

# Bakterizide Tiefenwirkung der Strahlung eines Er,Cr:YSGG-Lasers auf *Enterococcus faecalis* in humanem Dentin – Eine In-vitro-Studie



René Franzen, Anja Wallerang, Leon Vanweersch,  
Norbert Gutknecht

## Schlüsselwörter

Laser, Er,Cr:YSGG, Endodontie

## Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung der Tiefenwirkung eines Er,Cr:YSGG-Lasers bezüglich seiner keimreduzierenden Wirkung. Als Untersuchungsmaterial dienten menschliche Zahnwurzeln, deren Lumen nach einer konventionellen Methode bis ISO 40 aufbereitet wurden. Hieraus wurden Dentinschnitte unterschiedlicher Dicke im Bereich von 100 µm bis 1000 µm angefertigt. Nach Sterilisation der Schnitte wurden diese mit 1 µl Keimsuspension mit *Enterococcus faecalis* als Versuchskeim beimpft und nach deren Antrocknung mit einer Pulsenergie von 12,5 mJ von der kontralateralen Seite mit einem Er,Cr:YSGG-Laser unter einem spitzen Einfallswinkel von 5° bestrahlt. Zur Bestimmung der Keimreduktion wurde eine Kontrollgruppe ohne Bestrahlung belassen. Durch Vibration der Schnitte in 1 ml steriler isotonischer NaCl-Lösung wurden die verbliebenen Keime von den Schnitten entfernt. Nach Erstellung einer Verdünnungsreihe erfolgte die Anzucht auf Columbia-Agar. Trotz der niedrigen Pulsenergie von 12,5 mJ ergab die Auswertung bis zu einer Schichtdicke von 500 µm eine signifikante Keimreduktion. Von den kontaminierten und gelaserten Schnitten wurden rasterelektronische Aufnahmen angefertigt, die eine weitestgehend saubere, von der Schmierschicht befreite Oberfläche zeigten. Die Eingänge der Dentintubuli waren deutlich zu erkennen.

## Einleitung

Während einer Wurzelkanalbehandlung sind die Entfernung des Kanalinhalts und des kanalwandnahen Dentins sowie die Desinfektion des gesäuberten Wurzelkanals von besonderer Bedeutung für die Prognose. Die Aufbereitung des Kanals im Sinne eines Substanzabtrags des kanalwandnahen Dentins ist aufgrund der Anatomie des Wurzelkanals und der damit verbundenen Schwierigkeit der Applikation des Laserstrahls mittels Glasfasern auf die gesamte Kanalwandoberfläche schwierig. Mit Hilfe eines Lasers kann eine Entfernung des Smear layers (Ansammlung anorganischen und organischen Materials) und eine antimikrobielle Wirkung erreicht werden.

## Literaturübersicht und Fragestellung

Takeda et al.<sup>1</sup> untersuchten verschiedene Laser mit unterschiedlichen Wellenlängen (Argon, Nd:YAG, Er:YAG) auf deren Fähigkeit, den Smear layer zu entfernen, und gelangten zu signifikanten Unterschieden zwischen den gelaserten und den Kontrollproben. Elektronenmikroskopische Untersuchungen der gelaserten Proben zeigten die unterschiedlichen Auswirkungen auf die Dentinoberfläche. Während die Behandlung mit dem Argon- und dem Nd:YAG-Laser zu Verschmelzungen und die mit dem Nd:YAG-Laser stellenweise auch zu Rekristallisationen des

Dentins führten, zeigten sich in den mit dem Er:YAG-Laser behandelten Proben keine Verschmelzungen, sondern weit geöffnete Dentintubuli, die frei von Smear layer waren. In anderen Untersuchungen mit dem Nd:YAG-Laser kam man zu ähnlichen Ergebnissen<sup>2</sup>.

Der Nd:YAG-Laser hinterlässt auf dem Wurzelkanalwanddentin verschmolzene und/oder rekristallisierte Areale. Stellenweise sind die Dentintubuli weit geöffnet oder durch geschmolzene Mineralien abgedeckt. Die Rekristallisationsbereiche zeigen feine Risse. Während Takeda et al.<sup>3</sup> in einer weiteren Studie mit dem Er:YAG-Laser bei einer Leistung von 1 W und 2 W eine signifikante Reduzierung des Smear layers erreichten, konnten Matsuoka et al.<sup>4</sup> dies erst bei 3 W feststellen.

