

Dental lazerler ve sert doku uygulamaları

Hasan Alper Uyar (*)

ÖZET

Lazerler, 20 yıldır kullanımda olmalarına ve yapılan çok sayıda bilimsel yayına karşın bir çok diş hekimi için büyük bir soru işareti olmaya devam etmektedir. Günümüzde lazerler, spesifik dalga boylarıyla geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Lazer uygulamaları, henüz kullanılan tedavi prosedürlerinin yerini alamazlar da, geleneksel metodlar için bir alternatif ve dişhekimliğinin önemli bir unsuru haline gelmiştir. Özellikle dental sert dokular üzerindeki etkileri ve kullanım olanakları üzerine çalışmalar devam etmektedir. Lazer teknolojisindeki gelişmelerle beraber her geçen gün lazerin dişhekimliğinde kullanımı ile ilgili olarak yeni olanaklar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada lazerlerin dental sert dokular üzerindeki uygulamaları ve bu prosedürlerin sınırları hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dental lazer, sert doku uygulamaları, Erbium: YAG, Karbondioksit Lazer.

SUMMARY

Epidemiology of intraocular injections

Despite of being on the market for over two decades and the numerous articles that have been published on the issue, dental lasers are still a question mark for most of the dentists. Nowadays, lasers with specific wavelengths have widespread uses. Laser procedures have not been considered as a primary treatment option, but can be used as an alternative method and have become an important part of the dental practice. Studies, subjecting the effects and possible indications on the dental hard tissues are ongoing. With developments in laser technology, abilities of the dental lasers are improving. The aim of this study is to give information about the applications and limitations of lasers on dental hard tissues.

Key words: Dental lasers, hard tissue procedures, Er:YAG, CO₂ laser.

Giriş

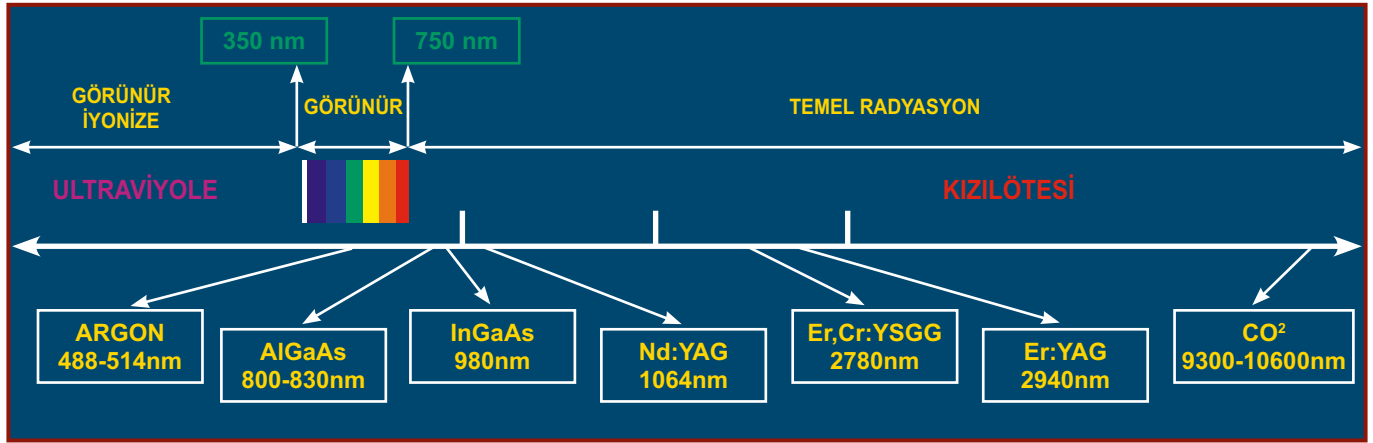
Lazerin temeli, 1900'lerin başında Danimarka'lı fizikçi Bohr'un şekillendirdiği kuantum mekaniği ve 1917'de Einstein'in oluşturduğu kontrol altındaki radyasyon teorilerine dayanır. 1958'de Townes ve Schawlow'un, MASER'de (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) kullanılan uyarılmış emisyonla amplifikasyon prensibini, elektromanyetik alanın görünen parçasına uygulamalarıyla LASER (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation) fikri ortaya çıkmıştır. İlk lazer cihazı olan "Ruby", 1960'da Maiman tarafından yapılmıştır (1). Sert ve yumuşak dokular üzerindeki etkilerinin ve kullanıma uygun parametrelerin belirlenmesinin amaçlandığı dental lazer araştırmaları da, bu gelişmeyi takip eden bir kaç yıl içinde başlamıştır. CO₂, Nd:YAG, Erbium (Er), Argon, Holmium (Ho) gibi diğer lazer tipleri henüz deneysel kaldıklarından, bu çalışmalarda o yıllarda rutin kullanımdaki tek lazer olan Ruby lazerden faydalanılmış, mineyi kesmek için gereken enerji seviyesinin pulpa açısından tehlike yarattığını gösteren bulgular elde edilmiştir (2). İntraoral uygulamalar için piyasaya sürülen ilk cihazlar CO₂ lazerlerdir. Bu cihazlar 1970 ve 80'ler boyunca kulak-burun-boğaz uzmanları ve cerrahlar tarafından kullanılmışlardır. Dişhekimliği için özel olarak dizayn edilen ilk cihaz, 1990'da yumuşak doku işlemleri için FDA onayı alınmış Nd:YAG lazerdir. Dental lazer cihazları için ayrıca 1991'de kompozit polimerizasyonu, 1995'te diş beyazlatma, 1997'de subgingival küretaj, çürük temizleme ve kavite preparasyonu, 1999'da ise çürüğün selektif ablasyonu işlemlerine FDA onayı alınmıştır (2, 3).

