

Kariologie und Kavitätenpräparation mit dem Er:YAG-Laser



Norbert Gutknecht

Schlüsselwörter

Erbiumlaser, Er:YAG, Er,Cr:YSGG, Kavitätenpräparation, Kariologie, Übersichtsartikel

Zusammenfassung

Zwanzig Jahre nach den ersten Experimenten im Bereich der Kavitätenpräparation mit einem Er:YAG-Laser und 10 Jahre nach der offiziellen Zulassung durch die FDA (Food and Drug Administration) zur Kariesentfernung, Kavitätenpräparation und Schaffung von retentiven Oberflächen auf Schmelz und Dentin mit einem Er:YAG-Laser, sind viele neue Erkenntnisse auf diesem Gebiet gewonnen worden. Zahlreiche wissenschaftliche Artikel berichten über die verschiedensten Anwendungsbereiche von Er:YAG-Lasern in der Zahnheilkunde wobei die Hartgewebearbeitung im Mittelpunkt steht. Mit diesem Artikel soll ein systematischer Überblick über die Ergebnisse in den unterschiedlichsten Bereichen gegeben werden.

Einleitung

In dem ersten Teil dieses Artikels wird ein Überblick über die Hauptindikationen des Er:YAG-Lasers in der Zahnheilkunde gegeben und mit den konventionellen Methoden verglichen. Alle Indikationen und Kontraindikationen werden aus evidencebasierter Sicht beleuchtet und diskutiert.

Übersicht über den biophysikalischen Hintergrund

Die Wechselwirkung zwischen Laserlicht und bestrahltem Gewebe hängt ausschließlich von den optischen Eigenschaften des bestrahlten Gewebes ab. Deshalb ist die genaue Kenntnis der Zusammensetzung von Schmelz und Dentin notwendig, um die adäquate Wellenlänge zur Bearbeitung dieser Gewebestrukturen auswählen zu können¹. Schmelz setzt sich aus 85%^{1*} anorganischen Mine-

ralien, aus 12% Wasser und 3% organischen Materialien zusammen. Dentin dagegen besitzt nur einen 47%-igen Anteil anorganischer Mineralien, der Wasseranteil liegt bei 20%, der Anteil an organischen Materialien beträgt 33%². Bei dem Auftreten von Karies – speziell im Dentin – sinkt der Anteil an anorganischen Materialien weiter und im Gegenzug finden sich erhöhte Anteile an Wasser und organischen Bestandteilen. Auf Grund dieser spezifischen Zusammensetzung von Schmelz und Dentin kommen nur zwei Wellenlängenbereiche des mittleren infraroten Spektralbereiches zu deren Bearbeitung in Frage. Es handelt sich dabei zum einen um die Gruppe der Erbiumlaser mit Emissionswellenlängen um 3 μm , insbesondere Er,Cr:YSGG-Laser (2,78 μm) und Er:YAG-Laser (2,94 μm), sowie zum anderen um die CO₂-Wellenlängen 9,3; 9,6; 10,3 und 10,6 μm . Bei den Erbiumlasern steht die hohe Absorption im Wasser im Vordergrund und an zweiter Stelle die Absorption im Hydroxylapatit^{4,5}.

Bei den CO₂-Lasern ist dieses Absorptionsverhalten genau umgekehrt. Bei der Anwendung von Erbiumlasern, deren Wirksamkeit durch ein Wasserspray auf der Ober-

1* Alle Prozentangaben beziehen sich auf Volumenanteile.



Abb. 1 Versuchsaufbau zu Messung der Präparationsgeschwindigkeit.

fläche der Zahnhartsubstanzen gewährleistet wird, findet ein thermomechanischer Ablationsprozess statt. Dabei werden Wassermoleküle durch die absorbierte Laserenergie so schnell erwärmt, dass sie explosionsartig verdampfen und dabei Hydroxylapatitstrukturen aus der umgebenden Oberfläche heraus gesprengt werden^{5,6,7} (Abb. 2).

Das dabei ablatierte Material entfernt die in der unmittelbaren Umgebung absorbierte Energie, so dass nur eine geringe bis bedeutungslose Menge an Energie zur Erwärmung des umgebenden Gewebes verbleibt^{8,9,10}.

Ablationsschwelle

Die Ablationsschwelle im Schmelz liegt bei Anwendung eines Er:YAG-Lasers der Wellenlänge 2,94 μm zwischen 9 und 11 J/cm^2 ³⁸. Im Dentin liegt die Ablationsschwelle niedriger und wurde bei 4 J/cm^2 registriert^{16,39,40-42}. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die Pulsdauer bei konstanter Energie auch einen Einfluss auf die Ablationsschwelle hat. Wird die Pulsdauer länger, erhöht sich die Ablationsschwelle, bei kürzerer Pulsdauer verringert sich die Ablationsschwelle^{32,43,44}.

Temperaturanstieg

Bei einem Temperaturanstieg in der Pulpa von mehr als 5,6°C ist bekannt, dass die Zahnvitalität verloren geht, und man deshalb sowohl bei der mechanischen als auch bei der laserunterstützten Kavitätenpräparation bemüht ist, diese Temperaturschwelle nicht zu erreichen. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass der Temperaturanstieg im Pulpenkavum während der Laserpräparation unter 5°C liegt. Messung mit Thermosonden während der



Abb. 2 Ablation während der Präparation mit dem Laser.

Er:YAG-Laserpräparation haben ergeben, dass selbst bei Präparationen mit hohen Energiedichten (850 mJ, 10 Hz, 108 J/cm^2) es nur zu einem Temperaturanstieg in der Pulpa führte, wenn nicht mit einem adäquaten Wasserspray gearbeitet wurde⁴⁷⁻⁴⁹.

Die Präsenz eines kontinuierlich applizierten Wassersprays ist von essentieller Bedeutung, um eine irreversible thermische Schädigung zu vermeiden⁵⁰⁻⁵². Hier sollte noch einmal erwähnt werden, dass das Wasser nicht primär als Kühlmedium dient, sondern für die Ablation notwendige Voraussetzung ist.

Präparationsgeschwindigkeit

Als die ersten Er:YAG-Laser zur Kavitätenpräparation auf den Markt kamen, erlaubte die vorhandene Technologie nur einen sehr bescheidenen Präparationsprozess, was zu einer großen Skepsis unter der Zielgruppe führte¹¹⁻¹⁴.