Die desinfizierende Wirkung von Laserstrahlung wird in zahlreichen Studien belegt. So konnten Klinke et al.<sup>5</sup>, Gutknecht et al.<sup>6</sup>, Moritz et al.<sup>7</sup>, Berkiten et al.<sup>8</sup> und Piccolomini et al.<sup>9</sup> mit dem Nd:YAG-Laser bei einer Wellenlänge von 1064 nm eine Keimreduktion erzielen. In einer Langzeitstudie, in der Patienten mit röntgenologisch nachweisbaren apikalen Aufhellungen durch Lasertherapie mit Nd:YAG-Laser behandelt wurden, konnten Gutknecht et al.<sup>10</sup> eine Erfolgsquote von 82 % verzeichnen. Gleichfalls hat der Diodenlaser sowohl bei 810 nm als auch bei 980 nm eine nachweisbare antibakterielle Wirkung, wie Gutknecht et al.<sup>11,12</sup> sowie Moritz et al.<sup>13</sup> zeigen konnten. Weiterhin konnten mit dem CO<sub>2</sub>-Laser<sup>14</sup>, mit dem Ho:YAG-Laser<sup>15</sup> und dem Excimer-Laser<sup>16</sup> positive Ergebnisse in Bezug auf die Bakterienreduktion erreicht werden.

Moritz et al.<sup>17</sup> verglichen die desinfizierende Wirkung des Nd:YAG-, Ho:YAG- und Er:YAG-Lasers bei unterschiedlichen Laserleistungen und erzielten die besten Ergebnisse mit dem Er:YAG-Laser. Im Rahmen anderer Untersuchungen mit dem Er:YAG-Laser<sup>18,19</sup> konnten ebenfalls Keimreduktionen nachgewiesen werden.

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie sich ein Er,Cr:YSGG-Laser zur Keimreduktion verwenden lässt. In einem In-vitro-Versuch wurde insbesondere untersucht, wie effizient diese Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 2780 nm Keime aus verschiedenen Dentintiefen eliminieren kann. Darüber hinaus wurde die Oberflächenstruktur des gelaserten Dentins rasterelektronenmikroskopisch analysiert.

## Material und Methode

### Probenmaterial

Es wurden ca. 200 kariesfreie menschliche Zähne untersucht, die mit Hilfe von Scalern und Ultraschall (Cavitron®; Fa. Siemens) von Plaque und Parodontalgewebe gereinigt

worden waren. Der Kronenanteil der Zähne wurde an der Schmelz-Dentin-Grenze mit einem Trennschleifsystem (Exakt®, Hamburg) abgetrennt. Nach Exstirpation der Pulpa wurden alle Kanallumina maschinell mit dem Endolift M4® der Firma Kerr (Sybron, Österreich) bis ISO-Größe 40 mit Kerr-Feilen aufbereitet. Die so vorbereiteten Zahnwurzeln wurden nun mit dem Sägemikrotom 1600® (Leitz, Wetzlar) zu Schnitten mit fünf unterschiedlichen Schichtdicken (100 µm, 150 µm, 300 µm, 500 µm, 1000 µm) verarbeitet. Dabei wurde darauf geachtet, nur wurzelkanalwandnahe Schnitte, die möglichst parallel zum Kanallumen verlaufen, zu produzieren. Alle Schnitte, die diese Kriterien nicht erfüllten, wurden verworfen.

Die Schnitte wurden entsprechend ihren Schichtdicken getrennt in isotonischer Kochsalzlösung aufbewahrt. Die Keimfreiheit der Schnitte und des Instrumentariums wurde durch Dampfsterilisation (Sauter® Modell 9-6-9 H51; T = 121 °C, t = 20 min) erreicht.

Der Endo-Tip des Lasers, eine 200-µm-Quarzfaser, wurde nach jedem Einzelversuch mit 70%igem Alkohol desinfiziert. Pro Schichtdicke wurden jeweils 25 Schnitte einseitig mit 1 µl der *Enterococcus-faecalis*-Keimsuspension (durchschnittliche Konzentration: 1,68 x 10<sup>9</sup> Keime/ml) beimpft. Hierfür wurde eine geeichte Eppendorf-Pipette benutzt.

