

激光蚀刻牙体组织在直接粘接技术中的研究进展

刘敏¹ 张宽收² 刘青梅^{1,3}

1. 山西医科大学口腔医学院 太原 030001;

2. 山西大学光电研究所量子光学与光量子器件国家重点实验室
山西大学极端光学协同创新中心 太原 030006;

3. 山西医学科学院 山西白求恩医院口腔科 太原 030032

[摘要] 随着大众对美学需求的提高及现代口腔治疗“微创”理念的推行,牙体粘接技术得到了快速发展。在牙体粘接修复中,激光蚀刻牙体组织形成的粘接面能否替代传统酸蚀的效果,关于两种方法的比较,国内外有相关研究但尚无统一定论。本文就国内外文献中不同激光在不同参数时蚀刻牙体组织后的粘接性能作一综述。

[关键词] 激光蚀刻; 酸蚀刻; 牙体组织; 粘接技术

[中图分类号] R 782 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjlk.2021038



开放科学(资源服务)
标识码(OSID)

An update of laser etching tooth tissue in direct adhesive technique Liu Min¹, Zhang Kuanshou², Liu Qingmei^{1,3}. (1. Shanxi Medical University School of Stomatology, Taiyuan 030001, China; 2. State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices, Institute of Opto-Electronics & Collaborative Innovation Center of Extreme Optics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 3. Dept. of Stomatology, Shanxi Bethune Hospital, Shanxi Academy of Medical Sciences, Taiyuan 030032, China)

This article was supported by Open Project of State Key Laboratory of Quantum Optics and Optical Quantum Devices, Shanxi University (KF-202001).

[Abstract] Dental adhesive techniques have evolved rapidly with the rising public requirement on aesthetics and the promotion of ‘minimum intervention’ in modern operative dentistry. Whether tooth tissue bonding after laser etching can replace acid etching has been studied at home and abroad. This paper reviews the adhesive properties of etched dental tissue with different laser parameters.

[Key words] laser etching; acid etching; tooth tissue; adhesive technique

近年来,粘接材料和粘接技术的快速发展与应用使牙体修复学有了快速发展。在粘接技术中玷污层、粘接剂、混合层、树脂突、牙本质等是影响粘接性能的重要因素,其中去除玷污层、形成混合层是关键^[1-2]。为了形成高强度混合层,许

多学者致力于改善牙体粘接面的研究。

酸蚀牙体是传统粘接技术中的关键步骤,然而有学者^[3]认为酸蚀后的牙体组织与粘接剂间的长期稳定性需要进一步研究。激光引入口腔以来,已与传统方法联合使用或作为传统方法的替代品表现出独特的优势,如高效、舒适、微创等^[4]。在牙体粘接技术中,激光蚀刻^[5]牙体组织为牙面预处理方式提供了可行方法。然而,国内外文献中激光对牙体组织的蚀刻作用的效果报道不一。本文就牙体粘接技术中激光对牙体硬组织的蚀刻作用作一综述。

[收稿日期] 2020-11-13; **[修回日期]** 2021-01-25

[基金项目] 山西大学量子光学与光量子器件国家重点实验室开放课题(KF-202001)

[作者简介] 刘敏,住院医师,硕士, Email: 997782231@qq.com

[通信作者] 刘青梅,主任医师,硕士, Email: liuqingmei2006@sina.com

1 酸蚀在牙体粘接的研究进展

1.1 酸蚀对釉质粘接的作用

釉质作为高度矿化的组织,传统的釉质粘接系统中釉质酸蚀剂通常为30%左右的凝胶型磷酸。扫描电子显微镜下可见,经酸蚀后的釉质表面呈现脱矿样的蜂窝状粗糙面,脱矿釉质为3种模式^[6]: 1) 釉柱中心脱矿为主; 2) 釉柱周围脱矿为主; 3) 釉柱和釉柱周围均脱矿。粘接过程中,粘接树脂进入釉柱间及釉柱内5~50 μm的微孔中,形成大树脂突和微树脂突,微树脂突彼此交联的网状结构成为釉质粘接微机械固位的基础。然而,临床使用磷酸溶液酸蚀釉质后表层脱矿,也具有潜在的缺点^[7]: 粘接树脂未能完全渗入形成树脂突,潜在的空隙更易长期受酸攻击。且有研究^[8]表明,釉质的抗剪切强度与是否经过酸蚀无明显差异,理想的釉质粘接界面有待进一步研究。