Die Form der präparierten Kavitäten in der Zahnhartsubstanz hängen sehr stark davon ab, wie die Laserenergie auf die Zahnoberfläche abgeben wurde, was wiederum eine der wichtigsten Fragestellungen bei der Ermittlung der Präparationsgeschwindigkeit ist. Mit einem Anstieg der Energiedichte bei konstanter Repetitionsrate vergrößern sich die Kavitätendurchmesser^{7,16,17}, wird die Repetitionsrate erhöht und die Energiedichte konstant gehalten, bleibt der Kavitätendurchmesser gleich, die Kavitätentiefe hingegen vergrößert sich. Außerdem hat der Wassergehalt eines Gewebes einen entscheidenden Einfluss auf den Ablationsprozess und damit auf die Ablationsrate^{2*} (Präparationsgeschwindigkeiten), so dass bei unveränderter Lasereinstellung höhere Ablationsraten für kariöses Dentin bzw. kariöses Schmelz im Vergleich zu den gesunden Hartgeweben auftreten^{6,18-20}. Eine hohe Ablationseffizienz^{3*}

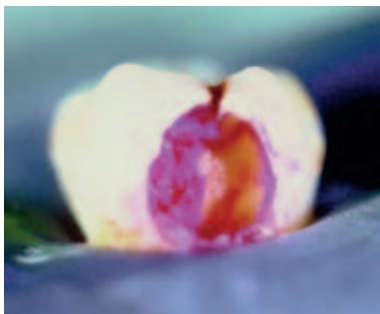


Abb. 3 Selektive Kariesexkavation mit dem Er:YAG Laser.



Abb. 4 Entfernung einer Fissurenkaries mit dem Er:YAG Laser und Schaffung einer retentiven Oberfläche.



Abb. 5 Versiegelte Fissur.



Abb. 6 Entfernung alter Kompositfüllungen mit dem Er:YAG Laser – Ausgangssituation.



Abb. 7 Entfernung alter Kompositfüllungen mit dem Er:YAG Laser – Situation nach minimalinvasiver Füllungsentfernung.



Abb. 8 Darstellung einer mit Er:YAG Laser präparierten Kavität.

wird erwartungsgemäß erreicht, wenn sowohl kurze Pulsdauern als auch hohe Pulsenergien eingesetzt werden, was wiederum hohe Pulsspitzenleistungen zur Folge hat. Bei diesen Einstellungen hat man eine geringe thermische Einwirkung auf das Gewebe und die thermischen Nebeneffekte sind dementsprechend verringert^{16,21–25}.

Weiterhin führt eine Präparation parallel zu den Dentintubuli auch zu einer erhöhten Präparationsgeschwindigkeit³¹.

2* Ablationsrate: durch Photoablation abgetragenes Volumen pro Zeit.

3* Ablationseffizienz: durch Photoablation abgetragenes Volumen pro aufgewandter Energie.

Pulpareaktionen

Von besonderem Interesse bei der Kariesexkavation mittels Laser ist natürlich die Auswirkung des Lasers auf die unmittelbar darunter liegende Pulpa. Bereits 6 Jahre vor der FDA-Zulassung konnten Hibst und Keller in einer tierexperimentellen Studie zeigen, dass es zu keiner negativen thermischen Auswirkung auf die Pulpa kam, sondern dass vielmehr eine Tertiärdentinbildung angeregt werden konnte^{53–55}. Diesen Studien folgten mehr als 10 weitere klinische und tierexperimentelle Studien, deren Ergebnisse dem Laser eine pulpenfreundliche bzw. pulpenschonende Behandlung assistierten. Es konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass nicht nur die Er:YAG-Laserbehandlung bedenkenlos für die Pulpa ist, sondern dass auch die Bildung des Tertiärdentins sehr viel

schneller abläuft⁵⁰. Auch bei der Behandlung einer iatrogen eröffneten Pulpa zeigt die mit Laser behandelte Gruppe bereits nach 2 Wochen ein Bridging im Defektbereich⁶⁹.

Minimalinvasive Kariesexkavation

Die selektive Entfernung einer Karies kann auf unterschiedliche Weise erreicht werden. Zum einen besteht die Möglichkeit, die Energiedichte und Pulsdauer so zu wählen, dass die Ablationsschwelle kariösen Dentins überschritten und es somit abgetragen wird, aber die Ablationsschwelle von gesundem Dentin bzw. Schmelz nicht erreicht wird. Demzufolge werden diese gesunden Gewebe nicht vom Laser abgetragen⁷⁰. In jüngster Vergangenheit wurde eine weitere Technologie vorgestellt, bei deren Anwendung parallel zur Er:YAG-Laserpräparation ein Fluoreszenzdiagnostiksystem die Dentinzusammensetzung analysiert und je nach Zusammensetzung den über ein Rückmeldesystem gekoppelten Er:YAG-Laser aktiviert oder aber deaktiviert, wenn gesunde Zahnhartsubstanz vorliegt⁷⁵.



Abb. 9 Ausgangssituation eines Zahnalsdefektes in Regio 34–35.



Abb. 10 Situation nach Gingivoplastik mittels langgepulsten Er:YAG Laser und der Schaffung einer retentiven Oberfläche auf Schmelz, Dentin und Zement.

Sterilisation

Einer der wichtigsten Vorteile des Er:YAG-Lasers gegenüber der konventionellen Behandlung ist sein bakterizider Effekt. Da die Anwesenheit von Bakterien in Kavitätenwänden zu Schmerzen, zur Bildung von Sekundärkaries und damit auch zum Füllungsverlust führen kann, ist deren Elimination ein essentieller Faktor. In wissenschaftlichen Studien konnte der bakterizide Effekt des Er:YAG-Laser während der Exkavation und der Präparation gezeigt werden. Der bakterizide Effekt konnte sogar bis in eine Tiefe von 0,4 mm unterhalb der Präparationsoberfläche nachgewiesen werden^{76–79}.