### Methoden

Gelasert wurde viermal zehn Sekunden lang in Intervallen von je fünf Sekunden mit einem Er,Cr:YSGG-Laser,  $\lambda = 2,78 \mu\text{m}$  (Biolase® Technology Inc., San Clemente, CA, USA). Die Laserparameter waren: 0,25 W, 20 Hz (entspricht 12,5 mJ); das Winkelstück des Lasers war mit einer 200-µm-Quarzfaser (Endo-Tip) ausgestattet. Zur Nachahmung der Tipführung im Wurzelkanal wurde ein Anstellwinkel von 5° festgesetzt, und die Dentinschnitte wurden von der nicht-kontaminierten Seite bestrahlt. Auf diese Weise konnte die Durchdringungstiefe der Laserstrahlung innerhalb tief infizierten Wurzelkanaldentins simuliert werden. Es verblieben je Teilversuch fünf Dentinscheiben zur Positivkontrolle ungelasert.

Nach der Laserung wurden ausgewählte Dentinproben rasterelektronenmikroskopisch untersucht, um die Veränderungen der Oberfläche darzustellen. Hierzu wurden die Dentinscheiben durch eine aufsteigende Alkoholreihe (30 %, 50 %, 70 %, 90 %, ca.100 %) jeweils zehn Minuten lang entwässert und in einem Exsikkator getrocknet. Die Goldbedampfung erfolgte mittels Kathodenbestäubung (Balzers®: SCD 030, Liechtenstein). Für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung wurde das SEM 515® der Fa. Philips (Eindhoven, Niederlande) eingesetzt.

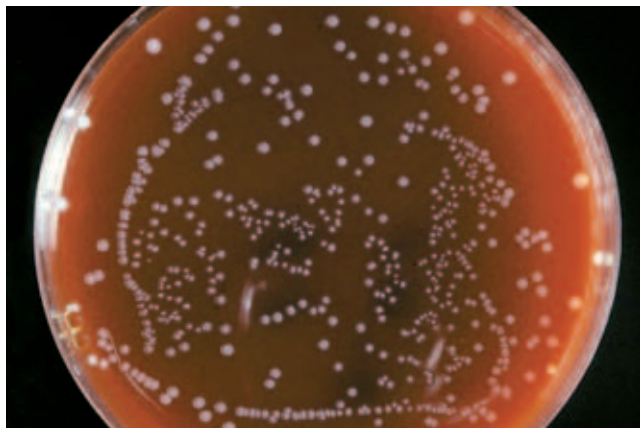


Abb. 1 Anzucht einer Positivkontrolle.

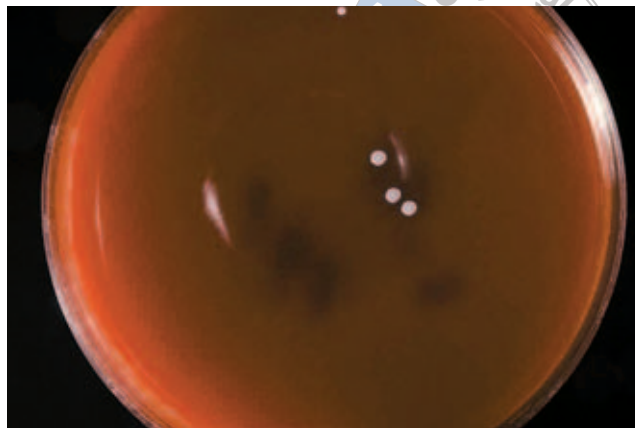


Abb. 2 Anzucht einer gelaserten Probe.

## Auswertung

Alle Dentinschnitte – sowohl die gelaserten als auch die ungelaserten Positivkontrollen – wurden in Reagenzröhrchen, die mit 1 ml NaCl-Lösung ( $10^{-3}$ ) gefüllt waren, gegeben und für fünf Minuten auf einen Vibrationsrüttler gestellt, um eine größtmögliche Ablösung der verbliebenen Keime von den Schnitten zu erzielen. Sodann wurde eine Verdünnungsreihe angefertigt ( $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ), wobei die drei letzten Verdünnungen folgendermaßen zur Anzucht verwendet wurden. Jeweils 100  $\mu$ l wurden bis zur vollständigen Aufnahme der verdünnten Keimlösung auf Columbia-Agar verteilt und danach 24 Stunden lang bei einer Temperatur von 37°C im Brutschrank belassen. Am darauf folgenden Tag wurden die koloniebildenden Einheiten (kbE) gezählt und deren Anzahl notiert. Außerdem wurde zur Ermittlung der Ausgangskonzentration die *Enterococcus-faecalis*-Lösung nach dem gleichen Prinzip rekultiviert. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen typische Anzuchtergebnisse des Versuchskeims.