1.2 酸蚀对牙本质粘接的作用

牙本质含有较釉质多的有机物。目前全酸蚀粘接中酸蚀剂为较强的无机酸,玷污层在冲洗后被去除,湿润的牙本质界面粘接树脂与牙本质胶原形成混合层,成为影响粘接强度的主要因素^[3]。然而,在胶原纤维网深部区域形成粘接树脂未渗入的含水微小空隙,外界物质分子或离子在空隙内扩散和渗透,且胶原纤维在水和基质金属蛋白酶的长期作用下极易被降解并破坏形成纳米渗漏,影响长期粘接效果。自酸蚀粘接酸蚀剂为较弱有机酸,酸蚀过程自行终止,酸蚀后的玷污层被溶解或改性。Nagura等^[9]在激光共聚焦扫描镜下观察到使用自酸蚀处理的粘接界面,粘接层出现裂纹。有实验^[8-9]通过表面自由能分析显示,自酸蚀粘接剂组具有较低的初始抗剪切强度及抗疲劳强度,自酸蚀粘接术仍未能实现理想粘接效果。

2 激光对牙体硬组织蚀刻作用的研究进展

2.1 激光用于牙体组织蚀刻的提出

激光照射牙体的无痛性,使用中无明显振动或热效应产生,极大方便临床使用^[10]。对激光蚀刻后的牙体进行物理和化学分析,相关研究^[11]表明,其是酸蚀刻的良好替代品。目前“激光蚀刻”的概念尚处于发展阶段^[12]。Visuril等^[13]通过实验证实激光处理的牙本质为复合材料提供了良好粘接

面。近年来有学者^[14]在扫描显微镜下观察到激光蚀刻釉质后出现蜂窝状和陨石坑状外观,一如酸蚀后的牙体表面,且粘接强度增强;另有学者^[15-16]认为,激光与酸联合蚀刻牙本质后可获得较二者单独使用更好的粘接效果。而Zahra等^[17]认为激光蚀刻单独或者联合酸蚀刻均未见粘接强度增强。

2.2 激光对牙体硬组织蚀刻作用的机制

钕钇铝石榴石激光是目前常用的牙体硬组织蚀刻激光之一,其2种类型分别为钕钇铝石榴石(erbium: yttrium aluminum garnet, Er: YAG)激光(2.94 μm)和Er, Cr: YSGG激光(2.78 μm)^[18]。钕激光的波长接近牙体硬组织中水(3.0 μm)和羟磷灰石(2.8 μm)的吸收峰值,钕激光照射牙齿硬组织表面时,牙体组织中的水和羟磷灰石迅速吸收能量,牙体表面温度升高,水分子汽化膨胀,产生“微爆炸”。“微爆炸”过程中有机、无机粒子喷射,形成不规则的牙体表面,牙体硬组织脱矿且不产生玷污层^[7]。扫描电子显微镜显示激光蚀刻的牙本质小管开放,且牙本质小管直径较酸蚀后的小,更利于形成粘接界面^[10]。扫描电子显微镜下,激光蚀刻釉质产生粗糙的表面,类似酸蚀刻后的图案,促进粘接树脂渗透到不规则的孔隙中,形成树脂突,进而产生微机械固位;同时可见较浅的微裂纹,发挥固位形作用^[5]。激光蚀刻牙本质可获得最大程度的牙本质小管开放,且表面典型的不规则微固位形,无玷污层,无牙本质熔融及热损伤现象,形成了有利的粘接面^[19]。然而,有学者认为激光蚀刻牙本质后粘接性能无明显改善: 其一因激光照射牙本质后,牙本质小管部分阻塞,产生了不利于粘接的界面^[20]; 其二因“树脂限制理论”,即激光蚀刻牙本质后,胶原纤维融合,胶原纤维网难以维持,树脂在牙本质扩散受限,影响混合层形成,不利于粘接修复^[17]。

3 激光对牙体硬组织蚀刻作用的效果评价

3.1 激光对牙体硬组织蚀刻作用的安全性

研究证实, Er: YAG激光参数在40 mJ、10 Hz以内可以安全有效地进行牙本质蚀刻,此时扫描电子显微镜下可见牙本质表面稍显粗糙,牙本质小管开放,无玷污层产生且未见明显裂纹样结构。然而有学者^[21]提出,激光照射后,牙髓腔温度升高,对牙髓有明显损伤;牙本质显微硬度降低。早先已有相关研究^[18]表明,在能量密度较高的情

