELEKTRONİK LAZERLER</u> • Diyot, • İnfrared (Ir), • MID-Ir
Lazer Işığının Hareketine Göre	<u>SÜREKLİ İŞİK VERENLER</u> • MID-Ir Diyot Lazer • Erchonia	<u>ATIMLI (PULSE) İŞİK VERENLER</u> • Nd:YAG • Alexandrite	<u>DALGALI AKIM İŞİK VERENLER</u> • Nd:YAG • Er:YAG • Er-Cr:YSSG	
Lazerin Dalga Boyuna Göre	<u>MOR ÖTESİ (ULTRAVIOLE - UV)</u> Spektrum: 140-400 nm • Nitrojen lazer, • Excimer, • 3. nesil Nd:YAG lazer	<u>GÖRÜNÜR (VISUAL - VIS)</u> Spektrum: 400-700 nm • Argon • He-Ne • Nd:YAG	<u>KIZIL ÖTESİ (INFRARED - IR)</u> Spektrum: 700 nm ve üstü • CO ₂ lazer • Er:YSGG • Nd:YAG • Er:YAG	
Lazer Işığının Enerjisine Göre	<u>YUMUŞAK LAZER</u> • He-Ne • GaAlAs (Diyot)	<u>ORTA SERT LAZER</u> • CO ₂ • Nd:YAG, • Er:YAG, • Er-Cr:YSGG	<u>SERT LAZER</u> • Nd:Fosfat • Nd:Cam • Yb:Silika	
Lazerin Uygulanış Şekline Göre	<u>KONTAKLI (TEMASLI) LAZER</u> • Er:YAG • Nd:YAG • Er-Cr:YSGG		<u>KONTAKSIZ (TEMASSIZ) LAZER</u> • Alexandrite • CO ₂ • Argon • Excimer	
Lazerin Kullanım Şekline Göre	<u>MAFSALLI (artiküle) KOL</u> • Er:YAG • Er:Cam Lazer	<u>SİG DALGA REHBERLİ</u> • CO ₂ • Argon	<u>FİBER OPTİK KABLOLU</u> • Nd:YAG • Er-Cr:YSGG Lazer	
Vital Dokularda Yarattığı Hasarın Derecesine Göre (Enerji Çıkışı: E.Ç.)	<u>SINIF I</u> • EÇ: < 39 mw • Biyolojik hasar oluşturmaz.	<u>SINIF II</u> • EÇ: 40-100 mw • Cilt veya mukoza yanığı tehlikesi yoktur. • Optik hasar riski vardır.	<u>SINIF III</u> <u>Sınıf III-r:</u> • EÇ: <500 mw • Azami dozda evaporasyon. <u>Sınıf III-b:</u> • EÇ: <500 mw • Azami dozda 1. derece yanık.	<u>SINIF IV</u> • EÇ: > 500 mw • Yüksek dozlarda çevresel dokuda hasar, • Azami dozda, 3. derece yanık (karbonizasyon).

Tablo 2: Diş Hekimliğindeki Lazerlerin Kullanım Alanları

Sert Doku Lazerleri	Yumuşak Doku Lazerleri
<ul style="list-style-type: none"> • Çürük Teşhisi • Kavite Preparasyonu • Kavite Dezenfeksiyonu • Selektif Çürük Temizleme İşlemleri • Smear Tabakasının Uzaklaştırılması (Asitleme) • Adezyonun Artırılması • Erozyonların Önlenmesi • Çürükten Korunma (Profilaksi) • Dentin Hipersensivitesinin Tedavisi • Seramiklerin İç Yüzeyinin Pürüzlendirilmesi ve Rezinlere Bağlantısının Arttırılması • Beyazlatma Tedavileri • Rezin Kompozit Polimerizasyonu • Kök Kanallarının Dezenfeksiyonu • Kök Kanallarında Obturasyon • Retreatment Tedavileri • TME Ağrılarının Önlenmesi • TME Cerrahisi • Ortodontik Hareketlerin Hızlandırılması • Ortodontik Aktivasyonda Ağrıyı Azaltma • Hızlı Ortodontik Maksiller Genişletme Kemik Formasyonuna Katkı • Osteointegrasyon Hızlandırılması • Periimplantitis Tedavileri • Sinüs lifting Prosedürleri • Kemik Rejenerasyonunun İndüklenmesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Vital Pulpa Tedavileri • Doppler Uygulamaları • Gingivektomi • Frenektomi • Antimikrobiyal Fotodinamik Terapi • Melanin Depigmentasyonu • Periodontal Küretaj ve Detertraj • Gingival Hiperplazilerin Eksizyonu • Herpes Labialis Tedavisi • Biyopsi/Eksizyon • Operkuloctami • Analjezik Etki • Travma Olgularının Tedavisi • Tümör Rezeksiyonu • Premalign, Malign Lezyonların Cerrahisi • Fasiyal Cerrahi • Yumuşak Doku Cerrahisi • Vasküler Lezyonların Cerrahisi • Yumuşak Doku Rejenerasyonunun Arttırılması • Yara İyileşmesinin Stimüle Edilmesi • Mukozit Tedavisi • Trismus Tedavileri • Lenfatik Drenaj Sağlama • Hemostaz Sağlama



Resim 1: Diş hekimliğinde kullanılan dental lazerler; a) Er-Cr:YSGG lazer (Water-lase, Biolase Corp., ABD), b) Er-Nd:YAG lazer (Lightwalker, Fotona Inc., Slovenya), c) CO₂ lazer (Opelaser Pro, Yoshida Co., Japonya), d) Diyet lazer (Fona Laser, Fona Medical, İtalya).

2.4 Nd:YAG (Neodymium:Yttrium-Aluminum-Garnet) Lazer: Nd:YAG lazer, hemoglobinin ve melanin tarafından iyi emilen, dalga boyu 1064 nm olan bir lazerdir (Resim-1b). Derin doku penetrasyonuna sahip olup yumuşak dokuyu hedef alan uygulamalar ve fotobiyomodülasyon tedavisi için kullanılmaktadırlar.¹⁹ Mine çürüğünün önlenmesi, smear tabakasının kaldırılması, kavite ve kök kanal dezenfeksiyonu, dentin hipersensivitesinin tedavisi, alveoler kemiğin düzenlenmesi ve periodontal tedavi prosedürlerinde kullanılmaktadır.^{11,15} Günümüzde Nd:YAG lazer yumuşak dokuda ağırlıklı olarak depigmentasyon, gingivektomi, furkasyon ve frenulum bölgelerindeki periodontal cerrahi işlemlerinde kullanılmaktadır.²⁰

2.5 Karbondioksit (CO₂) Lazer: Aktif madde olarak karbondioksit, nitrojen, hidrojen, ksenon ve helyum kullanan bu lazer 9300-10.600 nm uzunluğunda dalgalar üretebilmektedir (Resim-1c). Su ve hidroksiapatit tarafından çok iyi absorbe edilmesine rağmen (0,1-0,23 mm.