## Ergebnisse

### Keimreduzierung

Aus den kbE-Werten der Laserproben und den Positivkontrollen wurden die Reduktionswerte ermittelt. Es war zu erkennen, dass die Positivkontrollwerte von der Schichtdicke abhingen. Vermutet wird eine erhöhte Dentinpenetration des Testkeims *Enterococcus faecalis* in die Dentintubuli<sup>20</sup>. Zur Ermittlung der Effizienz der Keimabtötung wurde der Einzelreduktionsquotient herangezogen. Er ergibt sich als

$$\text{Einzelreduktionsquotient} = 1 - \frac{\text{kbE-Laserproben}}{\text{Mittelwert der Positivkontrollen}}$$

Der Einzelreduktionsquotient wurde daher schichtstärkeabhängig aus den kbE-Werten der Laserproben und dem Mittelwert der Positivkontrollen der entsprechenden Dentinschicht bestimmt. Die Bakterienreduktion bezieht sich auf 100% Ausgangskonzentration. Die Ergebnisse bezüglich der ermittelten Reduktionen in Abhängigkeit von der Schichtdicke des Dentins sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1 Ergebnisse bezüglich der ermittelten Reduktionen in Abhängigkeit von der Schichtdicke des Dentins.

Dentin [ $\mu$ m]	Anzahl der Laserproben	Anzahl der Positivkontrollen	Reduktion der kbE [%]
100	N = 19	N = 5	93 $\pm$ 10
150	N = 20	N = 5	82 $\pm$ 12
300	N = 20	N = 5	82 $\pm$ 25
500	N = 19	N = 5	58 $\pm$ 40
1000	N = 20	N = 5	37 $\pm$ 46



**Tab. 2** Erwartungswerte und Konvidenz.

Dentindicke [ $\mu\text{m}$ ]	Erwartungswert [%]	Obergrenze [%]	Untergrenze [%]	Konvidenzintervall für 95%
100	93	98	88	10
150	82	88	76	12
300	82	93	70	23
500	58	77	39	38
1000	37	59	16	43

Die Streuung um diesen Reduktionsmittelwert ist mit einem Konfidenzniveau von 95 % bestimmt worden. Somit beträgt die Wahrscheinlichkeit 95 %, dass die Intervalle den wahren Wert, also den Reduktionsmittelwert überdecken. Der Radius um diese Werte ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Unter Verwendung des Wilcoxon-Tests wurden die Werte der koloniebildenden Einheiten je Teilversuch mit den dazugehörigen Positivkontrollen verglichen. Zur Bestimmung der Signifikanz gilt ein p-Wert unter 0,05. Obwohl bei allen Schichtdicken eine Keimreduktion erzielt wurde, war diese nur bis zu einer Schichtdicke von 500  $\mu\text{m}$  signifikant. Die entsprechenden p-Werte sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

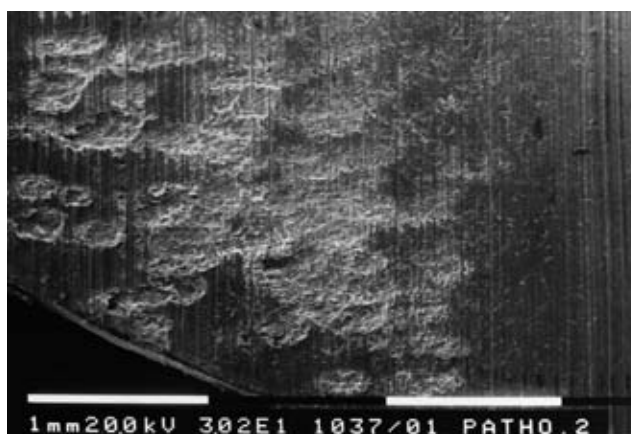
### Rasterelektronische Untersuchung der Dentinoberflächen

Die ungelaserten Bereiche der Dentinschnitte zeigen deutliche Schleifspuren des Mikrotoms. Es sind schlitzförmige Eingänge der Dentintubuli zu sehen und Risse zu erken-