Günümüzde birçok farklı dalga boyunda ışın üreten cihazlar kullanılmaktadır (Tablo 1). Bu lazerler, 500-10600nm arasında değişen dalga boylarıyla elektromanyetik spektrumun görünür ve görünmez kızıl ötesi non-iyonize bölümüne dahildirler (Şekil 1).

*Mareşal Fevzi Çakmak Asker Hastanesi Diş Servisi

Aynı basım isteği: Uzm. DTbp. Yzb. H. Alper Uyar, Mareşal Fevzi Çakmak Asker Hastanesi Diş Servisi 25200 Erzurum
E-mail: dtuyar@yahoo.com

Makalenin geliş tarihi: 09.06.2010 • Kabul tarihi: 11.03.2011 • Çevrim içi basım tarihi: 28.03.2013



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrum.

Tablo I. Dalga boylarına göre dişhekimliğinde kullanılan bazı lazerler (1).

Lazer Tipi	Dalga Boyu	Kullanım Alanı
ArF (Argon Fluoride) Excimer	193 nm	Çürük temizliği, sert doku işlemleri, endodonti
KrF Excimer	248 nm	
XeCl (Xenon-Chloride) Excimer	308 nm	
Frequency Doubled Alexandrite	377 nm	Diştaşı temizliği
Argon Ion	488 nm	Yumuşak doku, Kompozit polimerizasyonu, Beyazlatma, Hipersensitivite tedavisi
Diode (Low level)	600-908 nm	Biyostimülasyon
Argon Pumped Dye	630 nm	
Helium-Neon	632 nm	
Ruby	694.3 nm	-
Diode (GaAlAs: Gallium-Aluminum-Arsenide, GaAs: Gallium-Arsenide)	800-830,904-950 nm	-Yumuşak doku (periodontal ve endodontik) işlemleri
Nd: YLF (Neodymium:YttriumLanthanum- Fluoride)	1053 nm	-Analjezi
Nd:YAG (Neodymium:Yttrium-Aluminum-Garnet)	1064 nm	-Beyazlatma
Nd:YAP (Neodymium:Yttrium-Aluminum-Perovskite)	1.34 µm	-Çürük ablasyonu
Ho:YAG (Holmium: Yttrium-Aluminum-Garnet)	2.12 µm	
Er:YSGG (Erbium:Yttrium-Scandium-Gallium-Garnet)	2.79 µm	Sert doku işlemleri, sınırlı yumuşak doku işlemleri
Er:YAG (Erbium:Yttrium-Aluminum-Garnet)	2.94 µm	
Carbon Dioxide ve TEA CO ₂	9.3, 9.6, 10.6µm	Yumuşak doku ve sert doku işlemleri

Dişhekimliğinde kullanılan lazerler, temel olarak yumuşak doku ve sert doku lazerleri olarak iki ayrı grupta incelenebilir.

A. Yumuşak Doku Lazerleri

Bu lazerler, ya CO₂ lazer gibi su tarafından yüksek emilim özellikleriyle ya da Argon, Diode ve Nd:YAG lazerlerde olduğu gibi dokunun pigmentasyon seviyesi üzerinden etkili olurlar. Bu durum, CO₂ lazer enerjisinin doku sıvıları tarafından emilimine ve yüzeyin altına penetrasyonunun minimumda kalması, diğer yandan suyun Nd:YAG lazer için göreceli

olarak geçiren olması nedeniyle derin dokulara penetrasyonuna imkan vermektedir (2-7).