penetrasyon derinliği), çalışma alanının 0.5 mm çevresinde nekrotik dokular oluşturabilmektedir.¹⁹ Yumuşak dokularda sığ penetrasyon derinliğine sahiptir ve hemostaz sağlamada başarılıdır.²¹ Ayrıca, CO₂ lazer uygulaması dentin matris proteini ve alveol kemikte sialofosfoprotein gibi sert doku oluşumu ile ilişkili çeşitli proteinlerin ekspresyonunu artırmak, yara iyileşme süreçlerinde hücre farklılaşması ve proliferasyonunu desteklemek gibi özellikleri de vardır.^{21,22} CO₂ lazerin diş sert dokularında kullanıldığı uygulamalar arasında diş beyazlatma, dentin hassasiyeti tedavisi, minenin asit ataklarına karşı direncini artırarak mine çürüğünün önlenmesi yer almaktadır.^{11,22} CO₂ lazeri yumuşak dokularda; gingival mukozal epitelin keratinizasyonunu arttırmak için, benign ve malign oral lezyonların eksizyonunda ve yanık kaynaklı yara izlerinin tedavisinde kullanımının etkili bir yöntem olduğu bildirilmiştir.^{23,24}

2.6 Diyet Lazer: 445-980 nm aralığında dalga boyları üretebilen, yarı iletken bir lazerdir (Resim-1d). Diyet

lazer dalga boyları melanin ve hemoglobin tarafından yüksek oranda tutulurken, hidroksiapatit ve su tarafından zayıf bir şekilde absorbe edilir bu da diş sert dokularında kullanımını kısıtlar.^{15,19} Yalnızca dentin hipersensitivitesinin tedavisi, kök kanal dezenfeksiyonu, diş beyazlatma, mine çürüğünün önlenmesi olgularında başarılı sonuçlar alınmıştır.^{11,25} Yumuşak doku tedavilerinde daha başarılı olan diyet lazer, dişeti şekillendirme, depigmentasyon, hipertrofik dokuların eksizyonu, frenektomi, aftöz ve herpetik lezyonların fotostimülasyonu için kullanılmaktadır.¹⁵ Ayrıca ampütasyon ve pulpatomi olgularında diyet lazerin kullanılmasının avantajları olduğu bildirilmiştir.¹⁹

3- LAZERİN VİTAL DİŞ DOKULARINDAKİ ETKİLERİ

Lazer tedavisinin; ağrının azalmasını sağlaması, endorfin salınımını artırması ve bağışıklık sistemini güçlendirmesi ile nöral hücre yenilenmesinin uyararak oral yara iyileşme sürecine olumlu katkı sağladığı gösterilmiştir.²⁶ Lazer uygulamasının diş pulpası hücrelerinde proliferasyonu uyardığı bilinmektedir.^{27,28}

3.1 Biyostimülasyon Etkisi: Lazer ışınlarının biyostimulan etkilerinden faydalanılarak yapılan tedaviler “Düşük Seviyeli Lazer Tedavisi”, “Fotobiyostimülasyon”, “Fotobiyomodülasyon” veya “Lazer Biyoaktivasyonu” gibi farklı şekillerde adlandırılmaktadır. 600 ile 1070 nm arasında dalga boyları kullanılarak uygulama yapıldığında bu prosedür fotobiyomodülasyon (PBM) olarak tanımlanabilmektedir.²⁹ Düşük seviyeli lazer tedavisinin diş dokularına uygulanmasını araştıran çalışmalarda, fotobiyomodülasyonun pulpa enflamasyonunu azalttığı, diş pulpasının canlılığını korumasına yardımcı olduğu, kollajenik proteinin yapımını artırarak fibröz bir matris oluşumu ile iyileşmeyi hızlandırdığı gösterilmiştir.^{30,31} Pereira ve ark. tarafından yapılan çalışmada ise dört farklı enerji akışında düşük seviyeli lazer uygulamanın insan dental pulpa kök hücrelerinde proliferasyonu teşvik ettiği bildirilmiştir. Ayrıca düşük seviyeli lazer tedavisinin pulpaya uygulanmasının ardından rejenerasyonu da hızlandırdığı gösterilmiştir.³² Özellikle 800-1000 nm dalga boyuna sahip lazer uygulamasının latent büyüme faktörü kompleksini ve dönüştürücü büyüme faktörü beta-1'i aktive ederek konakçı kök hücreleri farklılaştırdığı ve doku yenilenmesini teşvik ettiği bildirilmiştir.³³ Lazerlerin ekspoz olan pulpa dokusuna uygulanmasının hücre motiliteyi ve mezenkimal hücre proliferasyonunu artırarak iyileşmeyi hızlandırdığı da gösterilmiştir.^{27,34}

3.2 Tersiyer Dentin Oluşumuna Katkı: Pulpa onarımının önemli bir göstergesinin dentin köprüsü oluşumu olduğu düşünülmektedir.³⁵ Tersiyer dentinin varlığı, diş uyarılara ve bakteriyel penetrasyona karşı bir engeldir bu nedenle oluşan bu tamir dentini içindeki tübüllerinin miktarı, genişliği, homojenliği, varlığı veya yokluğu direk pulpa kuafajı tedavisinin başarısında

önemli faktörlerdir.³⁶ Lazer tedavisinin, odontoblastlar tarafından tersiyer dentinin oluşturulmasını indüklediği ve ekpoz pulpa sahasında dentin köprüsünün daha düzenli ve homojen şekilde oluşabileceği gösterilmiştir.²⁷ Ayrıca antibakteriyel etkiye sahip lazerler dentin tübüllerinde daha derin noktalara nüfuz ederek, dentin köprüsü oluşum oranını hızlandırmaktadır.³⁷ Yapılan çalışmalarda lazer destekli direkt pulpa kuafajında, geleneksel yöntemlere göre daha hızlı bir iyileşme ve daha kalın dentin köprüsü oluştuğu gözlenmiştir.³⁸

3.3 Antibakteriyel Etki: Pulpanın perfore olması ile iyileşme sürecini olumsuz etkileyebilecek ve enfeksiyona sebep olabilecek patolojik özelliklere sahip çeşitli bakteriler ile pulpal dokunun kontaminasyonu söz konusu olabilmektedir.¹⁷ Steril bir alanın varlığı, direkt pulpa kuafajı tedavisinin başarısında önemli bir faktördür. Lazerlerin, açığa çıkan pulpayı ve çevresindeki alanı aynı anda sterilize edebileceği gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda lazerlerin birçok antibakteriyel ajandan üstün bir dezenfeksiyon etkisinin olduğunu doğrulanmıştır.^{39,40} Lazer teknolojisi kullanarak bakterileri kaviteden uzaklaştırmanın etki mekanizması mekanik ve fototermaldir. Yüksek sıcaklıklar, bakterilerin hücre duvarındaki lipopolisakaritleri eriterek hücre zarında değişikliklere yol açmakta, hücre içindeki proteinleri denatüre ederek hücrenin ölmesine yol açmaktadır.⁴¹ Ayrıca lazerler, bakteriyel endotoksinleri de inaktive ederler.⁸

