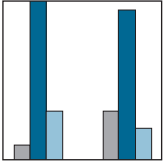


Scherhaftfestigkeit nach Bonding von Komposit auf Dentin: Einfluss von Er:YAG- und Nd:YAG-Lasern



Carolina Ferraz Ribeiro, DDS, MS¹
 Sérgio Eduardo de Paiva Gonçalves, DDS, MS, PhD²
 Karen Cristina Kazue Yui, DDS, MS, PhD³
 Alessandra Bühler Borges, DDS, MS, PhD⁴
 Daphne Câmara Barcellos, DDS, MS¹
 Ricardo Brayner, DDS⁵

In dieser Studie wurde untersucht, wie sich die Laserung mit Er:YAG- und Nd:YAG-Lasern auf die Scherhaftfestigkeit von Komposit auf Dentin auswirkt. Dazu wurde der koronale Anteil von 56 humanen Molaren in drei Abschnitte unterteilt und die Dentindicke auf 2 mm standardisiert. In der Mitte jedes Zahns wurde mit Klebeband ein 3 mm großes Loch markiert. Dann wurden die Proben in vier Gruppen (n = 14) eingeteilt: (1) säuregeätzt + Single Bond (SB) (Kontrolle), (2) säuregeätzt + SB + Nd:YAG-Laserung (vor der Aushärtung des Adhäsivs), (3) thermisch geätzt mit dem Er:YAG Laser + SB und (4) thermisch geätzt mit dem Er:YAG-Laser + SB + Nd:YAG-Laser (vor der Aushärtung des Adhäsivs). In den markierten Defekt wurde ein Kompositzylinder eingebracht, mit dessen Hilfe die Scherhaftfestigkeit in einer Universalprüfmaschine getestet wurde. Die Mittelwerte ± Standardabweichungen betragen: 17,05 ± 4,15 MPa (Gruppe 1), 16,90 ± 3,36 MPa (Gruppe 2), 12,12 ± 3,85 MPa (Gruppe 3) und 12,92 ± 2,73 MPa (Gruppe 4). Die Gruppen 1 und 2 wiesen signifikant höhere Werte auf als die Gruppen 3 und 4. Das konventionelle Ätzen mit 37 % Phosphorsäure vermittelte offenbar eine signifikant höhere Haftkraft als das thermische Ätzen mit dem Er:YAG-Laser. Der Nd:YAG-Laser beeinflusste die Haftkraft nicht signifikant. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2013;33:349–353.)

Aufgrund der Fortschritte von Adhäsivsystemen in der ästhetischen Zahnheilkunde werden in wissenschaftlichen Studien zunehmend Adhäsivverfahren geprüft. Sie bieten einen größeren Erhalt der intakten Zahnhartsubstanz, sodass die Präparation konservativer angelegt werden kann, und eine bessere Verteilung der Belastung entlang der Adhäsivflächen¹.

Um bei ästhetischen Restaurationen die Dentinadhäsion zu verstärken, wurde eine Dentinbehandlung mit Lasern vorgeschlagen^{2,3}.

Der Er:YAG-Laser erzeugt im dentalen Hartgewebe durch das Verdampfen von Wasser und anderen hydrierten organischen Komponenten Mikroexplosionen, durch die Unregelmäßigkeiten auf der Zahnoberfläche entstehen und einige der Dentintubuli (ohne Bildung eines Schmierfilms) eröffnet werden. Diese Situation bietet ideale Voraussetzun-

¹ Postgraduate Student, Clinical Research Academic Group, São José dos Campos School of Dentistry, UNESP – São Paulo State University, São Paulo, Brasilien.

² Außerordentlicher Professor, Department of Restorative Dentistry, São José dos Campos School of Dentistry, UNESP – São Paulo State University, São Paulo, Brasilien.

³ Stellvertretende Professorin, Department of Restorative Dentistry, São José dos Campos School of Dentistry, UNESP – São Paulo State University, São Paulo, Brasilien.

⁴ Assistenzprofessorin, Department of Restorative Dentistry, São José dos Campos School of Dentistry, UNESP – São Paulo State University, São Paulo, Brasilien.

⁵ Trainee, Clinical Research Academic Gruppe, São José dos Campos School of Dentistry, UNESP – São Paulo State University, São Paulo, Brasilien.