B. Sert Doku Lazerleri

Erbium Lazerler (Er:YAG, Er,Cr:YSGG, Cr: YSGG)

Yüksek su absorpsiyonu özelliği olan Er:YAG lazerler 1997'de kullanıma girene kadar diğer lazerlerle dental sert dokular üzerinde termal veya mekanik yan etkilere yol açmadan madde uzaklaştırılmamıştır (3). Erbiumla işlenmiş Yttrium, Alüminyum, Garnet katı kristal aktif ortam kullanan lazerin dalga boyu 2940nm olup serbest pulsed modda çalışır ve eklemli

kollarla veya şeffaf uç (waveguide) ile iletilir (8). Bu dalga boyu 100-500µs'lik atımlarla birkaç µm kalınlığında absorpsiyon katmanı içinde çok hızlı bir su buharlaşmasına, bunu takiben de lokal dokuda madde kaybına neden olur. Erbium lazerler sert dokuda rutin olarak, kavite preparasyonunda ve çürüğün selektif olarak temizlenmesinde kullanılmaktadırlar (9-12). Yumuşak dokuda kullanımları sınırlıdır (13-15).

CO₂ ve TEA (Transversely Excited Atmospheric Pressure) CO₂ Lazerler

Dört farklı dalga boyunda (9,3/ 9,6/ 10,3 ve 10,6 µm) CO₂ lazer bulunmaktadır. CO₂ lazerler, tüm yumuşak ve sert biyolojik dokular tarafından yüksek oranda absorbe edilir. Özellikle oral kavitedeki yumuşak dokularda olduğu gibi yüksek su içeriğine sahip dokular üzerinde çok etkilidirler. Mine, dentin ve sement, hidroksiapatit kristallerini oluşturan fosfat, karbonat ve hidroksil grupları nedeniyle spektrumun kızıl ötesi bölgesinde 9- 11µm arasındaki dalga boylarına yüksek afinite gösterirler (16). CO₂ lazerler, sahip oldukları daha yüksek güç, istikrarlı ve kolay kontrol edilebilir ışık parametreleri gibi özellikleriyle Er:YAG lazerlere göre teknik avantajlara sahiptir (17, 18). Devamlı dalgalı ve uzun pulse süreli 10600nm dalga boylu CO₂ lazerlerle yapılan erken dönem çalışmalarda sert dokuların yüksek mineral içeriği ve hızlı ısı yayılımı özelliklerinden dolayı dokuda ağır termal hasarlar olduğu gözlenmiştir (19-21). Kısa pulse zamanlı TEA (*transversely excited*) CO₂ lazerlerin geliştirilmesiyle bu lazerin farklı dalga boyları ile, su-hava soğutması altında pulpada termal hasara yol açmadan kemik ve diş ablastonu yapılabildiği bildirilmiştir (20, 22, 23). Elde edilen ablaston değerleri mine üzerinde Erbium lazerlerle sağlanan ablaston etkinliğinden üstündür. CO₂ lazerler atım tekrar sayısını Erbium lazerler kadar kısıtlamadığından; yüksek hızlı döner aletlerin kesim hızlarına yakın değerlere (0.1-1mm³/s) ulaşılabileceği gösterilmiştir (18). TEA CO₂ lazerlerle de çürük temizliği yapılabilmekte ve kavite açılabilir (16, 24). Bu işlemler sonrasında sert dokuların, çürüğe daha dirençli hale geldikleri saptanmıştır (25, 26). Ayrıca bu lazerler hipersensitivite tedavisinde de kullanılabilirler (27).

Sert Doku Uygulamaları

1.Çürük İnhibisyonu, Temizliği ve Teşhisi: Diş sert dokularının daha dirençli yüzeyler haline getirilmek üzere lazere maruz bırakılmaları çürükten korunmada bir metod olarak öne sürülmektedir. Bu alanda