Schmerzentstehung, Schmerzvermeidung und Patientenakzeptanz während der Er:YAG-Laserpräparation

In einer der ersten In-vivo-Studien, die 1996 zu diesem Thema publiziert wurde, konnte festgestellt werden, dass 80% der Patienten keine Schmerzen bei der Er:YAG-Laserpräparation von Klasse-5-Kavitäten fühlten, und dass 90% der Patienten angaben, keine unangenehmen Empfindungen gehabt zu haben¹¹. In späteren Studien wurden ähnliche Ergebnisse bestätigt^{12,13,14,60,81}. Unabhängig davon, dass diese Studien in verschiedenen Teilen der Welt durchgeführt wurden, wurde von den behandelten Patienten in mehr als 70% der Fälle eine Laserbehandlung der konventionellen Behandlung vorgezogen. Auch der Anteil von Patienten, die keine oder nur geringe Schmerzen empfanden, lag bei über 80%^{11–14,60,80}.



Abb. 11 Situation einer Woche nach Gingivoplastik und anschließender Kompositfüllung des Zahnalsdefektes.

Oberflächenmodifikation, Konditionierung und Farbpenetrationstest

Die Wellenlänge des Er:YAG-Lasers ist die bestuntersuchte Wellenlänge zur Schaffung von retentiven Oberflächen im Schmelz und Dentin. Die rasterelektronischen Untersuchungen von Schmelzoberflächen haben keine Anzeichen von thermischen Auswirkungen wie Aufschmelzungen oder Karbonisationen ergeben. Die Oberfläche ist frei von Smearlayern und besitzt eine homogene mikroretentive Struktur. Auch im Dentin sind keinerlei Anzeichen von thermischen Schädigungen auszumachen, wobei intertubuläres Dentin stärker ablatiert wird als peritubuläres Dentin.

Offene Dentintubuli und das Fehlen eines Smearlayers ist charakteristisch. Eine Reihe von Untersuchungen zeigt, dass ein idealer Haftverbund zwischen Schmelz und Dentin auf der einen Seite und einem Komposit auf der anderen Seite nur mit einer zusätzlichen Säureätzung der Schmelz- bzw. Dentinoberfläche zu erreichen ist^{83–89,91–94}. Dem gegenüber stehen neuere Untersuchungen, bei denen auf der einen Seite andere Laserparameter gewählt wurden, und auf der anderen Seite moderne Adhäsivsysteme bzw. moderne Kompositmaterialien Verwendung fanden, mit dem Ergebnis, dass mit der alleinigen Laseranwendung vergleichbare Werte wie bei der konventionelle Vorgehensweise erzielt werden können^{39,44,95,97–99,100,107–110}.

Entfernung alter Füllungen

Die Entfernungen alter Füllungsmaterialien wie z. B. alter Kompositfüllungen und Zementfüllungen ist mit dem Er:YAG-Laser gut möglich¹²⁴. Besonders alte Kunststofffüllungen lassen sich sehr gut und selektiv entfernen, da die Absorptionscharakteristik dem des Schmelzes ähnlich ist und es zu einem vergleichbaren Ablationsprozess kommt¹²⁵. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Er:YAG-Laser ein modernes, schonendes und schmerzarmes Präparationsinstrument in der Zahnmedizin ist.

Literatur

1. Dibdin GH. The water in human dental enamel and its diffusional exchange measured by clearance of tritiated water from enamel slabs of varying thickness. *Caries Res* 1993; 27(2):81–86.
2. LeGeros RZ. Calcium phosphates in oral biology and medicine. *Monogr Oral Sci* 1991; 15:1–201.
3. Ito S, Saito T, Tay FR, Carvalho RM, Yoshiyama M, Pashley DH. Water content and apparent stiffness of non-carries versus caries-affected human dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005; 72(1):109–116.

4. Zuerlein MJ, Fried D, Featherstone JDB, Seka W. Optical properties of dental enamel in the mid-IR determined by pulsed photothermal radiometry. *Ieee Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 1999; 5(4):1083–1089.
5. Fried D, Zuerlein M, Featherstone JDB, Seka W, Duhn C, McCormack SM. IR laser ablation of dental enamel: mechanistic dependence on the primary absorber. *Applied Surface Science* 1998; 129:852–856.
6. Fried D. IR laser ablation of dental enamel. In: Featherstone JDB, Rechmann P, Fried D, eds. *Lasers in Dentistry VI. Volume Proc. SPIE Vol. 3910*. 2000:136–148.
7. Seka W, Featherstone JDB, Fried D, Visuri SR, Walsh JT. Laser ablation of dental hard tissues from explosive ablation to plasma mediate ablation. In: Wigdor HA, Featherstone JD, White JM, Neev J, eds. *Proc SPIE Vol 2672, Lasers in dentistry II*. 1996:144–158.
8. Hibst R, Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. *Lasers Surg Med* 1989; 9(4):338–344.
9. Fried D, Ragadio J, Champion A. Residual heat deposition in dental enamel during IR laser ablation at 2.79, 2.94, 9.6, and 10.6 microm. *Lasers in Surgery and Medicine* 2001; 29(3):221–229.
10. Bachmann L, Diebold R, Hibst R, Zezell DM. Changes in chemical composition and collagen structure of dentine tissue after erbium laser irradiation. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc* 2005; 61(11-12):2634–2639.
11. Bachmann L, Gomes ASL, Zezell DM. Bound energy of water in hard dental tissues. *Spectroscopy Letters* 2004; 37(6):565–579.
12. Matsumoto K, Nakamura Y, Mazeki K, Kimura Y. Clinical dental application of Er:YAG laser for Class V cavity preparation. *J Clin Laser Med Surg* 1996; 14(3):123–127.
13. Keller U, Hibst R. Effects of Er:YAG laser in caries treatment: a clinical pilot study. *Lasers Surg Med* 1997; 20(1):32–38.
14. Keller U, Hibst R, Geurtsen W, Schilke R, Heidemann D, Klaiber B, Raab WH. Erbium:YAG laser application in caries therapy. Evaluation of patient perception and acceptance. *J Dent* 1998; 26(8):649–656.
15. Evans DJ, Matthews S, Pitts NB, Longbottom C, Nugent ZJ. A clinical evaluation of an Erbium:YAG laser for dental cavity preparation. *Br Dent J* 2000; 188(12):677–679.
16. White JM. Ablation rate, caries removal and restoration using Nd:YAG and Er:YAG lasers and air abrasion. In: Featherstone JD, Rechmann P, Fried D, eds. *Lasers in Dentistry IV. Volume Proc. SPIE Vol. 3248*. 1998:98–112.
17. Majaron B, Lukac M, Sustercic D, Funduk N, Skaleric U. Threshold and efficiency analysis in Er:YAG laser ablation of hard dental tissue. In: Altshuler GB, Chiesa F, Geschwind HJ, Hibst R, Krasner N, Laffitte F, Maira G, Neumann R, Pini R, Reidenbach HD, Roggan A, Mila MSI, eds. *Proc SPIE Vol 2922, Laser Applications in Medicine and Dentistry*. 1996:233–242.
18. Keller U, Hibst R. Zur ablativen Wirkung des Er:YAG Lasers auf Schmelz und Dentin. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 1989; 44:600–602.
19. Armengol V, Jean A, Rohanzadeh R, Hamel H. Scanning electron microscopic analysis of diseased and healthy dental hard tissues after Er:YAG laser irradiation: in vitro study. *J Endod* 1999; 25(8):543–546.
20. Fried D. Laser processing of dental hard tissues. In: Fieret J, Herman PR, Okada T, Arnold CB, Bachmann FG, Hoving W, Washio K, Lu Y, Geohegan DB, Trager F, Dubowski JJ, eds. *Proc SPIE Vol 5713, Photon Processing in Microelectronics and Photonics IV*. 2005:259–269.
21. Majaron B, Lukac M. Thermomechanical laser ablation of hard dental tissues: an overview of effects, regimes, and models. In: Featherstone JD, Rechmann P, Fried D, eds. *Proc SPIE Vol 3593, Lasers in Dentistry V*. 1999:184–195.
22. Fried D, Seka W, Glens RE, Featherstone JDB. Thermal response of hard dental tissues to 9- through 11- μ m CO₂-laser irradiation. *Optical Engineering* 1996; 35(7):1976–1984.