nen, die wahrscheinlich während des Schneidevorgangs entstanden sind (Abb. 3). Die gelaserte Dentinoberfläche zeigt eine nicht mehr flächendeckende Beschaffenheit, sondern ein unregelmäßiges Höhen-Tiefen-Relief (s. Abb. 3, linker Bildbereich). Das Bild erinnert an eine Kraterlandschaft. Das weniger stark mineralisierte intertubuläre Dentin scheint durch die Laserstrahlung stärker abgetragen worden zu sein als das höher mineralisierte peritubuläre Dentin (Abb. 4). Das intertubuläre Dentin weist scharfkantige Aussprengungen auf. Es sind wenige Risse in der Oberfläche zu erkennen, die – wie bereits erwähnt – wahrscheinlich schon während des Schneidevorgangs bei der Schnittherstellung und nicht erst durch den Laservorgang entstanden sind, da sich ähnliche Formierungen auch an den ungelaserten Arealen erkennen lassen. Deutlich sichtbar sind die Tubulieingänge. Es zeigen sich keine Anzeichen für Verschmelzungen oder Verbrennungen. Die gelaserte Oberfläche ist weitgehend frei von Bakterien; nur selten sind in den Tubuliöffnungen entsprechende Strukturen zu erkennen (Abb. 5).

**Tab. 3** Signifikanzen der Reduktionsergebnisse.

Schichtdicke	p-Wert	Reduktion signifikant im Vergleich zur Positivkontrolle
100	0,0008	ja
150	0,0008	ja
300	0,002	ja
500	0,0167	ja
1000	0,0528	nein



**Abb. 3** Die ungelaserten Bereiche der Dentinschnitte rechts im Bild zeigen deutliche Schleifspuren des Mikrotoms. Es sind schlitzförmige Eingänge der Dentintubuli zu sehen.



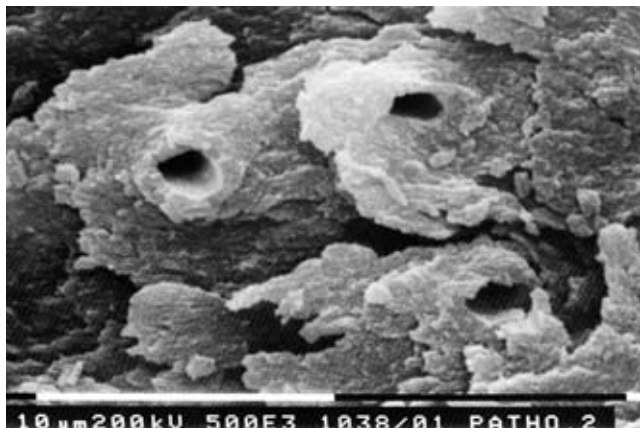


Abb. 4 Das weniger stark mineralisierte intertubuläre Dentin scheint durch die Laserstrahlung stärker abgetragen worden zu sein als das höher mineralisierte peritubuläre Dentin.

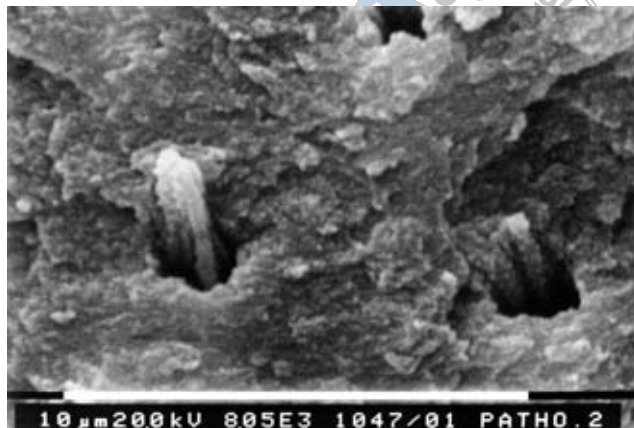


Abb. 5 Bakterium in Tubulusöffnung.

## Diskussion

Als Testkeim für diesen Versuch wurde *Enterococcus faecalis* gewählt. Es handelt sich um einen fakultativ anaeroben, grampositiven Keim. Er ist relativ unempfindlich und eignet sich daher gut als Versuchskeim<sup>21</sup>. Somit konnten falsch-positive Ergebnisse minimiert werden. Außerdem steht dieser Keim in engem Zusammenhang mit persistierenden apikalen Parodontitiden<sup>22,23</sup> bzw. misslungenen endodontischen Behandlungen<sup>24</sup>. Die Sensibilität des Keims, der mit konventionellen Methoden nur schwer zu eliminieren ist<sup>25</sup>, gegenüber der Behandlung mit dem Er,Cr:YSGG-Laser ist daher von besonderem Interesse.

Die antibakterielle Wirkung beruht auf einer lokalen Erhitzung durch Absorption der Laserstrahlung. Der Energieumsatz erfolgt dabei entweder direkt an den Mikroorganismen oder an den benachbarten Dentinstrukturen und zwar sowohl an der Dentinoberfläche als auch in tiefer liegenden Dentinstrukturen. Somit ergibt sich eine höhere Effektivität als bei Wärmebehandlungen, wie zum Beispiel durch heiße Spülflüssigkeiten.