Nd:YAG, Er:YAG, Argon ve farklı CO₂ dalga boylarının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (19, 28- 30). Laser ışınına maruz kalan dişte kalsiyum/fosfat oranı modifiye olurken, karbonat/fosfor oranı düşmekte ve asitle çözülmeye daha dayanıklı bileşikler oluşmaktadır (15). Laser uygulanan bölgenin organik, su ve karbonat içeriğinde belirgin miktarda kayıp olurken mine ve dentin yüzeylerinde erime ve birleşme meydana gelerek demineralizasyona daha dirençli bir yapı ortaya çıkar. Günümüzde Erbium lazerler selektif çürük temizliği için alternatif tedavi yöntemi olarak görülmeye başlanmıştır (13). Çürüğün erken dönemde teşhisi için *Lazer Spektroskopik Karies Diagnozu Yöntemi* geliştirilmiştir. Sistem, kullanılan Argon lazer ışığının dişte çürük ve sağlam doku yüzeylerinde sebep olduğu farklı floresan ışımalarının bir foto alıcı yardımıyla bilgisayara iletilerek gösterilmesi şeklinde çalışmaktadır (31).

2.Sert Doku Ablasyonu ve Kavite Preparasyonu:

Pratikte düşük madde kaldırma hızı ve oluşan doku hasarı, lazerlerin birçok sert doku uygulamasında kullanımını sınırlamıştır. Keller (32), su soğutmasıyla yapılan lazer preparasyonun konvansiyonel yöntemlere alternatif olduğunu söylemiş, su soğutması yapıldığında intrapulpal ısı artışının kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını göstermiştir. Levy ve ark.(33)'nın yaptıkları çalışmada da diş kesiminde aerotor başlığı ve frez kullanımının Er,Cr:YSGG lazere göre 3,7 kat daha fazla etkin olduğu, ancak lazerin minimal termal zarar vererek daha temiz bir mine yüzeyi bıraktığı belirtilmiştir. Çok sayıda bilimsel ve klinik çalışmanın ardından 1997'de Er:YAG lazerler, sert doku işlemleri için FDA onayı almıştır. Benzer bir lazer olan Er:YSGG (2,79µm) de dental dokular üzerinde aynı etkileri gösterir (34). Lazerin diş sert dokularınca zayıf absorpsiyonu, yüksek enerji kullanımını gerektirir ki bu durum intrapulpal hasara sebep olabilecek bir ısı birikimi oluşturur. Ancak su soğutması altında yapılan kavite preparasyonu ve çürük temizliği işlemleri sırasında meydana gelen intrapulpal sıcaklık değişimleri hasara yol açmamaktadır (35- 38). Aynı durum CO₂ lazer uygulamalarında da ortaya çıkar. Ancak bu konuda Erbium lazerler üzerinde yapıldığı kadar araştırma bulunmamaktadır. CO₂ lazerlerin dental sert dokular üzerinde kullanımının uygun olmadığı düşüncesi yakın zamanlı araştırmalarda su soğutmasının yanında spesifik enerji seviyesi, atım süresi ve tekrar hızı parametrelerinin kullanılmasıyla değişmektedir. Literatürde, su soğutması kullanıldığında

CO₂ lazerin de pulpa üzerinde termal hasara yol açmadan kullanılabilceğini gösteren çalışmalar yer almaktadır (20, 22, 26).

Lazerlerin sağladığı bir diğer avantaj da sert doku işlemlerinde ender olarak anestezi gerekmesidir. Uygulama sırasında hasta rahatsızlığının artması durumunda cihaz üzerinden enerji seviyesi ve atım sıklığı azaltılarak ya da defoküse çalışılarak bu rahatsızlık giderilebilmektedir.

3.Hipersensitivite Tedavisi: Dentin hipersensitivite-i için kullanılan lazerler düşük enerjili ve orta enerjili lazerler olmak üzere iki grupta incelenebilir. Düşük enerjili lazerler (*He-Ne, GaAlAs [Diode]*); sinirdeki C-fiber afferentleri bloklayarak sinir geçişini baskılaması sonucu analjezi yaratarak dişteki hassasiyeti engellemektedirler. Günümüzde bu amaçla sıklıkla diode lazerler, 780, 830 ve 900nm olmak üzere üç ayrı dalga boyunda kullanılmaktadır.

Orta enerjili lazerler olan Nd:YAG, Er:YAG ve CO₂ lazerler de hipersensitivite tedavisinde kullanılmaktadır. Nd:YAG lazer; hem dentin tübüllerini tıkararak veya daraltarak hem de direkt sinir analjezisine yol açarak etki eder (39, 40). Er:YAG lazer; dentin tübül ağzlarında erimeye ve dentinde rekristalizasyona yol açarak etki eder. Ancak bazı araştırmacılar Nd:YAG lazere göre hipersensitivite tedavisinde daha başarısız bulmuşlardır (41). CO₂ lazer de etkisini büyük ölçüde dentin tübüllerinin tıkanması yoluyla gösterir (27, 42).