23. Shigetani Y, Okamoto A, Abu-Bakr N, Iwaku M. A study of cavity preparation by Er:YAG laser—observation of hard tooth structures by laser scanning microscope and examination of the time necessary to remove caries. *Dent Mater J* 2002; 21(1):20–31.
24. Hossain M, Yamada Y, Nakamura Y, Murakami Y, Tamaki Y, Matsumoto K. A study on surface roughness and microleakage test in cavities prepared by Er:YAG laser irradiation and etched bur cavities. *Lasers Med Sci* 2003; 18(1):25–31.
25. Paghdiwala AF, Vaidyanathan TK, Paghdiwala MF. Evaluation of erbium:YAG laser radiation of hard dental tissues: analysis of temperature changes, depth of cuts and structural effects. *Scanning Microsc* 1993; 7(3):989–997.
26. Giusti JSM, al e. Ablation rates and morphological patterns of deciduous-tooth enamel after Er:YAG laser irradiation: An in vitro study. *J Oral Laser Applications* 2002; 2:159–164.
27. Stiesch M, Hanning M, Albers HK. Zahnhartsubstanzpräparation mit dem Erbium:YAG laser. *ZWR* 1996; 105:308–313.
28. Kim ME, Jeoung DJ, Kim KS. Effects of water flow on dental hard tissue ablation using Er:YAG laser. *J Clin Laser Med Surg* 2003; 21(3):139–144.
29. Kim KS, Kim ME, Shin EJ. Irradiation time and ablation rate of enamel in contact and non-contact irradiation with Er:YAG laser. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(2):216–218.
30. Zeck M, Benthin H, Ertl T, Siebert Gk, Muller G. Scanning ablation of dental hard tissue with erbium laser radiation. Medical application of lasers III. Volume Proc. SPIE Vol.2623. 1996:94–102.
31. Mehl A, Kremers L, Salzmann K, Hickel R. 3D volume-ablation rate and thermal side effects with the Er:YAG and Nd:YAG laser. *Dent Mater* 1997; 13(4):246–251.
32. Meister J, Franzen R, Forner K, Grebe H, Stanzel S, Lampert F, Apel C. Influence of the water content in dental enamel and dentin on ablation with erbium YAG and erbium YSGG lasers. *J Biomed Opt* 2006; 11(3):34030.
33. Yamada Y, Hossain M, Nakamura Y, Suzuki N, Matsumoto K. Comparison between the removal effect of mechanical, Nd:YAG, and Er:YAG laser systems in carious dentin. *J Clin Laser Med Surg* 2001; 19(5):239–243.
34. Aoki A, Ishikawa I, Yamada T, 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(6):1404–1414.
35. Stock K, Hibst R, Keller U. Comparison of Er:YAG and Er:YSGG laser ablation of dental hard tissues. In: Altshuler GB, Birngruber R, Fante MD, Hibst R, Hoenigsmann H, Krasner N, Laffitte F, eds. *Proc SPIE Vol 3192, Medical Applications of Lasers in Dermatology, Ophthalmology, Dentistry, and Endoscopy*. 1997.
36. Burgmann R, Gutknecht N. Abtragseffizienz unterschiedlicher Präparationssysteme in Schmelz und Dentin [Doktorarbeit]. Aachen: RWTH Aachen University; 2000. 133 p.
37. Belikov AV, Erofee AV, Shumilin VV, Takachuk AM. Comparative study of the 3 µm lasers action on different tooth tissue samples using free-running Er-doped YAG, YSGG, YAP and YLF lasers. In: Altshuler GB, Hibst R, eds. *Dental applications of lasers*. Volume Proc. SPIE Vol. 2080. 1993.
38. Apel C, Meister J, Ioana RS, Franzen R, Hering P, Gutknecht N. The ablation threshold of Er:YAG and Er:YSGG laser radiation in dental enamel. *Lasers Med Sci* 2002; 17(4):246–252.
39. Staninec M, Gardner AK, Le CQ, Sarma AV, Fried D. Adhesion of composite to enamel and dentin surfaces irradiated by IR laser pulses of 0.5-35 micros duration. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2006; 79(1):193–201.
40. Meister J, Apel C, Franzen R, Gutknecht N. Influence of the spatial beam profile on hard tissue ablation. Part I: Multimode emitting Er:YAG lasers. *Lasers Med Sci* 2003; 18(2):112–118.
41. Meister J, Franzen R, Apel C, Gutknecht N. Multireflection pumping concept for miniaturized diode-pumped solid-state lasers. *Appl Opt* 2004; 43(31):5864–5869.
42. Apel C, Franzen R, Meister J, Sarrazadegan H, Thelen S, Gutknecht N. Influence of the pulse duration of an Er:YAG laser system on the ablation threshold of dental enamel. *Lasers Med Sci* 2002; 17(4):253–257.
43. Sheth KK, Staninec M, Sarma AV, Fried D. Selective targeting of protein, water, and mineral in dentin using UV and IR pulse lasers: the effect on the bond strength to composite restorative materials. *Lasers Surg Med* 2004; 35(4):245–253.
44. Staninec M, Gardner AK, Le CQ, Sarma AV, Fried D. Adhesion of composite to enamel and dentin surfaces irradiated by IR laser pulses of 0.5-35 mus duration. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2006.
45. Zach L, Cohen G. Pulp Response To Externally Applied Heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965; 19:515–530.
46. Fried D, Visuri SR, Featherstone JDB, Seka W, Glana RE, Walsh JT, McCormack SM, Wigdor HA. Infrared radiometry of dental enamel during Er:YAG and Er,Cr:YSGG laser irradiation. *Journal of Biomedical Optics* 1996; 1(4):455–465.
47. Gouw-Soares S, Pelino JEP, Haypek P, Bachmann L, Eduardo CP. Temperature rise in cavities prepared in vitro by Er:YAG laser. *J Oral Laser Applications* 2001; 1:11–123.
48. Glockner K, Rimpler J, Ebeleseder K, Stadler P. Intrapulpal temperature during preparation with the Er:YAG laser compared to the conventional burr: an in vitro study. *J Clin Laser Med Surg* 1998; 16(3):153–157.
49. Cavalcanti BN, Lage-Marques JL, Rode SM. Pulpal temperature increases with Er:YAG laser and high-speed handpieces. *J Prosthet Dent* 2003; 90(5):447–451.
50. Geraldo-Martins VR, Tanji EY, Wetter NU, Nogueira RD, Eduardo CP. Intrapulpal temperature during preparation with the Er:YAG laser: an in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(2):182–186.
51. Visuri SR, Walsh JT, Jr., Wigdor HA. Erbium laser ablation of dental hard tissue: effect of water cooling. *Lasers Surg Med* 1996; 18(3):294–300.
52. 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(1):35–40.
53. Keller U, Hibst R. Tooth pulp reaction following Er:YAG laser application. In: O'Brien SJ, Dederich DN, Wigdor HA, Trent AM, eds. *Proc SPIE Vol1424, Lasers in Orthopedic, Dental, and Veterinary Medicine*. 1991:127–133.
54. Keller U, Hibst R, Mohr W. Histologische Untersuchungen der Pulpareaktion nach ER: YAG Laserbestrahlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992; 47:222–224.
55. Wigdor H, Abt E, Ashrafi S, Walsh JT, Jr. The effect of lasers on dental hard tissues. *J Am Dent Assoc* 1993; 124(2):65–70.
56. Sekine Y, Ebihara A, Takeda A, Suda H. Pulpal reaction in dogs following cavity preparation by Er:YAG laser. In: Altshuler GB, Blankenau RJ, Wigdor HA, eds. *Proc SPIE Vol 1984, Advanced Laser Dentistry*. 1995:159–167.
57. Keller U, Raab HM, Hibst R. Die Pulpareaktion während der Bestrahlung von Zahnhartsubstanzen mit dem Erbium-YAG laser. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991; 46:158–160.
58. Sonntag KD, Klitzman B, Burkes EJ, Hoke J, Moshonov J. Pulpal response to cavity preparation with the Er:YAG and Mark III free electron lasers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996; 81(6):695–702.
59. Miserendino LJ, Cozean CD. Histologic results following in-vivo cavity preparation with an Er:YAG laser. In: Featherstone JD, Rechmann P, Fried DS, eds. *Proc SPIE Vol 3248, Lasers in Dentistry IV*. 1998:46–50.
60. Pelagalli J, Gimbel CB, Hansen RT, Swett A, Winn DW, 2nd. Investigational study of the use of Er:YAG laser versus dental drill for caries removal and cavity preparation—phase I. *J Clin Laser Med Surg* 1997; 15(3):109–115.