Korrespondenz an: Dr. Sérgio Eduardo de Paiva Gonçalves, Avenida Engenheiro Francisco José Longo, 777, Jardim São Dimas, São José dos Campos, SP, Brasilien, CEP: 12245-000; Fax: +55 12 3947 9010; E-Mail: sergio@fosjc.unesp.br

©2013 by Quintessence Publishing Co Inc.

gen für den Einsatz von Adhäsivtechniken. Die Behandlung mit einem Er:YAG-Laser könnte damit als Alternative zum Säureätzen der Dentinoberfläche gelten^{4,5}.

Die Anwendung des Nd:YAG-Lasers auf Dentin, das zuvor mit einem Adhäsiv imprägniert wurde, führt in Gegenwart von Kunststoffmonomeren zur Fusion und Rekristallisierung von Dentinhydroxylapatit, sodass ein resistenteres Substrat mit höherer chemischer Affinität für den Adhäsionsprozess entsteht^{6,7}.

In dieser Studie wurde die Scherhaftfestigkeit von Dentin untersucht, indem das konventionelle chemische Ätzen mit Phosphorsäure mit dem thermomechanischen Ätzen mit dem Er:YAG-Laser verglichen wurde. Weiterhin wurde der Erfolg der Dentinbehandlung mit dem Nd:YAG-Laser nach Anwendung des Adhäsivsystems ausgewertet.

Material und Methode

Zahnpräparation

In dieser Studie wurden 56 intakte humane Molaren verwendet, die von der Chirurgischen Abteilung der São José dos Campos Dental School – UNESP, São Paulo, Brasilien, zur Verfügung gestellt wurden. Die extrahierten Zähne von erwachsenen Patienten wurden gereinigt und für bis zu 29 Tage bei -18 °C in destilliertem Wasser gelagert. Mithilfe eines Silikonschlüssels wurden die Zähne so in Akrylharz eingebettet, dass ihre Kauflächen parallel zur horizontalen Ebene verliefen.

Der koronale Anteil jedes Zahns wurde mit einem Diamantschneider (Labcut 1010, Extec) parallel zur Okklusionsebene in drei Abschnitte unterteilt, die getrennt wurden. Der mittlere Abschnitt wurde zur Standardisierung der Dentindicke auf 2 mm

mit einem Dickenmesser vermessen und mithilfe eines Silikonschlüssels so in Akrylharz eingebettet, dass die Dentinoberfläche horizontal verlief. Anschließend wurde die Dentinoberfläche mit Schleifpapier zunehmend feinerer Körnung (von 400 auf 800) maschinell poliert.

Oberflächenbehandlung und Herstellung der Proben

In einem Klebeband (3M ESPE) wurde eine 3 mm große Öffnung angelegt, um den Bereich zu standardisieren, der auf der Dentinoberfläche behandelt wurde. Die Proben wurden randomisiert vier Behandlungen zugeteilt, sodass jede Gruppe 14 Proben umfasste:

- Gruppe 1 (Kontrolle): chemisches Ätzen für 15 s mit 37 % Phosphorsäure, Spülen, Abtrocknen mit Wattepellets und Anwendung des Adhäsivsystems Single Bond (3M ESPE) in zwei Schichten übereinander, vorsichtiges Trocknen für 2 bis 5 s und Lichthärtung für 10 s
- Gruppe 2: chemisches Ätzen für 15 s mit 37 % Phosphorsäure, Spülen, Abtrocknen mit Wattepellets und Anwendung des Adhäsivsystems Single Bond. Vor der Lichthärtung des Adhäsivsystems wird das vom Adhäsiv bedeckte Dentin mit dem Nd:YAG-Laser (Pulse Master 600 IQ, American Dental Technologies) behandelt, mit 140 mJ/Puls, 10 Hz, 1,4 W, 174,1 J/cm², mit einem Abstand von etwa 2 mm ohne Kontakt, Scannen der Oberfläche für 60 s. Anschließend Lichthärtung des Adhäsivs für 10 s
- Gruppe 3: thermisches Ätzen mit dem Er:YAG-Laser (Kavo Key Laser) mit 60 mJ, 10 Hz, 20 mJ/cm², bei einem Abstand von

etwa 2 mm ohne Kontakt, Scannen der Oberfläche für 30 s und unter Kühlung mit destilliertem Wasser, Auftragen des Adhäsivsystems Single Bond und Lichthärtung des Adhäsivs für 10 s