4.Yüzey Pürüzlendirmesi (Laser Etching): Lazer uygulaması sonrası mine yüzey morfolojisi, mikropatlamalara bağlı olarak düzensiz ve pürüzlü bir şekil alır. Ortaya çıkan bu yüzeyin pürüzlülük karakteri, asitle pürüzlendirme sonrasında görüldenden farklıdır. Konvansiyonel yöntem, prizma ve sınırlarının izlendiği homojen bir yapı oluştururken lazer uygulaması ardından farklı büyüklükte ve derinlikte yüzey şekilleri ortaya çıkar (43). Lazere maruz kalan yüzeyin pürüzlülük miktarı artmaktadır. Pürüzlülük değerinin, konvansiyonel pürüzlendirme yöntemine göre daha düşük kaldığını gösteren çalışmalar olduğu kadar daha yüksek olduğunu ileri süren çalışmalar da bulunmaktadır (10, 44, 45). Yüzeyde meydana gelen morfolojik değişikliklerin, ortaya çıkan düzensiz boyutlu ve şekilli yapıların, diş yüzeyi ve restoratif madde arasındaki retansiyonu arttırdığı ve Erbium lazerlerin pürüzlendirme amaçlı kullanılabilceği ileri sürülmektedir (46, 47). Ancak literatürde, Erbium lazerle elde edilen yüzeydeki aşırı düzensizliğin ve fissürleşmenin, mikro-mekanik retansiyonu etkileye-

ceğini ve adezyon açısından dezavantajlı olduğunu belirten araştırmalar da yer almaktadır (13, 23, 48). Bazı araştırmacılar, lazer uygulamasını takiben yapılacak asitle pürüzlendirme işlemi sonunda en yüksek bağlanma kuvveti değerlerine ulaşıldığını bildirmişlerdir (49, 50).

CO₂ lazerle yapılan mine yüzeyi modifikasyonlarının diş-restorasyon arasındaki bağlanma kuvveti üzerindeki etkisinin incelendiği çalışma sayısı azdır. Walsh ve ark.(51)'nin yaptığı çalışmada, lazer pürüzlendirmesinin bağlanma kuvvetinin asitle pürüzlendirmeden yüksek olduğunu saptamışlardır. Whitters ve Strang (20)'a göre, CO₂ lazer ve asitle pürüzlendirme kombinasyonu, Er:YAG lazer ve konvansiyonel yöntem arasında bağlanma güçleri açısından anlamlı bir fark yoktur. CO₂ lazerin pürüzlendirme amacıyla kullanıldığı iki çalışmada ise, CO₂ lazer uygulanan grubun bağlanma kuvveti, konvansiyonel yöntemlere göre istatistiksel olarak düşük bulunmuştur (52, 53).

5.Beyazlatma (Laser Bleaching): Lazerle beyazlatmanın amacı; en uygun enerji kaynağını kullanarak etkili bir power bleaching süreci sağlarken herhangi bir yan etkiye sebebiyet vermemektir. Bleaching uygulamasında Argon, CO₂ ve GaAlAs diode ve Nd:YAG lazerler kullanılabilmekte ve tetrasiklin kaynaklı olanlar dahil tüm renklenmeler giderilebilmektedir (1, 40).

6.Diştaşı Temizliği: Lazer uygulanarak konvansiyonel detertrajın kolaylaştırılmasının yanında işlem, bizzat lazerle spesifik olarak da yapılabilir. Bu amaçla kullanımı üzerine çalışılan Nd:YAG, Er:YAG, CO₂, XeCl ve Alexandrite lazerlerin içinde en etkili olanının selektif diştaşı temizliği yapabilen Alexandrite lazer olduğu görülmüştür. Bu lazer, işlem sırasında diş yüzeylerine zarar vermez (2, 8, 54).

7.Endodontik Uygulamalar: Fiber optik iletim sistemlerinin ortaya çıkmasıyla lazerlerin kanal gibi dar bir alanda kullanım olanakları araştırılmaya başlanmıştır. Endodontik amaçla kullanım için üzerinde çalışılan lazerler; CO₂, XeCl, Argon, Nd:YAG, Er:YAG, Er:YSGG, Ho:YAG, Nd:YAP ve diode lazerlerdir. Kanalin temizlenmesi ve dezenfeksiyonu, pulpotomi ve pulpektomi, apeksin tıkanması, kanal dolgu maddelerinin polimerizasyonu gibi işlemler lazerlerle gerçekleştirilebilmektedir (54, 55).