61. Takamori K. A histopathological and immunohistochemical study of dental pulp and pulpal nerve fibers in rats after the cavity preparation using Er:YAG laser. *J Endod* 2000; 26(2):95–99.
62. Taylor PE, Byers MR. An immunocytochemical study of the morphological reaction of nerves containing calcitonin gene-related peptide to microabscess formation and healing in rat molars. *Arch Oral Biol* 1990; 35(8):629–638.
63. Jacobsen EB, Heyeraas KJ. Effect of capsaicin treatment or inferior alveolar nerve resection on dentine formation and calcitonin gene-related peptide- and substance P-immunoreactive nerve fibres in rat molar pulp. *Arch Oral Biol* 1996; 41(12):1121–1131.
64. Tran-Hung L, Mathieu S, About I. Role of human pulp fibroblasts in angiogenesis. *J Dent Res* 2006; 85(9):819–823.
65. Tanabe K, Yoshida K, Yoshida N, Iwaku M, Ozawa H. Immunohistochemical study on pulpal response in rat molars after cavity preparation by Er:YAG laser. *Eur J Oral Sci* 2002; 110(3):237–245.
66. Nair PN, Baltensperger MM, Luder HU, Eyrych GK. Pulpal response to Er:YAG laser drilling of dentine in healthy human third molars. *Lasers Surg Med* 2003; 32(3):203–209.
67. Dostalova T, Jelinkova H, Krejsa O, Hamal K, Kubelka J, Prochazka S, Himmlova L. Dentine and pulp response to Erbium:YAG laser ablation: a preliminary evaluation of human teeth. *J Clin Laser Med Surg* 1997; 15(3):117–121.
68. Inoue H, Izumi T, Ishikawa H, Watanabe K. Short-term histomorphological effects of Er:YAG laser irradiation to rat coronal dentin-pulp complex. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 97(2):246–250.
69. Jayawardena JA, Kato J, Moriya K, Takagi Y. Pulpal response to exposure with Er:YAG laser. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001; 91(2):222–229.
70. Pierce MC, Dickinson MR, Devlin H. Selective photothermal ablation of tissue with a fiber-delivered Er:YAG laser. In: Jacques SL, Mueller GJ, Roggan A, Sliney DH, eds. *Proc SPIE Vol 3601, Laser-Tissue Interaction X: Photochemical, Photothermal, and Photomechanical*. 1999:362–368.
71. Hibst R. Lasers for caries removal and cavity preparation: state of the art and future directions. *J Oral Laser Applications* 2002; 2(4):203–212.
72. König K, Flemming G, Hibst R. Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 1998; 44(8):1293–1300.
73. Yonemoto K, Eguro T, Maeda T, Tanaka H. Application of DIAGNOdent as a guide for removing carious dentin with Er:YAG laser. *J Dent* 2006; 34(4):269–276.
74. Cabral RM, Mendes FM, Nicolau J, Zzell DM. The influence of PVC seal wrap and probe tips autoclaving on the in vitro performance of laser fluorescence device in occlusal caries in primary teeth. *J Clin Pediatr Dent* 2006; 30(4):306–309.
75. Eberhard J, Eisenbeiss AK, Braun A, Hedderich J, Jepsen S. Evaluation of selective caries removal by a fluorescence feedback-controlled Er:YAG laser in vitro. *Caries Res* 2005; 39(6):496–504.
76. Hibst R, Stock K, Gall R, Keller U. Controlled tooth surface heating and sterilization by Er:YAG laser radiation. In: Gregory B, Altshuler FC, Herbert J, Geschwind M.D., Raimund Hibst, Neville Krasner M.D., Frederic Laffitte, Giulio Maira, Reinhard Neumann, Roberto Pini, Hans-Dieter Reidenbach, Andre Roggan, Montserrat Serra I Mila; Eds., ed. *Proc SPIE Vol 2922, Laser Applications in Medicine and Dentistry*. 1996:p. 119–126.
77. Ando Y, Aoki A, Watanabe H, Ishikawa I. Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria. *Lasers Surg Med* 1996; 19(2):190–200.
78. Mehl A, Folwaczny M, Haffner C, Hickel R. Bactericidal effects of 2.94 microns Er:YAG-laser radiation in dental root canals. *J Endod* 1999; 25(7):490–493.
79. Leco-Berrocá MI, Martínez-González JM, Donado-Rodríguez M, López-Carriches C. Sterilizing effects of the Erbium:Yag laser upon dental structures: an in vitro study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2006; 11(2):E158–161.
80. Dostalova T, Jelinkova H, Kucerova H, Krejsa O, Hamal K, Kubelka J, Prochazka S. Noncontact Er:YAG laser ablation: clinical evaluation. *J Clin Laser Med Surg* 1998; 16(5):273–282.
81. Dostalova T, Jelinkova H, Hana K, Krejsa O, Hamal K, Kubelka J, Procházka S. Er:YAG Laser ablation-evaluation after two-year clinical treatment. In: Featherstone JDB, Rechmann P, Fried D, eds. *Proc SPIE Vol 3248, Lasers in Dentistry IV*. 1998:23–32.
82. Takamori K, Furukawa H, Morikawa Y, Katayama T, Watanabe S. Basic study on vibrations during tooth preparations caused by high-speed drilling and Er:YAG laser irradiation. *Lasers Surg Med* 2003; 32(1):25–31.
83. Chaiyavej S, Yamamoto H, Takeda A, Suda H. Response of feline intradental nerve fibers to tooth cutting by Er:YAG laser. *Lasers Surg Med* 2000; 27(4):341–349.
84. Wanderley RL, Monghini EM, Pecora JD, Palma-Dibb RG, Borsatto MC. Shear bond strength to enamel of primary teeth irradiated with varying Er:YAG laser energies and SEM examination of the surface morphology: an in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(3):260–267.
85. Donadio-Moura J, Gouw-Soares S, de Freitas PM, Navarro RS, Powell LG, Eduardo Cde P. Tensile bond strength of a flowable composite resin to ER:YAG-laser-treated dentin. *Lasers Surg Med* 2005; 36(5):351–355.
86. Staninec M, Xie J, Le CQ, Fried D. Influence of an optically thick water layer on the bond-strength of composite resin to dental enamel after IR laser ablation. *Lasers Surg Med* 2003; 33(4):264–269.
87. Goncalves M, Corona SA, Pecora JD, Dibb RG. Influence of the frequency of Er:YAG laser on the bond strength of dental enamel. *J Clin Laser Med Surg* 2003; 21(2):105–108.
88. Gonzalez Bahillo J, Ruiz Pinon M, Rodriguez Nogueira J, Martin Biedma B, Varela Patino P, Magan Munoz F, Bahillo Varela M, Barciela Castro N. A comparative study of microleakage through enamel and cementum after laser Er:YAG instrumentation in class V cavity obturations, using scanning electron microscopy. *J Clin Laser Med Surg* 2002; 20(4):197–201.
89. Otsuki M, Eguro T, Maeda T, Tanaka H. Comparison of the bond strength of composite resin to Er:YAG laser irradiated human enamel pre-treated with various methods in vitro. *Lasers Surg Med* 2002; 30(5):351–359.
90. Sattabanasuk V, Burrow MF, Shimada Y, Tagami J. Resin adhesion to caries-affected dentine after different removal methods. *Aust Dent J* 2006; 51(2):162–169.
91. Corona SA, Atoui JA, Chimello DT, Borsatto MC, Pecora JD, Dibb RG. Composite resin's adhesive resistance to dentin: influence of Er:YAG laser focal distance variation. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(2):229–232.
92. Burnett LH, Jr., Conceicao EN, Pelinos JE, Eduardo CD. Comparative study of influence on tensile bond strength of a composite to dentin using Er:YAG laser, air abrasion, or air turbine for preparation of cavities. *J Clin Laser Med Surg* 2001; 19(4):199–202.
93. Groth E, Tanji E, Zzell DM, Matson E, Eduardo CP. The pre-treatment of enamel surface in vitro with Er:YAG laser for bonding composite resin. *Proceedings of the 5th Congress of the International Society for Lasers in Dentistry* 1996:1129–1133.
94. de Souza AE, Corona SA, Dibb RG, Borsatto MC, Pecora JD. Influence of Er:YAG laser on tensile bond strength of a self-etching system and a flowable resin in different dentin depths. *J Dent* 2004; 32(4):269–275.
95. Carrieri TC, de Freitas PM, Navarro RS, de PEC, Mori M. Adhesion of composite luting cement to Er:YAG-laser-treated dentin. *Lasers Med Sci* 2007.