况下,牙体表面出现裂纹是不可避免的;较高的能量密度也会导致髓腔温度过快升高,造成牙髓受损。因此选定合适的参数极为关键。

3.2 激光蚀刻在牙体直接修复中对牙体粘接强度的影响

力学性质分析对牙体粘接修复后充填材料的应力分布起着重要的作用,激光蚀刻牙体组织后进行粘接强度等力学性能测试至关重要^[21]。不同学者利用激光对牙体蚀刻后行粘接强度测试结果各异。有学者认为,单纯的脉冲掺钕钇铝石榴石(neodymium: yttrium aluminum garnet, Nd: YAG)激光照射不能改善釉质的粘接性能,但激光技术与酸蚀技术的联合应用,即激光照射后以35%磷酸酸蚀,可获得比单纯酸蚀刻更高的粘接强度。一些学者^[22-23]通过Er: YAG激光也支持:激光与磷酸的联合使用是一种有价值的方法,可提高釉质的粘接强度。Gan等^[24]的体外实验发现,牙体表面Nd: YAG激光预处理对牙本质粘接有一定的积极作用,且老化后仍能保持良好的粘接效果。Nd: YAG激光照射牙本质的实验证实,Nd: YAG激光可明显改善牙本质的粘接性能且抗张粘接强度显著高于不处理组。

适宜的激光强度去除玷污层,对胶原纤维无影响,可以增强牙本质粘接强度^[25]。然而激光蚀刻粘接强度下降的原因,有研究认为与牙体表面裂纹形成有关:扫描电子显微镜下在树脂-釉质界面,釉质突间可见25 μm 深的裂纹;而树脂-牙本质界面可见15 μm 深的裂纹,牙体存在表面下广泛裂纹并不利于粘接^[7]。其他学者^[26-27]认为,高密度激光蚀刻牙体,照射区的牙体组织表现为熔融状,且对酸的抵抗增强,玷污层未能全部去除,难以形成微机械固位,故粘接强度较弱。

3.3 激光蚀刻在牙体直接修复中对修复材料密合度的影响

Gan等^[24]认为,激光蚀刻降低了牙体粘接后微渗漏的程度,进而提高了树脂粘接的持久性。Phanombualert等^[28]也认同此观点,他们利用Er: YAG激光研究体外V类洞充填修复后边缘渗漏的程度。实验结果表明,激光组在复合树脂修复后边缘微渗漏量明显减少。Sanhadji El Haddar等^[29]发现,激光预备同钻预备牙体后的粘接修复效果相同。有学者发现,通过单纯的脉冲Nd: YAG激光照射,一定程度上改善了釉质与复合树脂的密合度,但激光照射后再用35%磷酸酸蚀可显著改善

釉质与复合树脂的密合度,减少微渗漏;牙本质的粘接中Nd: YAG激光蚀刻牙本质壁后,可提高洞壁的密合度并能较好地封闭洞壁内的牙本质小管口。Phanombualert等^[28]认为,Er: YAG激光预处理牙表面后微观机械形态与微渗漏量减少有关。牙本质渗透性取决于牙本质小管的大小和通畅程度,而结合强度随着牙本质含水量的增加而减弱^[19]。另有研究^[24]表明,激光蚀刻后微渗漏发生减少与牙本质小管直径较小有关。激光蚀刻使管间牙本质脱矿,而酸蚀后的脱矿样改变发生在管周牙本质,同酸蚀后的牙本质小管直径相比,激光蚀刻后牙本质小管直径较小。因此,牙本质液的渗出减少,对牙体粘接后降低微渗漏发生率具有积极意义。

4 不同类型的激光用于蚀刻的研究进展

4.1 Er: YAG 激光

目前,钕激光是激光蚀刻牙体中常用的激光。研究^[30]表明,其对牙体硬组织的作用机制与上文所述“微爆破”理论有关。有学者以不同激光参数处理不同深度的牙本质。Karadas等^[31]认为,激光蚀刻后的牙本质粘接强度主要与不同牙本质层有关。Alaghehmand等^[32]则认为,不论浅层还是深层牙本质,激光蚀刻后均未能改善牙本质粘接性能。钕激光照射牙体的参数设置(如激光能量、频率、脉冲方式和辐照时间等)与粘接性能密切且相关^[33],对于不同研究的粘接强度异质性较高,Zhang等^[34]认为,研究数量少是主要原因。但钕激光蚀刻能否代替酸蚀技术以及如何设置最佳激光参数以获得良好粘接效果,尚需进一步研究。

4.2 Nd: YAG 激光

Nd: YAG激光属固体激光器,波长为1.06 μm ,近红外光。相关研究表明,Nd: YAG激光蚀刻牙体与酸蚀刻相比,激光蚀刻牙体后表面粗糙多孔,且深度较大,是有利的粘接界面,故Nd: YAG可作为酸蚀的替代方法。而Al-Omari等^[21]认为,Nd: YAG为高能量密度激光,其蚀刻牙齿硬组织后牙体表面硬度降低,牙齿的应力分布与抗折发生改变,未能提高粘接性。