Bununla birlikte hızla yükselen ısı artışı pulpa gibi narin canlı dokular için de çeşitli olumsuzluklar barındırmaktadır. Baraba ve ark., su soğutması altında uygulanan Er:YAG lazer tedavisinin çürük dentinin ve karyojenik bakterileri yeterli düzeyde uzaklaştırırken, pulpa canlılığını olumsuz yönde etkileyebilecek aşırı bir sıcaklığa sebep olmadığını bildirmişlerdir.⁴² Bu benzer olarak, Streptococcus mutans kolonilerinin, CO₂ lazere ve Nd:YAG lazere duyarlı olduğu bildirilmiş; diş çürüklerinin önlenmesi ve antimikrobiyal tedavi protokollerinde kullanımı faydalı bulunmuştur.^{43,44} Son yapılan çalışmalarda ise, derin dentin tübüllerinde bulunan bakteriler üzerinde Nd:YAG lazerin Er:YAG lazere göre önemli ölçüde üstün olduğu bildirilmiştir.^{45,46}

3.4 Hemostatik Etki: Lazerlerin hemostatik etkisi, ışık ve maddenin fototermal veya fotokimyasal etkileşimine dayanmaktadır. Direkt pulpa kuafajının başarısındaki önemli faktörlerden biri kanama kontrolünün sağlanmasıdır.⁴⁷ Özellikle direkt pulpa kuafajı gibi sızdırmazlığın sağlanmasının ve kontaminasyonun önlenmesinin önemli olduğu bir prosedürde iyi bir hemostaz sağlanması gerektiği bildirilmiştir.⁴⁸ Direkt pulpa kuafajında yetersiz hemostazın, dentinde hibridizasyonu engelleyerek mikro sızıntıya sebep olabileceği belirtilmiştir.⁴⁸ Hemoglobinin ve melanin tarafından güçlü absorpsiyonları sebebi ile diyet lazer ve Nd:YAG lazerlerin hemostatik etkinliği, tedavi edilen alanın mümkün olan en kısa sürede kuru kalmasını sağlamaktadır. CO₂

lazer ve Er:YAG lazerler kullanıldığında oluşan hemostaz alanı Nd:YAG ve diyot lazerler ile kıyaslandığında daha yüzeyseldir.⁴⁷

3.5 Antienflamatuvar ve Analjezik Etki:

Enflamatuvar pulpa reaksiyonu en çok aktif çürük lezyonlarının mekanik kavite preparasyonu sırasında ve biyouyumlu olmayan bileşenlere sahip dental materyaller ile kavite restorasyonunu sonrasında oluşmaktadır.⁴⁹ Giroud ve ark., pulpa dokusunun maruz kaldığı hasarın enflamatuvar reaksiyonları şiddetlendirerek post operatif ağrıya sebep olabileceğini bildirmişlerdir.³⁵ Lazerler ile uygulanan fototerapinin pulpa enflamasyonu azaltan ve bağ dokusunun iyileşmesini biyolojik olarak uyaran bir tedavi yöntemi olduğu ortaya konmuştur.⁵⁰ Er:YAG lazer uygulanan diş pulpasında yüzeyinin altında enflamatuvar hücrelerin ve fibroblastların toplandığı bir nekroz tabakası olduğunu gösterilmiştir. Bu tabakanın yalnızca kuafaj materyali uygulandığında oluşan nekroz tabakasından daha hızlı çözüldüğü, enflamatuvar yanıtın azaldığı ve iyileşmenin daha erken başladığı bildirilmiştir.^{46,51}

Lazerin analjezik etkisi; düşük enerji seviyeli lazer enerjisinin sinirler ve nosiseptörler üzerine doğrudan etki ederek, sodyum-potasyum dengesini değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.⁴⁹ Ayrıca membran potansiyelinin stabilizasyonu ile ağrı iletilmesinin engellenmesi söz konusudur. Lazer uygulamasının ardından ağırlı uyarana karşı C-fibrillerinde pulpal cevabın baskılandığı gösterilmiş ve prostaglandin E2 gibi ağrı oluşumunda görev alan enflamatuvar ajanların azalmasına da etkili olduğu bildirilmiştir.⁵²

3.6 Lazerin Odontoblastlara Etkisi: Yüksek dalga boylarında uygulanan lazer tedavisinin odontoblast ve fibroblast hücrelerinde birçok olumlu etkiye sebep olduğu gösterilmiştir.⁵¹ Bu etkiler proliferasyon, rejenerasyon, diğer hücre tiplerine farklılaşma ve yara iyileşmesi sürecine destekleyici katkı şeklinde sıralanabilir.^{5,9,31} Dental pulpa kök hücreleri mezenkimal kök hücre fenotipine sahiplerdir ve odontoblastlar, osteoblastlar, kondrosit hücreleri dahil olmak üzere birden fazla hücre tipine farklılaşma potansiyelleri vardır.³³ Çeşitli çalışmalarda Er:YAG ve diyot lazerlerin, pulpa hücrelerinin odontoblast benzeri hücrelere farklılaştığını ispat eden kanıtlara ulaşılmıştır. Lazer uygulanan pulpa hücrelerinde alkalin fosfataz aktivitesinin artarak Dönüştürücü Büyüme Faktörü Beta (TGF- β) hücre sinyal yolunu aktive edip hücre proliferasyonunu ve farklılaşmasını uyardığı gösterilmiştir.^{28,46}

Benzer şekilde CO₂, Nd: YAG ve Er, Cr: YSGG lazerler ile yapılan klinik çalışmaların çoğunda lazer tedavisinin pulpa iyileşmesi ve rejenerasyona faydalı olduğu desteklenmiş odontoblastik aktivitenin arttığı gözlenmiştir.^{46,53} Bununla birlikte Shigetani ve Ser-od uzun süreli Er:YAG ve CO₂ lazer ile kavite preparasyonunun odontoblastlarda hafif ve geri dönüşümlü hasara neden olduğu sonucuna varmışlardır.^{51,54}

3.7 Lazerin Fibroblastlara Etkisi: Fibroblastlar pulpada en sık görülen ve yara iyileşme sürecinde anahtar rol oynayan hücrelerdir. Düşük seviyeli lazer tedavisinin fibroblast büyüme faktörü (FGF) üretimini artırdığı, enflamasyon oluşumunu azalttığı ve böylece yara iyileşme sürecinin yeniden şekillenmesini ve hızlanmasını teşvik ettiği bildirilmiştir.^{36,55} Nd:YAG lazerin kullanıldığı çalışmalarda, lazerin gücüne ve uygulama sayısına bağlı olarak fibroblastların hücre proliferasyonunu ve mitotik aktivitesinin arttığı ve bunun da pulpa rejenerasyonuna yardımcı olabileceği gösterilmiştir.^{55,56}