Es ist jedoch zu bedenken, dass die Wärmeableitung in diesem Modell höher ist, wenn man es mit den natürlichen Verhältnissen bei einer endodontischen Behandlung im Mund vergleicht. In diesem Versuch wurden Dentinscheiben gelasert. In vivo handelt es sich jedoch um ein Kanallumen, das zirkulär von Dentin und den bekannten anatomischen Strukturen umgeben ist, sodass ein entsprechend größerer Wärmestau zu erwarten ist. Außerdem muss bedacht werden, dass die gelaserten Dentinschnitte aus kariesfreiem, unverändertem Gewebe hergestellt wurden. Unter natürlichen Bedingungen können Verfärbungen des Dentins oder pigmentierte Keime andere optische Eigenschaften aufweisen, die lokal zu einer erhöhten Absorption der Laserstrahlen führen und

die Transmission der Strahlung entsprechend vermindern könnten.

Die Werte der koloniebildenden Einheiten weisen bei allen Teilversuchen eine breite Streuung auf. Dies bezieht sich nicht nur auf die Werte der gelaserten Dentinscheiben, sondern auch auf die Werte der Positivkontrollen und der Reinkultivierung. Statistisch schlägt sich dies in den breiten Konfidenzintervallen der Reduktionswerte nieder.

Die Keimreduktion (als Prozentangabe) bezieht sich auf eine Ausgangsinkubation von 100 %. Die schichtstärkeabhängigen Reduktionsmittelwerte variieren von 93 % für eine Schichtdicke von 100 µm und 38 % bei 1000 µm. Unabhängig von der Schichtdicke wurde eine Gesamt-reduktion von 75 % erreicht. Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass der Laser bei einer minimalen Einstellung von 0,25 W eingesetzt wurde. Mit Hilfe der rasterelektronenmikroskopischen Betrachtung sollten die Oberflächenveränderung und die bakterielle Besiedelung nach der Laserbestrahlung untersucht werden.

Die REM-Bilder einiger ausgewählter Dentinschnitte dieser Studie zeigen ähnliche morphologische Veränderungen, wie sie in vergleichbaren morphologischen Studien mit dem Er,Cr:YSGG-Laser nachgewiesen wurden<sup>26–28</sup>. Allerdings untersuchten nur Yamazaki et al.<sup>26</sup> Oberflächenveränderungen mit und ohne Kühlung der gelaserten Objekte bei verschiedenen Leistungen. Die während der Laserbestrahlung gekühlten und die unter 2 W ungekühlt gelaserten Wurzelkanäle zeigten keine Anzeichen von Verbrennungen. Risse wurden an den ungekühlten, über 2 W gelaserten Dentinabschnitten und an den über 5 W bestrahlten Oberflächen trotz Kühlung beobachtet. Dies bestätigt die in dieser Arbeit gewählten Einstellungen des Lasers. In verschiedenen Studien wird über ähnliche morphologische Veränderungen nach Behandlung mit einem Er:YAG-Laser und einem Er,Cr:YSGG-

Laser berichtet<sup>29–31</sup>. Die Autoren führen dies auf die nur leicht unterschiedliche Wellenlänge zurück, die für den Er:YAG-Laser bei 2,94 µm und für den Er,Cr:YSGG-Laser bei 2,78 µm liegt. Aus diesem Grund ist ein Vergleich der jeweiligen Keimreduktion zwischen diesen beiden Lasern von vorrangigem Interesse.

Mehl et al.<sup>18</sup> untersuchten die desinfizierende Wirkung des Er:YAG-Lasers bei 50 mJ und 15 Hz auf *Staphylococcus aureus* und *Escherichia coli* innerhalb des Wurzelkanals in vitro. Bei einer Bestrahlungsdauer von 15 Sekunden erreichten sie eine Keimreduktion von 85 % bzw. 87 %. Eine längere Bestrahlungsdauer von 60 Sekunden ergab eine entsprechend stärkere desinfizierende Wirkung von 94 % bzw. 96 %. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Testkeimen konnte nicht festgestellt werden. Gutknecht et al.<sup>19</sup> erreichten bei 50 mJ eine mittlere Keimreduktion von 98,8 % (*Enterococcus faecalis*). Es wurden – wie auch in der vorliegenden Arbeit – ebenfalls Dentinschnitte unter den gleichen Bedingungen bestrahlt. Bei einer Schichtdicke von 100 µm erzielten sie eine Bakterienreduktion von 97,7 % und bei einer Schichtdicke von 500 µm noch von 54 %.