- Gruppe 4: thermisches Ätzen mit dem Er:YAG-Laser bei 60 mJ/Puls, 10 Hz, 20 mJ/cm², bei einem Abstand von etwa 2 mm ohne Kontakt, Scannen der Oberfläche für 30 s und unter Kühlung mit destilliertem Wasser, Auftragen des Adhäsivsystems Single Bond. Vor der Lichthärtung des Adhäsivsystems wird das von Adhäsiv bedeckte Dentin mit dem Nd:YAG-Laser bestrahlt, mit 140 mJ/Puls, 10 Hz, 1,4 W, 174,1 J/cm², mit einem Abstand von etwa 2 mm ohne Kontakt, Scannen der Oberfläche für 60 s. Anschließend Lichthärtung des Adhäsivs für 10 s

Zur Herstellung von Kompositzylindern mit einem Durchmesser von 3 mm und einer Höhe von 5 mm wurden die Proben in einer Metallmatrix angeordnet. Das Hybrid-Komposit Z-100 (3M ESPE), Shade B2, wurde in zwei Schichten aufgetragen, die jeweils für 40 s lichtgehärtet wurden (Optilight 600, Gnatus Equipamentos Médico-Odontológicos). Anschließend wurden die Proben für sieben Tage in destilliertem Wasser bei 37 °C gelagert.

Prüfung der Scherhaftfestigkeit

Die Scherhaftfestigkeit wurde mit einer Universalprüfmaschine (Emic) getestet, bei einer Kreuzkopfgeschwindigkeit von 0,5 mm/min und einer Lastzelle von 100 kgf, wobei die Proben in einer speziellen Halterung befestigt waren. Die Ergebnisse wurden als MPa angegeben.

Auswertung des Frakturtyps

Nach der Prüfung der Scherhaftfestigkeit wurden alle Proben unter einem Stereomikroskop (Stemi 2000-C, Carl Zeiss) auf Frakturen untersucht. Dazu wurden sie im mittleren Bereich mit einer Schicht aus Hämatoxylin-Eosin¹¹ überzogen, das das Komposit nicht anfärbt, während das Komposit weder Dentin noch Zahn anfärbt. Die Frakturen wurden eingeteilt in (1) kohäsiver Typ I: kohäsiv im Komposit, (2) kohäsiver Typ II: kohäsiv im Dentin, (3) adhäsiv: am Dentin-Adhäsiv- oder Adhäsiv-Komposit-Kontakt und (4) gemischt: eine Kombination aus kohäsiven und adhäsiven Frakturen.

Für jede Gruppe wurden die Mittelwerte berechnet und eine zweiseitige Varianzanalyse (ANOVA) sowie Tukey-Tests mit einem Signifikanzniveau von 5 % ($P < 0,05$) durchgeführt.

Ergebnis

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte \pm Standardabweichungen der Scherhaftfestigkeit aufgeführt. Die ANOVA ergab signifikante Unterschiede für die Art des Ätzens ($P = 0,001$). Der Einsatz und die Interaktion des Nd:Yag-Lasers und ergaben keine signifikanten Unterschiede.

Die Ergebnisse bezüglich der Frakturtypen zeigt Abbildung 1. In keiner der Gruppen kam es zu kohäsiven Frakturen des Komposits (Typ I). In allen Gruppen traten vor allem adhäsive Frakturen auf.

Diskussion

Die Penetration von Kunststoffmonomeren in die Zahnschubstanz gilt als der zentrale Mechanismus beim Bonding, wobei die hydrophilen Monomere das Dentin jedoch nur selten gleichmäßig infiltrieren^{1,8-10}.

Tabelle 1 Mittelwert \pm Standardabweichung der Scherhaftfestigkeit (MPa) der vier Behandlungsgruppen

Behandlung	Gruppe			
	1	2	3	4
Säureätzen	17,05 \pm 4,15	-	-	-
Säureätzen mit Nd:YAG	-	16,90 \pm 3,36	-	-
Er:YAG-Ätzen	-	-	12,12 \pm 3,85	-
Er:YAG- und Nd:YAG-Ätzen	-	-	-	12,92 \pm 2,73