8. Kemik Ablasyonu: Günümüzde, Er:YAG ve CO₂ lazerler, kanama kontrolü sorunlarının olacağı, hassas ve kontrollü çalışma gereken maksillofasiyal cerrahi vakalarında kullanılabilirler (56, 57). Bunların

yanında uygun fiber uçlar sayesinde eklem içlerine ulaşmak mümkün hale gelmiş atroskopik operasyonlar yapılmaya başlanmıştır.

9.Analjezi: Lazerle klinik olarak etkin şekilde sağlanan analjezinin mekanizması tam olarak açıklanamamaktadır. Ancak bununla ilgili pek çok teori bulunmaktadır (40).

Sonuç

Lazerlerin dişhekimliğinde kullanımı, piyasaya ilk sunuldukları 1990'lardan itibaren giderek genişlemiş, özellikle son yıllarda daha etkin ve daha ucuz cihazların ortaya çıkışıyla bu genişleme hız kazanmıştır. Artık mevcut konvansiyonel yöntemlerle birlikte belirli prosedürleri kolaylaştıracak şekilde kullanılmalarnın yanı sıra konvansiyonel yöntemlerle yapılması mümkün olmayan yeni tekniklerin oluşmasına da zemin hazırlamaktadırlar.

Kaynaklar

1. Sulieman M. An overview of the use of lasers in general dental practice: 2. Laser wavelengths, soft and hard tissue clinical applications. *Dent Update* 2005; 32: 286-8, 291-4, 296.
2. Gimbel CB. Hard tissue laser procedures. *Dent Clin N Am* 2000; 44: 931-953.
3. Sulewski JG. Historical Survey of Laser Dentistry. *Dent Clin Nort Am* 2000; 44: 717-752.
4. Wigdor HA, Walsh JT, Featherstone JDB, Visuri SR, Fried D, Waldvogel JL. Lasers in Dentistry. *Lasers Surg Med* 1995; 16: 103-133.
5. Wilder-Smith P, Dang J, Kurosaki T. Investigating the range of surgical effects on soft tissue produced by a CO₂ laser. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 583-588.
6. Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA. Clinical application of erbium:YAG laser in periodontology. *J Int Acad Periodontol* 2008; 10: 23-30.
7. Yagüe-García J, España-Tost AJ, Berini-Aytés L, Gay-Escoda C. Treatment of oral mucocele - scalpel versus CO₂ laser. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2009;14: 469-74.
8. Coluzzi DJ. An overview of laser wavelengths used in dentistry. *Dent Clin N Am* 2000; 44: 753-766.
9. Aoki A, Ishikawa T, Yamada M, Otsuki M, Watanabe H, Tagami J, Ando Y, Yamamoto H. Comparison between Er:YAG laser and conventional technique for root caries treatment in vitro. *J Dent Res* 1998; 77: 1404-1414.
10. Arcoria CJ, Lippas MG, Vitasek BA. Enamel surface roughness analysis after laser ablation and acid-etching. *J Oral Rehabil* 1993; 20: 213-224.
11. Firoozmand L, Faria R, Araujo MA, di Nicolo R, Huthala MF. Temperature rise in cavities prepared by high and low torque handpieces and Er:YAG. *Brit Dent J* 2008; 205, E1: 28-9.
12. Geraldo-Martins VR, Tanji EY, Wetter NU, Nogueira RD. Intrapulpal temperature during preparation with the Er:YAG laser: an in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2005; 23: 182-6.
13. Gonçalves M, Corona SA, Borsatto MC, Silva PCG, Pecora JD. Influence of the frequency of Er:YAG laser on the bond strength of dental enamel. *J Clin Laser Med Surg* 2003; 2: 105-108.
14. Hadley J, Young DA, Eversole LR, Gornbein JA. A laser-powered hydrokinetic system for caries removal and cavity preparation. *J Am Dent Assoc* 2000; 13: 777-785.
15. Apel C, Schafer C, Gutknecht N. Demineralization of Er:YAG and Er,Cr:YSGG Laser-prepared enamel cavities in vitro. *Caries Res* 2003; 37: 34-37.
16. Moshonov J, Stabholz A, Bar-Hilel R, Peretz B. Chemical analysis and surface morphology of enamel and dentin following 9.6µm CO₂ laser irradiation versus high speed drilling. *J Dent* 2005; 33: 427-432.
17. Eversole LR, Rizoio I, Kimmel AI. Pulpal response to cavity preparation by an erbium,chromium:YSGG laser-powered hydrokinetic system. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 1099-1106.
18. Freitas PM, Navarro RS, Barros JA, Paula-Eduardo C. The use of Er:YAG laser for cavity preparation: A SEM evaluation. *Micros Res Tech* 2007; 70: 803-808.
19. McCormack SM, Fried D, Featherstone JDB, Glana RE, Seka W. Scanning electron microscope observations of CO₂ laser effects on dental enamel. *J Dent Res* 1995; 74: 1702-1708.
20. Whitters CJ, Strang R. Preliminary investigation of a novel Carbon Dioxide laser for applications in dentistry. *Laser Surg Med* 2000; 26: 262-269.
21. Wigdor H, Abt E, Ashrafi S, Walsh JT Jr. The effect of lasers on dental hard tissues. *J Am Dent Assoc* 1993; 124: 65-70.
22. Lian HJ, Lan WH, Lin CP. The effects of cooling systems on CO₂-lased human enamel. *J Clin Laser Med Surg* 1996; 14: 381-384.
23. Eguro T, Maeda T, Tanabe M, Otsuki M, Tanaka. Adhesion of composite resins to enamel irradiated by Er:YAG laser: application of ultrasonic scaler on irradiated surfaces. *Lasers Surg Med* 2001; 28: 365-370.
24. Müllejans R, Eyrich G, Raab WHM, Frentzen M. Cavity preparation using a superpulsed 9.6-µm CO₂ laser—A Histological Investigation. *Lasers Surg Med* 2002; 30: 331-336.
25. Konishi N, Fried D, Staninec M, Featherstone JD. Artificial caries removal in inhibition of artificial secondary caries by pulses CO₂ laser irradiation. *Am J Dent* 1999;12:313-316.
26. Steiner-Oliveira C, Rodrigues, IK, Soares LE, Martin AA, Zezell DM, Nobre-dos-santos M. Chemical, morphological and thermal effects of 10,6-microm CO₂ laser on the inhibition of enamel demineralization. *Dent Mater J* 2006; 25: 455-462.
27. Slutzky-Goldberg I, Nuni E, Nasralla W, Stabholtz A, Moshonov J. The effect of CO₂ laser on the permeabil-