96. Chimello-Sousa DT, de Souza AE, Chinelatti MA, Pecora JD, Palma-Dibb RG, Milori Corona SA. Influence of Er:YAG laser irradiation distance on the bond strength of a restorative system to enamel. *J Dent* 2006; 34(3):245–251.
97. Van Meerbeek B, De Munck J, Mattar D, Van Landuyt K, Lambrechts P. Microtensile bond strengths of an etch&rinse and self-etch adhesive to enamel and dentin as a function of surface treatment. *Oper Dent* 2003; 28(5):647–660.
98. Eguro T, Maeda T, Tanabe M, Otsuki M, Tanaka H. Adhesion of composite resins to enamel irradiated by the Er:YAG laser: application of the ultrasonic scaler on irradiated surface. *Lasers Surg Med* 2001; 28(4):365–370.
99. Ramos RP, Chimello DT, Chinelatti MA, Nonaka T, Pecora JD, Palma Dibb RG. Effect of Er:YAG laser on bond strength to dentin of a self-etching primer and two single-bottle adhesive systems. *Lasers Surg Med* 2002; 31(3):164–170.
100. De Munck J, Van Meerbeek B, Yudhira R, Lambrechts P, Vanherle G. Micro-tensile bond strength of two adhesives to Erbium:YAG-lased vs. bur-cut enamel and dentin. *Eur J Oral Sci* 2002; 110(4):322–329.
101. Aizawa K, Kameyama A, Kato J, Amagai T, Takase Y, Kawada E, Oda Y, Hirai Y. Resin bonding to dentin irradiated by high repetition rate Er:YAG laser. *Photomed Laser Surg* 2006; 24(3):397–401.
102. Dunn WJ, Davis JT, Bush AC. Shear bond strength and SEM evaluation of composite bonded to Er:YAG laser-prepared dentin and enamel. *Dent Mater* 2005; 21(7):616–624.
103. Monghini EM, Wanderley RL, Pecora JD, Palma Dibb RG, Corona SA, Borsatto MC. Bond strength to dentin of primary teeth irradiated with varying Er:YAG laser energies and SEM examination of the surface morphology. *Lasers Surg Med* 2004; 34(3):254–259.
104. Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Wernisch J, Sperr W. Alternatives in enamel conditioning: a comparison of conventional and innovative methods. *J Clin Laser Med Surg* 1996; 14(3):133–136.
105. Apel C, Gutknecht N. Bond strength of composites on Er:YAG and Er,Cr:YSGG laser-irradiated enamel. In: Althuler GB, Andersson-Engels S, Birngruber R, Bjerring P, Fercher AF, Geschwind HJ, Hibst R, Hoenigsmann H, Laffitte F, J. SH, eds. *SPIE Proceedings Vol 3564, Medical Application of Lasers in Dermatology, Cardiology, Ophthalmology and Dentistry II*. 1999:197–200.
106. Visuri SR, Gilbert JL, Wright DD, Wigdor HA, Walsh JT, Jr. Shear strength of composite bonded to Er:YAG laser-prepared dentin. *J Dent Res* 1996; 75(1):599–605.
107. Bertrand MF, Semez G, Leforestier E, Muller-Bolla M, Nammour S, Rocca JP. Er:YAG laser cavity preparation and composite resin bonding with a single-component adhesive system: relationship between shear bond strength and microleakage. *Lasers Surg Med* 2006; 38(6):615–623.
108. Manhaes L, Oliveira DC, Marques MM, Matos AB. Influence of Er:YAG laser surface treatment and primer application methods on microtensile bond strength self-etching systems. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(3):304–312.
109. Oliveira DC, Manhaes LA, Marques MM, Matos AB. Microtensile bond strength analysis of different adhesive systems and dentin prepared with high-speed and Er:YAG laser: a comparative study. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(2):219–224.
110. Celik EU, Ergucu Z, Turkun LS, Turkun M. Shear bond strength of different adhesives to Er:YAG laser-prepared dentin. *J Adhes Dent* 2006; 8(5):319–325.
111. Delme KI, Deman PJ, De Moor RJ. Microleakage of class V resin composite restorations after conventional and Er:YAG laser preparation. *J Oral Rehabil* 2005; 32(9):676–685.
112. Chinelatti MA, Ramos RP, Chimello DT, Borsatto MC, Pecora JD, Palma-Dibb RG. Influence of the use of Er:YAG laser for cavity preparation and surface treatment in microleakage of resin-modified glass ionomer restorations. *Oper Dent* 2004; 29(4):430–436.