4. VİTAL PULPA TEDAVİLERİNDE LAZERLERİN KULLANILMASI

Pulpa kuafajı, amputasyon ve pulpatomi prosedürleri gibi vital pulpa tedavileri için yıllar boyunca birçok yöntem geliştirilmiş ve uygulanmıştır.^{57,58} Bu prosedürlerde, demineralize ve çürük dokular uzaklaştırıldıktan sonra pulpanın açığa çıkmasını veya açığa çıkan pulpanın dış etkenlerden etkilenmesini önlemek uygun bir materyalle kapatılması gereklidir.¹³ Ayrıca bu materyalin, pulpa dokusunun iyileşmesini ve tamir dentini yapımına devam etmesini sağlayacak düzeyde biyouyumlu olması gereklidir.^{36,59} Bu amaçla kullanılan materyalin antibakteriyel özellikte olması veya kavitenin çeşitli işlemlerle bakteriyel kontaminasyondan arındırılması önem arz etmektedir.⁴⁷ Açığa çıkan pulpaya lazer uygulaması ilk olarak Moritz ve ark., tarafından lazer ile dentin köprüsü oluşumunu uyarmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.⁶⁰ Son 5 yılda yapılan çalışmaların sonuçlarına göre direkt pulpa kuafajında lazerlerin kullanımı, dezenfeksiyon, biyostimülasyon ve hemostatik etki gibi birçok önemli avantajlara sahip olmaları nedeniyle önerilmiştir (Tablo-3).¹³

CO₂ lazerlerin tıbbi uygulamalarda, açık yaralardaki iyileşmeyi uyarıcı, hücre farklılaşması ve proliferasyonunu artırıcı etkisinden vital pulpa tedavilerinde de yararlanılmak istenmiştir.^{21,54,60} Yapılan az sayıda çalışmada açığa çıkan pulpa dokusuna CO₂ lazer uygulanarak, lazerin hemostatik etkinliği incelenmiştir. CO₂ lazerin enflamasyon oluşturmaksızın, pulpadan kaynaklı kanamayı ve eksüdayı kontrol etmekte etkili olduğu, ancak karbonizasyon etkisinden kaynaklı dentin köprüsü oluşumunda gecikmeye sebep olduğu veya daha düzensiz bir dentin köprüsü oluşturduğu saptanmıştır.²¹

Er:YAG ve Er-Cr:YSGG lazerleri hidroksiapatit ve su tarafından kolaylıkla absorbe edilebilmekte böylece termal yan etkileri asgari düzeyde gözlenmektedir.^{14,46} Er:YAG lazerin smear tabakasını kaldırabilme kabiliyeti sayesinde direkt pulpa kuafajında, sekonder bakteriyel kontaminasyondan oluşma ihtimali ortadan kaldırılmış ve yeterli bir dezenfeksiyon sağlanmış olmaktadır.⁴³ Wang ve ark. tarafından yapılan çalışmada derin çürüğe sahip dişlerde açığa çıkan pulpa dokusuna enfeksiyöz ajanları ortadan kaldırmak ve iyileşmeye yardımcı olmak amacı ile lazer uygulanmıştır. Dezenfeksiyon etkinliği %1 sodyum hipoklorit içeren bir ajanla karşılaştırılmış, 12 aylık takip sonunda lazer destekli direkt pulpa kuafajının diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu bildirilmiştir.⁴⁶

Tablo 3: Vital Pulpa Tedavilerinde Kullanılan Lazerlerin Etkinliğinin İncelendiği Klinik Çalışmalar

Yazarlar	Vital Pulpa Tedavi Yöntemi	Çürük Varlığı/ Yokluğu	Lazer	Lazer Parametreleri	Klinik Prosedür	Takip Süresi	Sonuç
Zhang ve ark. 2020	Direkt Pulpa Kuafajı	Derin Çürüklü Daimi dişler (n=50)	Diyot Lazer Fona Lazer (Fona Medical, İtalya)	Hemostaz için: 808 nm dalga boyu, 1,5W, fiber çap 320 µm, sürekli dalga ve temas modunda 2-3 mm başına 2 sn, vertikal ve horizontal hareketler ile uygulama yapılmıştır. Dezenfeksiyon için: 808 nm dalga boyu, 1W, 320 µm fiber çapı, sürekli dalga ve temas modunda 1 sn'de 2 mm. dairesel hareketler ile uygulama yapılmıştır.	Kontrol Grubu Filtek kompozit rezin (3M ESPE, MN, ABD) Lazer Grubu Lazer + Filtek (3M ESPE, MN, ABD)	1,6,12 ay	Kontrol grubu başarı oranı %73,3 Lazer grubu başarı oranı %89,4 Kontrol grubunda post-op hassasiyet mevcut iken lazer grubunda hassasiyet mevcut olmadığı bildirilmiştir.
Cengiz ve Yılmaz 2016	Direkt Pulpa Kuafajı	Derin Çürüklü Daimi Dişler (n=60) 38 premolar 22 molar	Er-Cr: YSGG Lazer Waterlase (Biolase Co, CA, ABD)	2780 nm dalga boyu, 0.5 W, 20 Hz frekans, Temassız modda, 140 µs'lik bir darbe süresi, 10 sn., %0 su ve %45 hava ile uygulama yapılmıştır.	Grup1: Dycal (Dentsply, Tulsa, ABD) Grup2: Lazer + DyCal Grup3: Theracal LC (Bisco, MN, ABD) Grup4: Lazer+Theracal	1 hafta, 1,3,6 ay	Her iki lazer grubunda da başarı oranları %100'dür. Er-Cr:YSGG lazer uygulanmış TheraCal grubu ve Er-Cr:YSGG lazer uygulanmış Ca(OH) ₂ grubu daha yüksek başarı oranları göstermiştir.
Suzuki ve ark. 2018	Direkt Pulpa Kuafajı	Çürüksüz Daimi 3.Molar Dişler (n=28)	CO2 Lazer Opelaser PRO (Yoshida Dental Tokyo, Japonya)	10600 nm dalga boyu, 0.5 W, 15sn ışınlama süresi, 0.15 - 1.09 mm ışın çapı, ekspoz sahadan 10-20 mm uzakta, Enerji yoğunluğu darbe başına 0.32 J/cm ² , toplam enerji 3.75 J, Hava soğutma sistemi ile uygulama yapılmıştır.	Lazer Grubu: 10600 nm Lazer+ Clearfil SE Bond Ca(OH) ₂ Grubu: Dycal (Dentsply, Tulsa, ABD) + Clearfil SE Bond (SE, Kuraray, Tokyo, Japonya)	1 hafta 3,6,12 ay	CO ₂ lazerin kullanımına bağlı olarak kalın denatürasyon tabakası ve karbonizasyon meydana gelmiştir. Bu etkiler düzensiz fibriller matris ve gecikmiş dentin köprüsü oluşumuna sebep olmuştur. Fakat 12 ayın sonunda iki grupta da tam bir dentin köprüsü oluşumu izlenmiştir.
Sharma ve ark. 2019	İndirekt Pulpa Kuafajı	Derin Çürüklü Daimi Molar Dişler (n=40)	Diyot Lazer Zolar (Mfg Co Inc. Kanada)	Dezenfeksiyon için: 980 nm dalga boyu, 1 W güç, 400 µm fiber çapı, Temas modunda, Dairesel mod ile 10 sn uygulama, 3 kez tekrar yapılmıştır.	Grup 1: RMCIS (Vitrebond, 3M ESPE, MN, ABD) Grup 2: Lazer + RMCIS Grup 3: Biodentine (Sepodont, CA, ABD) Grup 4: Lazer+Biodentin	3,6,12 ay	12 ay sonundaki takipte oluşan toplam dentin miktarı ortalaması en yüksek Lazer + Biodentine grubunda iken, onu sırasıyla Biodentine, Lazer + RMCIS ve RMCIS grupları takip etmiştir.
Arshad ve ark. 2019	İndirekt Pulpa Kuafajı	Derin Çürüklü Daimi Dişler (n=30)	Er-Cr:YSGG Lazer Water-lase iPlus (BioLase, CA, ABD)	2780 nm dalga boyu, 75-100 mJ, 1-1.5 Watt güç, 60 sn. temassız modda uygulama yapılmıştır.	Grup 1: Dycal Grup 2: Biodentine Grup 3: 2780 nm Er, Cr: YSGG Lazer	3,6,9 ay	9 ayın sonunda genel başarı oranı %86,6 olarak açıklanmıştır 3 grup arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.
Wang ve ark. 2020	Direkt Pulpa Kuafajı	Derin Çürüklü Daimi Dişler (n=47)	Er: YAG Lazer LightWalker AT (Fotona Co Ljubljana, Slovenya)	2940 nm dalga boyu, 15 Hz, 30 mJ, 0.6 mm uç ile kuru bir şekilde 15 sn. uygulama, Hemostaz sağlanana kadar 3-5 kez tekrarlanmıştır	Grup 1: Dycal (Dentsply, DE, ABD) Grup 2: 2940 nm Lazer + Dycal (Dentsply DE, USA)	3,6,12 ay	12 aylık takip sonunda lazer destekli direkt pulpa kuafajının geleneksel yöntemlere göre daha başarılı (%91,7) olduğu bildirilmiştir.
Kermanshah ve ark. 2020	Direkt Pulpa Kuafajı	Derin Çürüklü Daimi Dişler (n=26)	Er:YAG Lazer DEKA (Dekalase, Floransa, İtalya)	2940 nm. dalga boyu, 100mJ enerji, 10 Hz frekans, 450 mikro saniye darbe süresi, Açılan pulpaya minimum mesafede, 1mm fiber uç ile 10 sn. uygulama yapılmıştır.	Kontrol Grubu: Pro Root MTA (Dentsply, DE, ABD) Lazer Grubu: 2940 nm Lazer + Pro Root MTA (Dentsply, DE, ABD)	1,3,6 ay	Lazer grubu başarı oranı %75 kontrol grubu başarı oranı %93 olarak bildirilmiştir.

Kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) uzun yıllardır kullanılan ve altın standart olarak kabul edilen bir kuafaj materyalidir.^{13,14} Tersiyer dentin üretimini teşvik etmesi, doku onarımını geliştirmesi ve yüksek alkali pH'ı ile antibakteriyel etki sağlaması gibi birçok avantajı bulunmaktadır.¹³ Yapılan çalışmalarda lazerle birlikte uygulanan Ca(OH)_2 'in yeterli ve etkili bir materyal olduğu ve Mineral Trioksit Agregatlar (MTA) ile kıyaslandığında; MTA'nın dentini boyama problemini ortadan kaldırdığını, tedavi maliyetini düşürüp ve operasyon süresini kısalttığı bildirilmiştir.⁴⁶ Lazer uygulamasının ardından eksüdasyonun ve kanamanın tamamen kontrol altına alınmasıyla MTA 'nın sertleşmesi için uygun nemli ortam olmadığı için başarısının düştüğü iddia edilmiştir.⁴⁶

Klinik çalışmaların artmasıyla Ca(OH)_2 'nin bazı dezavantajlara sahip olduğu keşfedilmiştir.^{14,28} Bu dezavantajları arasında zayıf fiziksel özelliklere sahip olması, sitotoksik etki göstermesi, mikro sızıntıya sebep olması, Ca(OH)_2 tarafından oluşturulan dentin köprüsünde tünel defektlerinin tespit edilmesi ve dentin adezyonunda eksiklik bulunmaktadır. Bu dezavantajlarından ötürü uzun süreli etkisinde pulpa enfeksiyonu yaratma riski vardır.²⁸ MTA, dentin matriksinden büyüme faktörlerinin salınmasına neden olarak onarıcı dentin oluşumunu indüklemektedir.⁵⁹ Direkt pulpa kuafajında Er:YAG lazerin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, Er:YAG lazer ve MTA'nın direkt pulpa kuafajında uygulanmasının başarısını karşılaştırılmış ve MTA ile direkt pulpa kuafajı %93 başarı oranına sahip iken, Er:YAG lazer +MTA %95 başarı oranına sahip bulunmuştur. Her iki yöntemin de pulpa canlılığının korunması için kabul edilebilir olduğunu bildirilmiştir.⁶¹ Fakat MTA 'nın tek başına uygulandığında renklenmesinin yanı sıra yetersiz bir antibakteriyel etkinlik sağladığı iddia edilmiştir.^{46,61}

Ca(OH)_2 ve MTA'nın bu dezavantajları nedeniyle vital pulpa tedavileri için son dönemde alternatif materyaller geliştirilmiştir.^{13,58} Bioagregatlar (Biodentine, Sepodont, Fransa) ve trikalsiyum silikatlar (TheraCal LC, Bisco Dental, ABD) bu materyallerden bazılarıdır. Yapılan çalışmalarda alkali kostik etkiye sahip Biodentine, alttaki dentinin kollagen bileşeninin bozulmasına yol açarak, yüksek konsantrasyonlarda kalsiyum, hidroksil ve karbonat iyonlarının difüzyonunu kolaylaştıran ve mineral birikiminin artmasına neden olan porların oluşumuna yol açtığı belirtilmiştir.⁶² Vital pulpa hücrelerini tetikleyerek tersiyer dentin oluşumunu hızlandıran onarıcı etkilerinin yanı sıra Biodentine 'in antimikrobiyal bir etkinliği de vardır.⁵⁸ Yapılan bir çalışmada biodentinein antimikrobiyal etkinliğinin, lazerin dezenfeksiyon etkisi ile karşılaştırmak amaçlanmıştır. Derin dentin çürüklü dişlerde uygulanan indirekt pulpa kuafajı tedavisinin başarısının incelendiği çalışmalarda, kullanılan 980 nm dalga boyuna sahip diyet lazerle, 12 aylık takip sonucunda oluşan tamir dentini en çok lazer ile kombine uygulanan Biodentine grubunda gözlenmiştir.⁶²