Bei Anwendung eines Diodenlasers der Wellenlänge 980 nm wurde bei verschiedenen Durchschnittsleistungen (1,75 W; 2,3 W; 2,8 W) bei einer Dentindicke von 100 µm eine Bakterienreduktion von 97 % beobachtet, während bei 500 µm noch eine Reduktion von 86 % nachgewiesen wurde<sup>12</sup>. Mit einem Diodenlaser der Wellenlänge 810 nm konnte bei 3 W Durchschnittsleistung bis zu 100 µm Dentindicke eine Keimreduktion von 97 % und bei 500 µm eine Reduktion von 74 % ermittelt werden<sup>11</sup>.

## Literatur

1. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Comparative study about the removal of smear layer by three types of laser devices. *J Clin Laser Med Surg* 1998;16(2):117–122.
2. Harashima T, Takeda FH, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of Nd:YAG laser irradiation for removal of intracanal debris and smear layer in extracted human teeth. *J Clin Laser Med Surg* 1997;15(3):131–135.
3. Takeda HT, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Efficacy of Er:YAG laser irradiation in removing debris and smear layer on root canal walls. *J Endod* 1998;24(8):548–551.
4. Matsuoka E, Kimura Y, Matsumoto K. Studies on the removal of debris near the apical seats by Er:YAG laser and assessment with a fiberscope. *J Clin Laser Med Surg* 1998;16(5):255–261.
5. Klinke T, Klimm W, Gutknecht N. Antibacterial effects of Nd:YAG laser irradiation within root canal dentin. *J Clin Laser Med Surg* 1997;15(1):29–31.
6. Gutknecht N, Moritz A, Conrads G, Sievert T, Lampert F. Bacterial effect of the Nd:YAG laser in in-vitro root canals. *J Clin Laser Med Surg* 1996;14(2):77–80.
7. Moritz A, Doertbudak O, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Speer W. Nd:YAG laser irradiation of infected root canals in combination with microbiological examinations. *JADA* 1997;128:1525–1530.
8. Berkiten M, Berkiten R, Okar I. Comparative evaluation of antibacterial effects of Nd:YAG laser irradiation in root canals and dentinal tubules. *J Endod* 2000;26(5):268–273.
9. Piccolomini R, D'Arcangelo C, D'Ercole S, Catamo G, Schiaffino G, De Fazio P. Bacterial evaluation of the effect of Nd:YAG laser irradiation in experimental infected root canals. *J Endod* 2002;28(4):276–278.
10. Gutknecht N, Kaiser F, Hassan A, Lampert F. Long-term clinical evaluation of endodontically treated teeth by Nd:YAG lasers. *J Clin Laser Med Surg* 1996;14(1):7–11.
11. Gutknecht N, van Gogswaardt D, Conrads G, Apel C, Schubert C, Lampert F. Diode laser radiation and its bacterial effect in root canal wall dentin. *J Clin Laser Med Surg* 2000;18(2):57–60.
12. Gutknecht N, Schippers M, Franzen F, Lampert F. The bacterial effect of a 980 nm diode laser in the root canal wall dentin of bovine teeth. *J Clin Laser Med Surg* 2004;22(1):9–13.
13. Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Doertbudak O, Sperr W. Irradiation of infected root canals with diode laser in vivo: Results of microbiological examinations. *Lasers Surg Med* 1997;21:221–226.
14. Le Goff A, Dautel-Morazin A, Guigand M, Vulcain JM, Bonnaure-Mallet M. An evaluation of the CO<sub>2</sub> laser for endodontic disinfection. *J Endod* 1999;25(2):105–108.
15. Gutknecht N, Nuebler-Moritz M, Fallot-Burghardt S, Lampert F. The efficiency of root canal disinfection using a holmium:yttrium-aluminum-garnet laser in vitro. *J Clin Laser Med Surg* 1997;15(2):75–78.
16. Folwaczny M, Liesenhoff T, Lehn N, Horch HH. Bacterial action of 308 nm excimer-laser radiation: An in-vitro investigation. *J Endod* 1998;24(12):781–785.
17. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch J, Sperr W. The bacterial effect of Nd:YAG, Ho:YAG, and Er:YAG laser irradiation in the root canal: An in-vitro comparison. *J Clin Laser Med Surg* 1999;17(4):161–164.
18. Mehl A, Folwaczny M, Haffner C, Hickel R. Bacterial effects of 2.94 µm Er:YAG-laser radiation in dental root canals. *J Endod* 1999;25(7):490–493.
19. Gutknecht N, Garcia-Schürmann M, Apel C, Meister J, Lampert F. Bacterial effects of Er:YAG laser radiation in root canals. 1. Esola-Kongress Wien, 2001. [www.esola.at/eng/p8.htm-101k](http://www.esola.at/eng/p8.htm-101k), Nr.12.
20. Peters L B, Wesselink P R, Moorer W R. Penetration of bacteria in bovine root dentine in vitro. *International Endodontic Journal*, 33:28–36, 2000
21. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, Suzuki N, Murakami Y, Matsumoto K. Analysis of surface roughness of enamel and dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation. *J Clin Laser Med Surg* 2001;19(6):297–303.
22. Haapasalo M, Ranta H, Ranta KT. Facultative gram-negative enteric rods in persistent periapical infections. *Acta Odontol Scand* 1983;41:19–22.
23. Haapasalo M, Ørstavik D. In-vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res* 1987;66:1375–1379.
24. Love RM. *Enterococcus faecalis* – a mechanism for its role in endodontic failure. *Int Endod J* 2001;34:399–405.
25. Dahlen G, Samuelson W, Molander A, Reit C. Identification and antimicrobial susceptibility of enterococci isolated from the root canal. *Oral Microbiol Immunol* 2000;15:309–312.
26. Yamazaki R, Goya C, Yu DG, Kimura Y, Matsumoto K. Effects of erbium,chromium:YSGG laser irradiation on root canal walls: A scanning electron microscopic and thermographic study. *J Endod* 2001;27(1):9–12.
27. Yu DG, Kimura Y, Kinoshita J, Matsumoto K. Morphological and atomic analytical studies on enamel and dentin irradiated by an Er,Cr:YSGG laser. *J Clin Laser Med Surg* 2000;18(3):139–143.
28. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, Suzuki N, Murakami Y, Matsumoto K. Analysis of surface roughness of enamel and dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation. *J Clin Laser Med Surg* 2001;19(6):297–303.