113. Lizarelli RF, Silva PC, Neto ST, Bagnato VS. Study of microleakage at class V cavities prepared by Er:YAG laser using rewetting surface treatment. *J Clin Laser Med Surg* 2004; 22(1):51–55.
114. Corona SA, Borsatto MC, Pecora JD, De SARRA, Ramos TS, Palma-Dibb RG. Assessing microleakage of different class V restorations after Er:YAG laser and bur preparation. *J Oral Rehabil* 2003; 30(10):1008–1014.
115. Corona SA, Borsatto M, Dibb RG, Ramos RP, Brugnera A, Pecora JD. Microleakage of class V resin composite restorations after bur, air-abrasion or Er:YAG laser preparation. *Oper Dent* 2001; 26(5):491–497.
116. Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res* 1975; 9(5):373–387.
117. Borsatto MC, Corona SA, Dibb RG, Ramos RP, Pecora JD. Microleakage of a resin sealant after acid-etching, Er:YAG laser irradiation and air-abrasion of pits and fissures. *J Clin Laser Med Surg* 2001; 19(2):83–87.
118. Manhart J, Huth KC, Chen HY, Hickel R. Influence of the pretreatment of occlusal pits and fissures on the retention of a fissure sealant. *Am J Dent* 2004; 17(1):12–18.
119. Borsatto MC, Corona SA, Ramos RP, Liporaci JL, Pecora JD, Palma-Dibb RG. Microleakage at sealant/enamel interface of primary teeth: effect of Er:YAG laser ablation of pits and fissures. *J Dent Child (Chic)* 2004; 71(2):143–147.
120. Lupi-Pegurier L, Bertrand MF, Muller-Bolla M, Rocca JP, Bolla M. Comparative study of microleakage of a pit and fissure sealant placed after preparation by Er:YAG laser in permanent molars. *J Dent Child (Chic)* 2003; 70(2):134–138.
121. Francescut P, Lussi A. Performance of a conventional sealant and a flowable composite on minimally invasive prepared fissures. *Oper Dent* 2006; 31(5):543–550.
122. Youssef MN, Youssef FA, Souza-Zaroni WC, Turbino ML, Vieira MM. Effect of enamel preparation method on in vitro marginal microleakage of a flowable composite used as pit and fissure sealant. *Int J Paediatr Dent* 2006; 16(5):342–347.
123. Burre B. Optimierung der Fissurenversiegelung durch Erbium:YAG-Lasereinsatz: eine lichtmikroskopische Untersuchung. [Doktorarbeit]. Aachen: RWTH Aachen University; 2001. 98 p.
124. Aranha AC, Turbino ML, Powell GL, Eduardo Cde P. Assessing microleakage of class V resin composite restorations after Er:YAG laser and bur preparation. *Lasers Surg Med* 2005; 37(2):172–177.
125. Hibst R, Keller U. Removal of dental filling materials by Er:YAG laser radiation. In: O'Brien SJ, Dederich DN, Wigdor H, Trent AM, eds. *Proc SPIE Vol 1424, Lasers in Orthopedic, Dental, and Veterinary Medicine*. 1991:120–126.
126. Dumore T, Fried D. Selective ablation of orthodontic composite by using sub-microsecond IR laser pulses with optical feedback. *Lasers Surg Med* 2000; 27(2):103–110.
127. Lizarelli Rde F, Moriyama LT, Bagnato VS. Ablation of composite resins using Er:YAG laser—comparison with enamel and dentin. *Lasers Surg Med* 2003; 33(2):132–139.
128. Goodis HE, Fried D, Gansky S, Rechmann P, Featherstone JDB. Pulpal safety of 9.6 μm TEA CO₂ laser used for caries prevention. *Lasers in Surgery and Medicine* 2004; 35(2):104–110.
129. Pashley DH. Mechanisms of dentin sensitivity. *Dent Clin North Am* 1990; 34(3):449–473.
130. Chabanski MB, Gillam DG, Bulman JS, Newman HN. Prevalence of cervical dentine sensitivity in a population of patients referred to a specialist Periodontology Department. *J Clin Periodontol* 1996; 23(11):989–992.
131. Orchardson R, Gillam DG. The efficacy of potassium salts as agents for treating dentin hypersensitivity. *J Orofac Pain* 2000; 14(1):9–19.
132. Tzanova S, Ivanova Z, Velinova S. Clinical evaluation of dentinal hypersensitivity treatment with 5% potassium nitrate dentifrice. *Folia Med (Plovdiv)* 2005; 47(2):65–69.