4.3 CO₂ 激光

CO₂激光的能量可被牙体组织良好吸收,但穿透深度几乎不会大于0.1 mm,牙本质在CO₂激光照射后经历了从固体到液体到蒸汽可靠而稳定的相

变过程。较低密度激光照射后,牙体组织表现出良好的粘接性;当激光能量达 $12\text{ J}\cdot\text{cm}^2$ 时,牙本质表面因有机成分汽化出现碳化层,在高度碳化的表面覆盖着一层高度无机化合物,可能会削弱激光与牙本质结合强度^[26]。

4.4 二极管激光

波长较长的激光,如980 nm二极管激光更易被水吸收;而波长较短的激光,如810 nm激光更易被黑色素吸收。由于较短的激光波长(808 nm)对水的吸收较少,相比较长的激光波长可以提高牙表面温度,导致牙本质的形态变化,从而对粘接产生不同程度的影响。以940 nm激光蚀刻牙体组织后通过两步法全酸蚀行直接粘接修复,结果表明结合强度未见统计学增强,这是由于牙体组织对二极管激光较少吸收。而以970 nm激光联合全酸蚀粘接技术在扫描电子显微镜下可观察到粘接剂渗入牙体形成较大的树脂突。二极管激光蚀刻牙体组织未能有一致结论,尚需进一步的实验探讨其蚀刻效果。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

5 参考文献

- [1] Kaisarly D, Gezawi ME. Polymerization shrinkage assessment of dental resin composites: a literature review[J]. *Odontology*, 2016, 104(3): 257-270.
- [2] Chowdhury AFMA, Islam R, Alam A, et al. Variable smear layer and adhesive application: the pursuit of clinical relevance in bond strength testing[J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(21): E5381.
- [3] van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges[J]. *Oper Dent*, 2003, 28(3): 215-235.
- [4] Najeeb S, Khurshid Z, Zafar MS, et al. Applications of light amplification by stimulated emission of radiation (lasers) for restorative dentistry[J]. *Med Princ Pract*, 2016, 25(3): 201-211.
- [5] Kasraei S, Yarmohammadi E, Ghazizadeh MV. Microshear bond strength of OptiBond all-in-one self-adhesive agent to Er: YAG Laser treated enamel after thermocycling and water storage[J]. *J Lasers Med Sci*, 2016, 7(3): 152-158.
- [6] Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, et al. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy [J]. *Caries Res*, 1975, 9(5): 373-387.
- [7] Martínez-Insua A, Da Silva Dominguez L, Rivera FG, et al. Differences in bonding to acid-etched or Er: YAG-Laser-treated enamel and dentin surfaces [J]. *J Prosthet Dent*, 2000, 84(3): 280-288.
- [8] Hajizadeh H, Nemati-Karimooy A, Nasseh A, et al. Evaluating the shear bond strength of enamel and dentin with or without etching: a comparative study between dimethacrylate-based and silorane-based adhesives[J]. *J Clin Exp Dent*, 2015, 7(5): e563-e568.
- [9] Nagura Y, Tsujimoto A, Barkmeier WW, et al. Relationship between enamel bond fatigue durability and surface free-energy characteristics with universal adhesives[J]. *Eur J Oral Sci*, 2018, 126(2): 135-145.
- [10] Issar R, Mazumdar D, Ranjan S, et al. Comparative evaluation of the etching pattern of Er, Cr: YSGG & acid etching on extracted human teeth—an ESEM analysis[J]. *J Clin Diagn Res*, 2016, 10(5): ZC01-ZC05.
- [11] Simsek H, Gurbuz T, Buyuk SK, et al. Evaluation of mineral content and photon interaction parameters of dental enamel after phosphoric acid and Er: YAG laser treatment[J]. *Photomed Laser Surg*, 2017, 35(5): 270-277.
- [12] Mohammad Y, Yassin O, Hardan L, et al. An evaluation of Er: YAG Laser in an intact enamel treatment on bonding to the resin cement compared to four traditional techniques[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2019, 20(9): 1014-1018.
- [13] Visuri SR, Gilbert JL, Wright DD, et al. Shear strength of composite bonded to Er: YAG Laser-prepared dentin[J]. *J Dent Res*, 1996, 75(1): 599-605.
- [14] Yilanci H, Usumez S, Usumez A. Can we improve the laser etching with the digitally controlled laser handpiece: xrunner[J]. *Photomed Laser Surg*, 2017, 35(6): 324-331.
- [15] Bertrand MF, Hessleyer D, Muller-Bolla M, et al. Scanning electron microscopic evaluation of resin-dentin interface after Er: YAG Laser preparation[J]. *Lasers Surg Med*, 2004, 35(1): 51-57.
- [16] Vohra F, Alghamdi A, Aldakkan M, et al. Influence of Er: Cr: YSGG Laser on adhesive strength and microleakage of dentin bonded to resin composite. *In-*