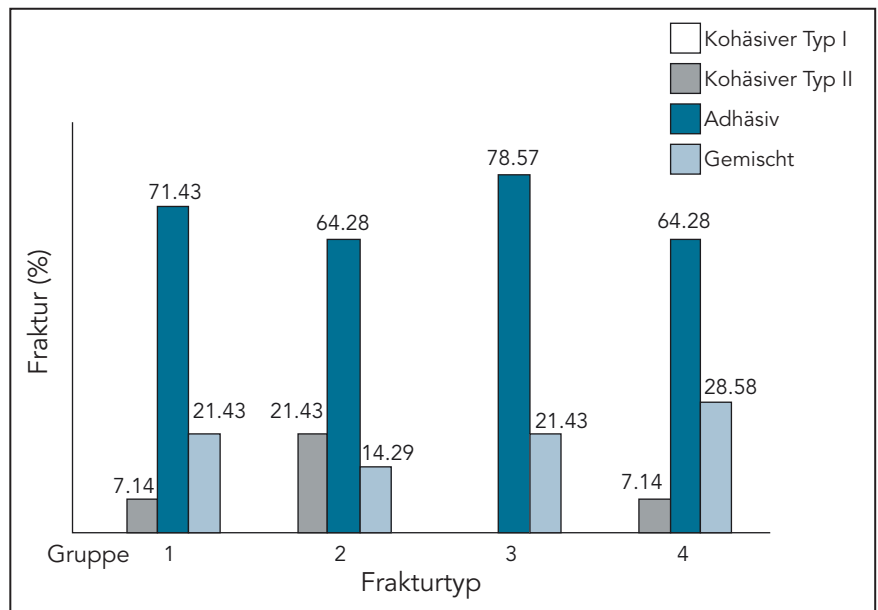


Abb. 1 Analyse der Frakturtypen.

Bekanntermaßen reduziert der Schmierfilm die Oberflächenenergie und senkt die Reaktivität des Dentins auf das Adhäsivsystem, womit die Haftkraftwerte verringert werden^{2,9,11}. Daher wird davon ausgegangen, dass das Dentin ohne den Schmierfilm physikalisch resistenter und chemisch besser für die Durchführung von Adhäsivverfahren geeignet ist.

Da das thermomechanische Ablationsverfahren von dentalen Hartgeweben mit dem Er:YAG-Laser nicht zu einem Schmierfilm führt, könnte

dieser Laser eine Alternative zum Säureätzen bieten^{2,3,11-13}.

Die Bestrahlung von Dentin mit dem Er:YAG-Laser eröffnet die Dentintubuli und bildet eine unregelmäßige Oberfläche. Dadurch entstehen günstige Voraussetzungen für die Adhäsion, die eine akzeptable Mikroretention des Adhäsivsystems gewährleisten^{6,12-15}. Die von den Autoren durchgeführten Studien lassen vermuten, dass der Er:YAG-Laser das Dentin besser für eine starke Adhäsion mit Kompositen vorbereitet.



In der vorliegenden Studie war jedoch die Haftkraft in den Gruppen 3 und 4, bei denen die Vorbehandlung mit dem Er:YAG-Laser erfolgte, deutlich geringer als in den Gruppen, bei denen das Dentin mit 37 % Phosphorsäure geätzt wurde.

Diese Ergebnisse unterstützen die einer anderen Untersuchung¹⁶, in der die Dentinbindung des Single-Bond-Adhäsivsystems durch Laserätzen negativ beeinflusst wurde.

Dies hängt vermutlich damit zusammen, dass vor dem Auftragen von Single Bond Säureätzen erforderlich ist, damit seine Kunststoffkomponente sich mit der intertubulären Matrix und den Dentintubuli verbinden kann.

Außerdem könnte dieser Unterschied darauf beruhen, dass das Ätzen mit 37 % Phosphorsäure die Demineralisierung des peritubulären Dentins fördert, sodass trichterförmige Öffnungen der Dentintubuli entstehen, die an der Bildung von Ausziehungen beteiligt sind, während die Bestrahlung mit dem Er:YAG-Laser das peritubuläre Dentin nicht demineralisiert. Zwar entstehen Oberflächenunregelmäßigkeiten und die Tubuli öffnen sich, aber keine Hybridschicht oder Kunststoffsäureziehungen^{2,3,12,17}.

Bezogen auf die reduzierte Haftkraft beim Ätzen mit dem Er:YAG-Laser kamen De Munck et al.⁵ und Corona et al.¹⁸ zu dem Ergebnis, dass die Diffusion hydrophiler Monomere in das Dentin durch eine exzessive Dehydrierung behindert werden kann, da die thermomechanische Ablation durch den Laser das Wasser aus dem Dentin verdampft und so die Haftkraft zwischen Dentin und Komposit reduziert. Dies lässt sich verhindern, wenn das Gewebe vor dem Adhäsivverfahren rehydriert wird. Außerdem ist unbekannt, ob dies auch in vivo auftritt: In einem natürlichen Zahn existiert Dentinflüssigkeit, die eine Rehydrierung des bestrahlten Gewebes fördert.