Erbiyum lazer ailesinden bir başka lazer olan Er-Cr:YSGG lazer Cengiz ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada kullanılmıştır. Cengiz ve ark. tarafından yapılan çalışmada derin çürüklü dişlerde direkt pulpa kuafajı tedavisinde lazerin etkinliği Ca(OH)_2 ve TheraCal ile kombine edilerek karşılaştırılmıştır. Her iki lazer grubunda da başarı oranları %100 olup Er, lazer gruplarının sırasıyla TheraCal ve Ca(OH)_2 gruplarından istatistiksel olarak daha yüksek başarı oranlarına sahip olduğunu bildirmişlerdir.¹³

TheraCal LC 'nin MTA ve Ca(OH)_2 'den önemli ölçüde daha fazla kalsiyum iyonu saldırdığını ve onarıcı dentinin oluşumunu kolaylaştırdığını gösteren çalışmalar da mevcuttur.^{63,64} TheraCal LC 'nin Ca(OH)_2 ile karşılaştırıldığında daha kalın dentin köprüsü oluşturduğu ve daha hafif enflamasyon yarattığı bildirilmiştir.⁶³ Ayrıca TheraCal LC 'nin, MTA ve Biodentine 'den daha iyi sızdırmazlık sağlamakla birlikte daha iyi sitotoksitaya sahip olduğu bildirilmiştir.⁶⁴ Erbiyum lazer ailesinden indirekt pulpa kuafajı çalışmalarında da faydalanılmıştır. Arshad ve ark. yapmış oldukları çalışmada Ca(OH)_2 ve Biodentine materyallerini Er-Cr:YSGG lazeri ile birlikte indirekt pulpa kuafajı tedavisi uygulamışlardır. 9 aylık takibin sonunda genel başarı oranını %86 olarak bildirmişler ve üç grup arasında anlamlı bir fark olmadığını açıklamışlardır. Pulpa kuafajının başarısının, seçilen materyalden bağımsız olduğunu ve Er-Cr:YSGG lazerin bu prosedürde güvenle kullanılabileceğini bildirmişlerdir.¹⁴

Vital pulpa tedavilerinde en yaygın kullanılan lazer gruplarından bir tanesi de galyum-alüminyum-arsenid (GaAlAs) lazer (810 nm) ve indiyum galyum-arsenid (InGaAs) türevi diyet lazerdir (980 nm). Diyet lazerler son yıllarda vital pulpa tedavilerinde hem fotobiyomodülasyon hem de dezenfeksiyon etkileri sebebi ile sıklıkla tercih edilen lazerlerdendir.^{65,66} Diğer lazerlerin aksine, diyet lazerler dokuda daha derine iletilir ve vital dokularda hemostaz ve koagülasyon yapabilmektedir.⁶⁵ Zhang ve ark. tarafından yapılan çalışmada çürük dişlerde uygulanacak direkt pulpa kuafajı tedavisinde diyet lazerin dezenfeksiyon etkisinden faydalanılmak üzere 808 nm diyet lazer kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda direkt pulpa kuafajında diyet lazer kullanılması geleneksel yöntemlere kıyasla daha başarılı bulunmuştur.⁶⁶ Bidar ve ark. yaptıkları çalışmada, düşük seviyeli diyet lazer tedavisinin direkt pulpa kuafajındaki histolojik etkisini MTA ile kombine şekilde incelemişlerdir. Direkt pulpa kuafajı tedavisi gören dişlerde iyileşme sürecini geliştirmek için yapılan lazerle birlikte uygulanan MTA 'nın dentin köprüsü oluşumunu uyarması ve lazerin sahip olduğu dezenfeksiyon ve biyostimülasyon etkileri olduğunu bildirmişlerdir.³⁶

MTA ve Biodentine 'den farklı olarak lazerle birlikte uygulanan kalsiyum silikatların da vital pulpa tedavilerindeki başarısı oldukça yüksek bulunmuştur.⁴⁷ Derin çürüklü dişlerde direkt pulpa kuafajında lazer ve

Theracal LC etkinliğinin incelendiği çalışmalarda lazer uygulaması sonra Theracal LC uygulanan hastalarda soğuk uyarılara karşı hafif bir hassasiyet tespit edilirken lazer ve Theracal LC grubunda herhangi bir hassasiyet tespit edilmemiştir.^{13,47} Lazerin sahip olduğu fototermal ve biyostimülasyon etkisi ile tübüler sıvılardaki hidrodinamik hareketin azalması ve tübüllerin mineralize bir şekilde tıkanmasından kaynaklandığı iddia edilmiştir.⁴⁷

SONUÇLAR

Vital pulpa tedavilerinde, kavitenin açılmasında kullanılan teknik ve ekipmanlardan dezenfeksiyon ve hemostaz için kullanılan materyallere, pulpanın üzerini örtülemek amacı ile kullanılan kuafaj materyalinden seçilen daimî restorasyon materyaline kadar birçok fak-