29. Kimura Y, Yu DG, Kinoshita J, Hossain M, Yokoyama K, Murakami Y, Nomura K, Takamura R, Matsumoto K. Effects of Er,Cr:YSGG laser irradiation on root surface: Morphological and atomic analytical studies. *J Clin Laser Med Surg* 2001;19(2):69–72.
30. Matsumoto K, Hossain M, Hossain MMI, Kawando H, Kimura Y. Clinical assessment of Er,Cr:YSGG laser application for cavity preparation. *J Clin Laser Med Surg* 2002;20(1):17–21.
31. Kimura Y, Yu DG, Fujita A, Yamashita A, Murakami Y, Matsumoto K. Effects of erbium,chromium:YSGG laser irradiation on canine mandibular bone. *J Periodontol* 2001;72(9):1178–1182.

### Autoren

René Franzen, Anja Wallerang,  
Leon Vanweersch, Norbert Gutknecht

### Korrespondenzadresse

Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive  
Zahnheilkunde, Universitätsklinikum Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen  
E-Mail: rfranzen@ukaachen.de

## Bactericidal Effect of Er,Cr:YSGG Laser Radiation on *Enterococcus Faecalis* in Human Dentin in Varying Depths – An Endodontic In-Vitro Study

**Key words:** Laser, Er,Cr:YSGG, endodontics

### Summary

The subject of this study was the investigation of the depth effect of an Er,Cr:YSGG laser concerning its germ-reducing ability. As specimen we used human tooth roots, whose lumens were prepared according to conventional method to ISO 40. From this roots we prepared dentin slices of different thicknesses within the range of 100 µm to 1000 µm. After sterilization of the slices they were inoculated with 1 µl germ suspension with *Enterococcus faecalis* and after drying the slices were irradiated with a pulse energy of 12,5 mJ from the contralateral side with an Er,Cr:YSGG laser with an angle of incidence of 5°. For the determination of the germ reduction a control group without irradiation was compared to the irradiated specimen. Despite the low pulse energy of 12,5 mJ the experiments resulted in a significant germ reduction up to a dentin thickness of 500 µm. SEM pictures of the contaminated and irradiated dentin slices were made and show a most extensive clean surface without a smear layer. The entrances of the dentin tubules are clearly visible.