Für die Verwendung des Nd:YAG-Lasers zur Oberflächenbehandlung von Dentin zeigten mehrere Studien, dass dieser Laser abhängig von der Energiedichte die Fusion und Rekristallisierung der Dentinoberfläche fördern kann^{15,19}. Diese Veränderungen in der Morphologie der Zahnschicht entstehen durch die Reduktion des Anteils von Calcium und Phosphat im Dentin, die wiederum die organische Zusammensetzung von Hydroxylapatit mit dessen Rekristallisierung bedingt^{6,7,19}.

Daher schlugen Gonçalves et al.²⁰ eine Dentinbestrahlung nach der Applikation des Adhäsivs und vor der Lichthärtung vor. Dies fördert die Bildung einer neuen Dentinschicht durch das Adhäsivsystem, gefolgt von der Laserwirkung, d. h. eines mechanisch vermischten Substrats, das chemisch gut für ein Bonding geeignet ist.

Die in der vorliegenden Studie mit dem Nd:YAG-Laser behandelten Gruppen wiesen verglichen zur Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede in der Haftkraft auf. Matos et al.²¹ und Ariyaratnam et al.²² kamen zu ähnlichen Ergebnissen.

Obwohl es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen 1 und 2 gab, sollte die Verwendung eines Nd:YAG-Lasers bei Adhäsivverfahren erwogen werden, da in einigen Studien der Einsatz dieses Lasers mit einem Adhäsivsystem marginale Mikrospalten signifikant reduzierte^{23,24}.

Bei den Frakturtypen wurden keine kohäsiven Frakturen von Komposit (Typ I) beobachtet. Dies zeigt, dass die Prüfung der Scherhaftfestigkeit gut durchgeführt worden war und nur die gewünschten Bereiche belastet wurden.

In den Gruppen 1, 3 und 4 traten vor allem adhäsive Frakturen auf, gemischte Frakturen waren am zweithäufigsten. In Gruppe 2 gab es vor allem kohäsive Dentinfrakturen (Typ II). Vermutlich wurde die Dentinbrüchigkeit

durch eine Rekristallisierung erhöht, was die Ergebnisse von Wigdor et al.²⁵ unterstützt.

Die vorliegende Studie untersuchte die Interaktion zwischen dem Er:YAG- und Nd:YAG-Laser mit dem Dentin, um zu ermitteln, ob diese fortschrittliche Technologie die Adhäsion zwischen Zahn und Restauration erhöhen kann.

Obwohl die Verwendung des Nd:YAG-Lasers nach den hier vorgestellten Ergebnissen keinen Einfluss auf die Haftkraft hatte, war die Variabilität gering, wie die niedrigste Standardabweichung belegt. Außerdem ist der Literatur zu entnehmen, dass die Anwendung des Nd:YAG-Lasers marginale Mikrospalten signifikant reduziert. Die besten Ergebnisse lassen sich mit der Einführung neuer Parameter für die Lasertechnik oder durch die Kombination mit anderen Adhäsivsystemen erzielen.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigten: (1) konventionelles Ätzen mit 35 % Phosphorsäure führte zu einer deutlich stärkeren Haftkraft als thermisches Ätzen mit dem Er:YAG-Laser und (2) die Anwendung des Nd:YAG-Lasers nach der Applikation des Adhäsivsystems beeinflusst die Haftkraft nicht signifikant.

Interessenerklärung

Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

Literatur

1. Perdigão J. New developments in dental adhesion. *Dent Clin North Am* 2007; 51:333–357.
2. de Carvalho RC, de Freitas PM, Otsuki M, de Eduardo CP, Tagami J. Micro-shear bond strength of Er:YAG-laser-treated dentin. *Lasers Med Sci* 2008;23:117–124.