törün prognozda rol oynadığı yadsınamaz bir gerçektir. Son beş yıl içerisinde yapılmış klinik çalışmalarda, dental lazerlerin pulpa kuafajında kullanımının başarıyı artırıcı bir rolü olduğu kabul edilmiştir. Özellikle kavite preparasyonu sırasında pulpal dokuya iletilen etki ve irritasyonların en aza indirgenmesi, dokunun canlılığını koruyabilmesi açısından son derece önemlidir. Asgari irritasyon ve minimal invaziv bir yaklaşımla gerçekleştirilen pulpa kuafajlarının başarı şansının daha yüksek olduğu bu çalışmalarda kanıtlanmıştır. Vital pulpa tedavilerinde kullanılan kapaklama materyalinden bağımsız olarak Er:YAG ve Diyet lazerlerin kullanımının klinik başarı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında, lazerlerin minimal irritasyon, biyositimülasyon, dezenfeksiyon ve hemostatik etkilerinin pulpa kuafajı tedavisinde başarıya daha fazla katkı sağladığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Asher Chiu, Yen-Wei Chen, Juri Hayashi, Alireza Sadr. Accuracy of CAD/CAM Digital Impressions with Different Intraoral Scanner Parameters. *Sensors* 2020 20;20:1157.
2. Shin Rozan, Rena Takahashi, Toru Nakaïdo, Antonin Tichy, Junji Tagami. CAD/CAM-fabricated inlay restorations: Can the resin-coating technique improve bond strength and internal adaptation? *Dent Mat J* 2020; 39: 941-949.
3. Fernanda Ferruzzi Lima, Constantino Fernandes Neto, José H. Rubo, Gildo Coelho Santos Jr, Maria Jacinta Moraes Coelho Santos. Marginal adaptation of CAD-CAM onlays: Influence of preparation design and impression technique. *J Prosthet Dent* 2018;120:396-402.
4. Şener BC, Uğurlu F. Diş Hekimliğinde Kullanılan Lazerler. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci Special Topics* 2012;3:7-12.
5. Luke AM, Mathew S, Altawash MM, Madan BM. Lasers: a review with their applications in oral medicine. *J Lasers Med Sci* 2019;10:324-329.
6. Komabayashi T, Ebihara A, Aoki A. The use of lasers for direct pulp capping. *J Oral Sci* 2015;57:277-286.
7. Convisar RA. Principles and Practice of Laser Dentistry. 2nd edition. Elsevier Publication. Londra. 2015.
8. Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Yukna RA, Takasaki A, et al. Periodontal & peri implant wound healing following laser therapy. *Periodont* 2000 2015;68:217-269.
9. Ozcan A, Sevimay M. Lasers in Dentistry. A Review. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci* 2016;22:122-129.
10. Miresmaeili A, Etrati Khosroshahi M, Motahary P, Rezaei-Soufi L, Mahjub H, Dadashi M, Effect of argon laser on enamel demineralization around orthodontic brackets: An in vitro study. *J Dent (Tehran)*. 2014;11:411-417.
11. Al-Maliky MA, Frentzen M, Meister J. Laser-assisted prevention of enamel caries: a 10-year review of the literature. *Lasers Med Sci* 2020;35:13-30.
12. Deutsch AS, Cohen BI, Musikant BL. Temperature change at the root surface when enlarging a root canal with a holmium: YAG (Ho:YAG) laser, using six different fiber-optic sizes. *Gen Dent* 2004;52:222-227.
13. Cengiz E, Yılmaz HG. Efficacy of erbium, chromium-doped: yttrium, scandium, gallium, and garnet laser, irradiation combined with resin-based tricalcium silicate and calcium hydroxide on direct pulp capping: a randomized clinical trial. *J Endod* 2016;42:351-355.
14. Arshad E, Gyanendra K, Dhillon JK. Comparative evaluation of clinical outcome of indirect pulp treatment with calcium hydroxide, calcium silicate and Er-Cr: YSGG laser in permanent molars. *Laser Ther* 2019;28:123-130.
15. Verma SK, Maheshwari S, Singh RK, Chaudhari PK. Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice. *Natl J Maxillofac Surg* 2012;3:124-132.
16. da Silva VRM, Viana IEL, Lopes RM, Zezell DM, Scaramucci T, Aranha ACC. Effect of Er-Cr: YSGG laser associated with fluoride on the control of enamel erosion progression. *Arch Oral Biol* 2019;99:156-160.
17. Korkut E, Torlak E, Gezgin O, Özer H, Şener Y. Antibacterial and smear layer removal efficacy of Er:YAG laser irradiation by photon-induced photoacoustic streaming in primary molar root canals: a preliminary study. *Photomed Laser Surg* 2018;36:480-486.
18. Naghsh N, Birang R, Shafiei F, Ghorbani F, Gutknecht N, Yaghini J. Comparative Evaluation of the Effects of CO₂ and Er:YAG Lasers on Smear Layer Removal and Blood Cell Attachment to Tooth Root Surfaces. *J Lasers Med Sci* 2020;11:74-80.

19. Dompe C, Moncrieff L, Matys J, Grzech-Leśniak K, Kocherova I, Bryja A, Photobiomodulation-underlying mechanism and clinical applications. *J Clin Med* 2020;9:1724-1735.
20. Ding Y, Xiao S, Yang H, Meng S. Application of Nd:YAG laser in stomatology. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 2015;33:445-450.
21. Suzuki M, Kato C, Kawashima S, Shinkai K. Clinical and histological study on direct pulp capping with CO2 laser irradiation in human teeth. *Oper Dent* 2019;44:336-347.
22. Luk K, Zhao IS, Yu OY, Zhang J, Gutknecht N, Chu CH. Effects of 10,600 nm carbon dioxide laser on remineralizing caries: A literature review. *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 2020;38:59-65.
23. Saibene AM, Rosso C, Castellarin P, Vultaggio F, Pipolo C, Maccari A, Managing benign and malignant oral lesions with carbon dioxide laser: indications, techniques, and outcomes for outpatient surgery. *Surg J* 2019;5:69-75.
24. Yoshino H, Hasuike A, Sanjo N, Sato D, Kubota T, Nagashima H, CO₂ Laser de-epithelization technique for subepithelial connective tissue graft: a study of 21 recessions. *In Vivo* 2020;34:869-875.
25. Gojkov-Vukelic M, Hadzic S, Zukanovic A, Pasic E, Pavlic V. Application of diode laser in the treatment of dentine hypersensitivity. *Med Arch* 2016;70:466-469.
26. Kathuria V, Dhillon JK, Kalra G. Low level laser therapy: a panacea for oral maladies. *Laser Ther* 2015;24:215-223.
27. Javed F, Kellesarian SV, Abduljabbar T, Gholamiazizi E, Feng C, Aldosary K. Role of laser irradiation in direct pulp capping procedures: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci* 2017;32:439-448.
28. Yamakawa S, Niwa T, Karakida T, Kobayashi K, Yamamoto R, Chiba R. Effects of Er:YAG and Diode Laser Irradiation on Dental Pulp Cells and Tissues. *Int J Mol Sci* 2018;19:2429-2451.
29. Dos Santos JA, Normando AGC, de Toledo IP, Melo G, De Luca Canto G. Laser therapy for recurrent aphthous stomatitis: an overview. *Clin Oral Investig* 2020;24:37-45.
30. Fernandes AP, Lourenço Neto N, Teixeira Marques NC, Silveira Moretti AB, Sakai VT, Cruvinel Silva T, Clinical and radiographic outcomes of the use of Low-Level Laser Therapy in vital pulp of primary teeth. *Int J Paediatr Dent* 2015;25:144-150.
31. Vahdatinia F, Gholami L, Karkehabadi H, Fekrazad R. Photobiomodulation in endodontic, restorative, and prosthetic dentistry: A review of the literature. *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 2019;37:869-886.
32. Pereira LO, Longo JP, Azevedo RB. Laser irradiation did not increase the proliferation or the differentiation of stem cells from normal and inflamed dental pulp. *Arch Oral Biol* 2012;57:1079-1085.
33. Arany PR, Cho A, Hunt TD, Sidhu G, Shin K, Hahm E. Photoactivation of endogenous latent transforming growth factor-beta1 directs dental stem cell differentiation for regeneration. *Sci Transl Med* 2014;6:238-269.
34. Moreira MS, Diniz IM, Rodrigues MF, de Carvalho RA, de Almeida Carrer FC, Neves II. In vivo experimental model of orthotopic dental pulp regeneration under the influence of photobiomodulation therapy. *J Photochem Photobiol B* 2017;166:180-186.
35. Giraud T, Jeanneau C, Rombouts C, Bakhtiar H, Laurent P, About I. Pulp capping materials modulate the balance between inflammation and regeneration. *Dent Mater* 2019;35:24-35.
36. Bidar M, Moushekhian S, Gharechahi M, Talati A, Ahrari F, Bojarpour M. The effect of low level laser therapy on direct pulp capping in dogs. *J Lasers Med Sci* 2016;7:177-183.
37. Ansari G, Chitsazan A, Fekrazad R, Javadi F. Clinical and radiographic evaluation of diode laser pulpotomy on human primary teeth. *Laser Ther* 2018;27:187-192.
38. Olivi G, Genovese MD, Maturo P, Docimo R. Pulp capping: advantages of using laser technology. *Eur J Ped Dent* 2007;2:89-95.
39. Deng Y, Zhu X, Zheng D, Yan P, Jiang H. Laser use in direct pulp capping: A meta-analysis. *J Am Dent Assoc* 2016;147:935-942.
40. Lusche I, Dirk C, Frentzen M, Meister J. Cavity disinfection with a 445 nm diode laser within the scope of restorative therapy: A pilot study. *J Lasers Med Sci* 2020;11:417-426.
41. Jain S, Mathur S, Jhingan P, Sachdev V. Evaluation of temperature rise and efficacy of cavity disinfection with diode laser: An *in vivo* study. *J Conser Dent* 2019;22:583-587.
42. Baraba A, Kqiku L, Gabrić D, Verzak Ž, Hanscho K, Miletić I. Efficacy of removal of cariogenic bacteria and carious dentin by ablation using different modes of Er:YAG lasers. *Braz J Med Biol Res* 2018;51:6872-6895.
43. Diniz IM, Teixeira KI, Araújo PV, Araujo MSS, Marques MM, Poletto LTA. Evaluation of antibacterial photodynamic therapy effects on human dental pulp cell cultures. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2014;11:300-306.
44. Yassaei S, Zandi H, Aghili H, Rafiei E, Mosayebi N. Evaluation of the effect of two types of laser on the growth of streptococcus mutans. *Laser Ther* 2018;27:119-123.
45. Saydjari Y, Kuypers T, Gutknecht N. Laser application in dentistry: Irradiation effects of nd:yag 1064 nm and diode 810 nm and 980 nm in infected