133. Conforti N, Battista GW, Petrone DM, Petrone ME, Chaknis P, Zhang YP, DeVizio W, Volpe AR, Proskin HM. Comparative investigation of the desensitizing efficacy of a new dentifrice: a 14-day clinical study. *Compend Contin Educ Dent Suppl* 2000(27):17–22; quiz 28.
134. Pereira R, Chava VK. Efficacy of a 3% potassium nitrate desensitizing mouthwash in the treatment of dentinal hypersensitivity. *J Periodontol* 2001; 72(12):1720–1725.
135. Renton-Harper P, Midda M. NdYAG laser treatment of dentinal hypersensitivity. *Br Dent J* 1992; 172(1):13–16.
136. Gutknecht N, Moritz A, Dercks HW, Lampert F. Treatment of hypersensitive teeth using neodymium:yttrium-aluminum-garnet lasers: a comparison of the use of various settings in an in vivo study. *J Clin Laser Med Surg* 1997; 15(4):171–174.
137. Ciaramicoli MT, Carvalho RC, Eduardo CP. Treatment of cervical dentin hypersensitivity using neodymium: Yttrium-aluminum-garnet laser. Clinical evaluation. *Lasers Surg Med* 2003; 33(5):358–362.
138. Kumar NG, Mehta DS. Short-term assessment of the Nd:YAG laser with and without sodium fluoride varnish in the treatment of dentin hypersensitivity – a clinical and scanning electron microscopy study. *J Periodontol* 2005; 76(7):1140–1147.
139. Lier BB, Rosing CK, Aass AM, Gjermo P. Treatment of dentin hypersensitivity by Nd:YAG laser. *J Clin Periodontol* 2002; 29(6):501–506.
140. Gelskey SC, White JM, Pruthi VK. The effectiveness of the Nd:YAG laser in the treatment of dental hypersensitivity. *J Can Dent Assoc* 1993; 59(4):377–378, 383–376.
141. Schwarz F, Arweiler N, Georg T, Reich E. Desensitizing effects of an Er:YAG laser on hypersensitive dentine. *J Clin Periodontol* 2002; 29(3):211–215.
142. 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* 2006.
143. Akashi G, Kato J, Hirai Y. Pathological Study of Pulp Treated with Chemicals after Er:YAG Laser Preparation. *Photomed Laser Surg* 2006; 24(6):698–704.
144. Louw NP, Pameijer CH, Ackermann WD, Ertl T, Cappius HJ, Norval G. Pulp histology after Er:YAG laser cavity preparation in subhuman primates—a pilot study. *Sadj* 2002; 57(8):313–317.
145. Keller U, Raab WH, Hibst R. [Pulp reactions during Erbium YAG laser irradiation of hard tooth structure]. *Dtsch Zahnarztl Z* 1991; 46(2):158–160.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. dent. Norbert Gutknecht,
 Universitätsklinikum Aachen, Klinik für Zahnerhaltung,
 Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde,
 Pauwelsstr. 30, 52074 Aachen
 E-Mail: ngutknecht@ukaachen.de

Cariology and Cavity Preparation with the Er:YAG laser

Key words: erbium laser, Er:YAG, Er,Cr:YSGG, cavity preparation, cariology, review

Summary

Twenty years after the first experiments with an Er:YAG laser in the field of cavity preparation and ten years after the official clearance by the FDA (Food and Drug Administration, USA) for caries removal, cavity preparation and the creation of retentive surfaces on enamel and dentin, numerous new findings have been made. Many scientific articles report about different possibilities for the use of erbium lasers in dentistry, while the focus yet remains on hard tissue applications. In this review article a systematic overview of the results in the various indications will be given.