- ity of dentinal tubules: a preliminary in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2008; 26: 61-64.
28. Hossain M, Nakamura Y, Kimure Y, Yamada Y, Kawanaka T, Matsumoto K. Effect of pulsed Nd:YAG laser irradiation on acid demineralization of enamel and dentin. *J Clin Laser Med Surg* 2001;19:105-108.
 29. Blankenau RJ, Powel GI, Ellis RW, Westerman GH. In vivo caries-like prevention with argon laser: Pilot study. *J Clin Laser Med Surg* 1999;17:241-243.
 30. Hossain M, Nakamura Y, Kimura Y, Yamada Y, Ito M, Matsumoto K. Caries-Preventive Effect of Er: YAG Laser Irradiation with or without Water Mist. *J Clin Laser Med Surg* 2000; 18: 61-65.
 31. Barberia E, Marato M, Arenas M, Cardoso Silva C, A clinical study of caries diagnosis with a laser fluorescence system, *J Am Dent Assoc* 2008;139;572-579.
 32. Keller U, Hibst R, Geurtsen W, Schilke R, Heidemann D, Klaiber B. Erbium:YAG laser application in caries therapy: Evaluation of patient perception and acceptance. *J Dent* 1998; 26: 649-656.
 33. Levy G, Koubi GF, Miserendino LJ. Cutting efficiency of a mid-infrared laser on human enamel. *J Endodon* 1998; 24: 97-101.
 34. Harashima T, Kinoshita J, Kimura Y, Brugnera A, Zanin F, Pecora J, Matsumoto K. Morphological comparative study on ablation of dental hard tissues at cavity preparation by Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers. *Photomed Laser Surg* 2005; 23: 52-55.
 35. Attrill DC, Davies RM, King TA, Dickinson MR, Blinkhorn AS. Thermal effects of the Er:YAG laser on a simulated dental pulp: a quantitative evaluation of the effects of a water spray. *J Dent* 2004; 32: 35-40.
 36. Cavalcanti BN, Lage-Marques JL, Rode SM. Pulpal temperature increases with Er:YAG laser and high speed handpieces. *J Prosthet Dent* 2003; 90: 447-451.
 37. Freitas PM, Soares-Geraldo D, Biella-Silva AC, Silva AM, da Silveira BL. Intrapulpal temperature variation during Er,Cr:YSGG enamel irradiation on caries prevention. *J Appl Oral Sci* 2008; 16: 95-99.
 38. Park NS, Kim KS, Kim ME, Kim YS, Ahn SW. Changes in intrapulpal temperature after Er:YAG laser irradiation. *Photomed Laser Surg* 2007; Jun, 25 (3): 229-232.
 39. Kimura Y, Wilder-Smith P, Yonaga K, Matsumoto K. Treatment of dentine hypersensitivity by lasers: a review. *J Clin Periodontol* 2000; 27: 715-721.
 40. Myers TD. The pulsed Nd:YAG dental laser: Review of clinical applications. *J Calif Dent Assoc* 1991; 19: 25-29.
 41. Birang R, Poursamimi J, Gutknecht N, Lampert F, Mir M. Comparative evaluation of the effects of Nd:YAG and Er:YAG laser in dentin hypersensitivity treatment. *Lasers Med Sci* 2007; 22: 21-24.