3. Freitas PM, Navarro RS, Barros JA, De Paula Eduardo C. The use of Er:YAG laser for cavity preparation: An SEM evaluation. *Microsc Res Tech* 2007;70:803–808.
4. Cecchini RC, Zezell DM, de Oliveira E, Freitas PM, Eduardo Cde P. Effect of Er:YAG laser on enamel acid resistance: Morphological and atomic spectrometry analysis. *Lasers Surg Med* 2005;37:366–372.
5. De Munck J, Van Meerbeek B, Yuthira R, Lambrechts P, Vanherle G. Microtensile bond strength of two adhesives to Er:YAG-lased vs bur-cut enamel and dentin. *Eur J Oral Sci* 2002;110:322–329.
6. Matsumoto K, Hossain M, Tsuzuki N, Yamada Y. Morphological and compositional changes of human dentin after Er:YAG laser irradiation. *J Oral Laser Applic* 2003;3:15–19.
7. Sazak H, Turkemen C, Gunday M. Effects of Nd:YAG laser, air-abrasion and acid-etching on human enamel and dentin. *Oper Dent* 2001;26:476–481.
8. Pashley DH. Dentin bonding: Overview of the substrate with respect to adhesive material. *J Esthet Dent* 1999;3:46–50.
9. Pashley DH, Carvalho RM. Dentine permeability and dentine adhesion. *J Dent* 1997;25:355–372.
10. Van Meerbeek B, Lambrechts P, Inokoshi S, Braem M, Vanherle G. Factors affecting adhesion to mineralized tissues. *Oper Dent* 1992;5:111–124.
11. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Scarpelli F, Vitale M. SEM analysis of dentin treated with the Er:YAG laser: A pilot study of the consequences resulting from laser use on adhesion mechanisms. *J Clin Laser Med Surg* 2004;22:35–41.
12. Ceballos L, Osorio R, Toledano M, Marshall GW. Microleakage of composite restorations after acid or Er:YAG laser cavity treatments. *Dent Mater* 2001;17:340–346.
13. Groth EB, Mercer CE, Anderson P. Microtomographic analysis of subsurface enamel and dentin following Er:YAG laser and acid etching. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2001;9:73–79.
14. Martínez-Insua A, Da Silva Dominguez L, Rivera FG, Santana-Penin UA. Differences in bonding to acid-etched or Er:YAG laser-treated enamel and dentin surfaces. *J Prosthet Dent* 2000;84:280–288.
15. Oda M, Oliveira DC, Liberti EA. Morphological evaluation of the bonding between adhesive/composite resin and dentin irradiated with Er:YAG and Nd:YAG lasers: Comparative study using scanning microscopy [in Portuguese]. *Pesqui Odontol Bras* 2001;15:283–289.
16. Gonçalves M, Corona SAM, Borsatto MC, Silva PCG, Pécora JD. Tensile bond strength of dentin-resinous system interfaces conditioned with Er:YAG laser irradiation. *J Clin Laser Med Surg* 2002;20:89–93.
17. 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;32:676–685.
18. Corona SAM, Menezes M, Borsatto MC, Chimello DT, Pécora JD, Palma-Dibb RG. Influence of Er:YAG laser on tensile bond strength of resin-modified glass-ionomer cements to dentin. *J Oral Laser Applic* 2003;3:21–25.
19. Kinney JH, Haupt DL, Balooch M, et al. The threshold effects of Nd and Ho:YAG laser-induced surface modification on desmineralization of dentin surfaces. *J Dent Res* 1996;75:1388–1395.
20. Gonçalves SE, Araújo MA, Damião AJ. Dentin bond strength: Influence of laser irradiation, acid etching and hypermineralization. *J Clin Laser Med Surg* 1999;17:77–85.
21. Matos AB, Oliveira DC, Navarro RS, Eduardo CP, Matson E. Nd:YAG laser influence on tensile bond strength of self-etching adhesive systems. *J Clin Laser Med Surg* 2000;18:253–257.
22. Ariyaratnam MT, Wilson MA, Blinkhorn AS. An analysis of surface roughness, surface morphology and composite dentin bond strength of human dentin following the application of the Nd:YAG laser. *Dent Mater* 1999;15:223–228.
23. Araújo RM, Eduardo CP, Duarte Junior SL, Araujo MA, Loffredo LC. Microleakage and nanoleakage: Influence if laser in cavity preparation and dentin pretreatment. *J Clin Laser Med Surg* 2001;19:325–332.
24. Ribeiro CF, Anido AA, Rauscher FC, Yui KC, Gonçalves SEP. Marginal leakage in class V cavities pretreated with different laser energy densities. *Photomed Laser Surg* 2005;23:313–316.
25. Wigdor H, Ashrafi S, Abt E. SEM evaluation of CO₂, Nd:YAG and Er:YAG laser irradiation of dentin in vitro. In: *Proceedings of the Third International Congress On Lasers in Dentistry, 6–8 August 1992. Salt Lake City: ISLD, 1992:131–132.*