- root canals-a literature overview. *Biomed Res Int* 2016;2016:8421656.
46. Wang M, Ma L, Li Q. Efficacy of Er:YAG laser-assisted direct pulp capping in permanent teeth with cariously exposed pulp: A pilot study. *Aust Endod J* 2020;46:351-357.
 47. Yazdanfar I, Barekatin M, Zare Jahromi M. Combination effects of diode laser and resin-modified tricalcium silicate on direct pulp capping treatment of caries exposures in permanent teeth: a randomized clinical trial. *Lasers Med Sci* 2020;35:1849-1855.
 48. Umana M, Heyselaer D, Tielemans M, Compere P, Zeinoun T, Nammour S. Dentinal tubules sealing by means of diode lasers (810 and 980 nm): a preliminary in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2013;31:307-314.
 49. Poli R, Parker S, Anagnostaki E, Mylona V, Lynch E, Grootveld M. Laser analgesia associated with restorative dental care: A systematic review of the rationale, techniques, and energy dose considerations. *Dent J (Basel)* 2020;8:128-141.
 50. Panov V, Borisova-Papancheva T. Application of ultraviolet light (UV) in dental medicine. *J Med Dent Pract* 2015;2:194-200.
 51. Shigetani Y, Suzuki H, Ohshima H, Yoshida K, Yoshida N, Okiji T. Odontoblast response to cavity preparation with Er:YAG laser in rat molars: an immunohistochemical study. *Odontology* 2013;101:186-92.
 52. Acar YB, Biren S. Hızlandırılmış diş hareketinde düşük doz lazer kullanımı. *Eur J Res Dent* 2018;2:28-32.
 53. Nammour S, Tielemans M, Heyselaer D, Pilipili C, De Moor R, Nyssen-Behets C. Comparative study on dogs between CO2 laser and conventional technique in direct pulp capping. *Rev Belge Med Dent* 2009;64:81-86.
 54. Ser-Od T, Yasumoto M, Al-Wahabi A, Nakajima K, Murakami S, Matzuaka K. Effects of CO2 lasers on dental pulp biology in rats. *Photomed Laser Surg* 2016;34(4):157-163.
 55. Kara N, Selamet H, Benkli YA, Beldüz M, Gökmenoğlu C, Kara C. Laser therapy induces increased viability and proliferation in isolated fibroblast cells. *Wounds* 2020;32:69-73.
 56. Bergamo MT, Vitor LLR, Dionísio TJ, Marques NCT, Oliviera RC, Ambrosio ECP. Could the photobiomodulation therapy induce angiogenic growth factors expression from dental pulp cells? *Lasers Med Sci* 2021;36:1751-1758.
 57. Aguilar P, Linsuwanont P. Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *J Endod* 2011;37:581-587.
 58. Mahmoud SH, El-Negoly SA, Zaen El-Din AM, et al. Biodentine versus mineral trioxide aggregate as a direct pulp capping material for human mature permanent teeth - A systematic review. *J Conserv Dent* 2018;21:466-473.
 59. Nowicka A, Wilk G, Lipski M, Kolečki J, Buczkowska-Radlińska J. Tomographic evaluation of reparative dentin formation after direct pulp capping with Ca (OH) 2, MTA, biodentine, and dentin bonding system in human teeth. *J Endod* 2015;41:1234-1240.
 60. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Sperr W. Advantages of a pulsed CO2 laser in direct pulp capping: a long-term in vivo study. *Lasers in Surgery and Medicine* 1998;22:288-293.
 61. Kermanshah H, Omrani RL, Ghabraei S, Fekrazad R, Daneshparvar N, Bagheri P. Direct pulp capping with proroot MTA alone and in combination with Er:YAG laser irradiation: A clinical trial. *J Lasers Med Sci* 2020;11:60-66.
 62. Sharma N, Malik N, Garg Y, Singh H, Garg K, Bagaria A. Comparative evaluation of effect of lasers and biodentine in dentine regeneration: A clinical study. *J Contemp Dent Pract* 2019;20:434-443.
 63. Cannon M, Gerodias N, Viera A, Percinoto C, Jurado R. Primate pulpal healing after exposure and TheraCal application. *J Clin Pediatr Dent* 2014;38:333-337.
 64. Poggio C, Lombardini M, Colombo M, Beltrami R, Rindi S. Solubility and pH of direct pulp capping materials: a comparative study. *J Appl Bio Funct Mat* 2015;13: 181-185.
 65. Ortega CD, Cano DJA, Pena CJF, Paredes RVM, Gonzalez SJ, Lopez QJ. The application of diode laser in the treatment of oral soft tissues lesions. *J Clin Exp Dent* 2017;9:925-928.
 66. Pedano MS, Li X, Yoshihara K, Landuyt KV, Van Meerbeek B. Cytotoxicity and bioactivity of dental pulp-capping agents towards human tooth-pulp cells: a systematic review of in-vitro studies and meta-analysis of randomized and controlled clinical trials. *Materials (Basel)* 2020;13:2670-2685.
 67. Zhang B, Yang BB, Gao ZY, Li L, An H. Efficiency of diode laser-assisted methods in direct pulp capping of carious teeth. *Shanghai J Stomatol* 2020;29:554-556.