 42. Zhang C, Matsumoto K, Kimura Y, Harashima T, Takeda FH, Zhou H. Effects of CO2 laser in treatment of cervical dentinal hypersensitivity. *J Endod.* 1998; 24: 595-597.
 43. Hobson RS, Rugg-Gunn AJ, Booth TA. Acid etch patterns on the buccal surface of human permanent teeth. *Archives of Oral Biology* 2002; 47: 407-412.
 44. Ying D, Chuah GK, Hsu CY. Effect of Er:YAG laser and organic matrix on porosity changes in human enamel. *J Dent* 2004; 32: 41-46.
 45. Nakamura Y, Hossain M, Yamada Y, Masuda YM, Jayawardena JA, Matsumoto K. Basic study of morphological changes and surface roughness of cavities prepared by TEA CO2 laser irradiation *Photomed Laser Surg* 2006; 24: 503-507.
 46. Usumez A, Aykent F. Bond strengths of porcelain laminate veneers to tooth surfaces prepared with acid and Er,Cr:YSGG laser etching. *J Prosthet Dent* 2003; 90: 24-30.
 47. Başaran G, Özer T, Berk N, Hamamcı O. Etching enamel for orthodontics with an Erbium,Chromium:Yttrium-Scandium-Gallium-Garnet Laser System. *Angle Ort* 2007; 77: 117-123.
 48. Martínez-Insua A, Da Silva Dominguez L, Rivera FG, Santana-Penín UA. Differences in bonding to acid-etched or Er:YAG-laser-treated enamel and dentin surfaces. *J Prosthet Dent.* 2000; 84: 280-8.
 49. Svizero NR, Carvalho RS, Domingues LA, Pegoraro CN, Francischone CE, Rocha MCA. Shear bond strength of resin composite to enamel treated with Er:YAG laser and phosphoric acid. *Cienc Odontol Bras* 2007; 10: 13-18.
 50. Sasaki LH, Lobo PDC, Moriyama Y, Watanabe LS, Villaverde AB, Tanaka CS, Moriyama EH, Brugnera A. Tensile bond strength and SEM analysis of enamel etched with Er:YAG laser and phosphoric acid: A comparative study in vitro. *Braz Dent J* 2008; 19: 57-61.
 51. Walsh LJ, Abood D, Brockhurst PJ. Bonding of resin composite to carbondioxide laser-modified human enamel. *Dent Mater* 1994; 10: 162-166.
 52. Obata A, Tsumura T, Niwa K, Ashizawa Y, Deguchi T, Ito M. Super pulse CO₂ laser for bracket bonding and debonding. *Eur J Orth* 1999; 21: 193-198.
 53. Fuhrmann R, Gutknecht N, Magunski A, Lampert F, Diedrich P. Conditioning of enamel with Nd:YAG and CO₂ laser systems and with phosphoric acid. *J Orofac Orthop* 2001; 62: 375-386.
 54. Todea CDM. Laser applications in conservative dentistry. *TMJ* 2004; 54: 392-405.
 55. Parker S. Surgical laser use in implantology and endodontics. *Br Dent J* 2007; 202: 377-386.
 56. Papadaki M, Doukas A, Farinelli WA, Kaban L, Troulis M. Vertical ramus osteotomy with Er:YAG laser: a feasibility study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007; 36: 1193-1197.
 57. Stubinger S, von Rechenberg B, Zeilhofer HF, Sader R, Landes C. Er:YAG laser osteotomy for removal of impacted teeth: clinical comparison of two techniques. *Lasers Surg Med* 2007; 39: 583-588.