- vitro* study[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2018, 23: 342-346.
- [17] Jaber Ansari Z, Fekrazad R, Feizi S, et al. The effect of an Er, Cr: YSGG laser on the micro-shear bond strength of composite to the enamel and dentin of human permanent teeth[J]. Lasers Med Sci, 2012, 27(4): 761-765.
- [18] Keller U, Hibst R. Experimental studies of the application of the Er: YAG laser on dental hard substances: II. Light microscopic and SEM investigations [J]. Lasers Surg Med, 1989, 9(4): 345-351.
- [19] Cvikl B, Lilaj B, Franz A, et al. Evaluation of the morphological characteristics of laser-irradiated dentin [J]. Photomed Laser Surg, 2015, 33(10): 504-508.
- [20] Marimoto AK, Cunha LA, Yui KC, et al. Influence of Nd: YAG laser on the bond strength of self-etching and conventional adhesive systems to dental hard tissues[J]. Oper Dent, 2013, 38(4): 447-455.
- [21] Al-Omari WM, Palamara JE. The effect of Nd: YAG and Er, Cr: YSGG lasers on the microhardness of human dentin[J]. Lasers Med Sci, 2013, 28(1): 151-156.
- [22] Trajtenberg CP, Pereira PN, Powers JM. Resin bond strength and micromorphology of human teeth prepared with an Erbium: YAG laser[J]. Am J Dent, 2004, 17(5): 331-336.
- [23] Guven Y, Aktoren O. Shear bond strength and ultrastructural interface analysis of different adhesive systems to Er: YAG laser-prepared dentin[J]. Lasers Med Sci, 2015, 30(2): 769-778.
- [24] Gan J, Liu S, Zhou L, et al. Effect of Nd: YAG laser irradiation pretreatment on the long-term bond strength of etch-and-rinse adhesive to dentin[J]. Oper Dent, 2017, 42(1): 62-72.
- [25] Nahas P, Zeinoun T, Majzoub Z, et al. The effect of energy densities on the shear bond strength of self-adhering flowable composite to Er: YAG pretreated dentin[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 6507924.
- [26] Silberman JJ, Dederich DN, Vargas M, et al. SEM comparison of acid-etched, CO₂ Laser-irradiated, and combined treatment on dentin surfaces[J]. Lasers Surg Med, 1994, 15(3): 269-276.
- [27] Nahas P, Zeinoun T, Namour M, et al. Effect of Er: YAG laser energy densities on thermally affected dentin layer: morphological study[J]. Laser Ther, 2018, 27(2): 91-97.
- [28] Phanombualert J, Chintim P, Heebthamai T, et al. Microleakage of self-etch adhesive system in class V cavities prepared by using Er: YAG laser with different pulse modes[J]. Photomed Laser Surg, 2015, 33(9): 467-472.
- [29] Sanhadji El Haddar Y, Cetik S, Bahrami B, et al. A comparative study of microleakage on dental surfaces bonded with three self-etch adhesive systems treated with the Er: YAG laser and bur[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 2509757.
- [30] Lopes RM, Trevelin LT, da Cunha SR, et al. Dental adhesion to erbium-lased tooth structure: a review of the literature[J]. Photomed Laser Surg, 2015, 33(8): 393-403.
- [31] Karadas M, Çağlar İ. The effect of Er: YAG laser irradiation on the bond stability of self-etch adhesives at different dentin depths[J]. Lasers Med Sci, 2017, 32(5): 967-974.
- [32] Alaghehmand H, Nezhad Nasrollah F, Nokhbatol-foghahaei H, et al. An *in vitro* comparison of the bond strength of composite to superficial and deep dentin, treated with Er: YAG laser irradiation or acid-etching[J]. J Lasers Med Sci, 2016, 7(3): 167-171.
- [33] Kucukyilmaz E, Botsali MS, Korkut E, et al. Effect of different modes of erbium: yttrium aluminum garnet laser on shear bond strength to dentin[J]. Niger J Clin Pract, 2017, 20(10): 1277-1282.
- [34] Zhang Y, Jiang AJ. The influence of Er: YAG Laser treatment on the shear bond strength of enamel and dentin: a systematic review and Meta-analysis[J]. Quintessence Int, 2020, 51(1): 8-16.

(本文编辑 骆筱秋)