

目前, Er:YAG激光对牙体硬组织的作用已得到大部分学者^[6]的肯定, Soares等^[7]认为Er:YAG激光作用于牙本质后, 在牙本质面形成弹坑、鳞片样的不规则粗糙面, 可增加牙本质与粘接剂间的接触面积。陶瓷材料与牙体组织结构不同, 陶瓷缺乏与Er:YAG激光波长接近的羟磷灰石, 大部分陶瓷由基质、晶粒或者氧化锆颗粒组成。激光照射时, 通过机器自带的喷水装置在陶瓷表面形成一层水膜, 当激光达到一定能量时, 瞬间高温或压强作用破坏局部陶瓷晶体及基质, 可在瓷表面形成分散的凹坑, 改变陶瓷的机械固位, 影响陶瓷修复体与粘接剂及牙体组织的物理粘接形式, 进而影响修复体的粘接效果。

2 Er:YAG激光对陶瓷材料修复时粘接性能的影响

目前, 粘接性能的评价指标主要包括牙体组织与修复体的粘接强度和界面密合性^[8]。粘接强度常测试拉伸或剪切强度, 界面密合性常以微渗漏深度来代表。Er:YAG激光照射后陶瓷表面结构是否得到有效改变, 以及这种改变是否能影响修复体的粘接性能, 目前还存在争议。

2.1 微观结构

Er:YAG激光照射后, 陶瓷表面微观结构的改变是影响粘接性能改变的基础, 而激光刻蚀不引起陶瓷本身结构的破坏, 是其提高粘接性能的前提。

Arami等^[9]通过比较不同激光对Y-TZP陶瓷表面粗糙度的影响发现, Nd:YAG、CO₂激光虽然可以增大表面粗糙度, 但可在处理表面形成许多微裂纹, 而Er:YAG激光在增加陶瓷表面粗糙度时并不会损害陶瓷表面结构。其原因可能是Nd:YAG和CO₂激光作用时陶瓷表面温度升高过大, 短时间内的温差变化加剧了被照物体表面的热溶解, 激光照射完成后陶瓷表面瞬间降温, 从而导致晶相不规则凝固, 致使表面出现裂隙等结构, 而Er:YAG激光照射时的可调节水气比可防止陶瓷表面温度过度升高, 进而保护陶瓷表面结构不受破坏。da Ferreira等^[10]通过三维成像发现, 不同脉宽的Er:YAG激光对Y-TZP陶瓷表面均有粗化作用, 其中600 μs脉宽处理后, 可在陶瓷表面形成与化学硅涂层类似的台阶高度, 在只有少量的表面体积丢失的同时, 还可形成有效的粗糙度。这些研究结果均表明, Er:YAG激光照射不会影响陶瓷本身结

构, 照射后形成的表面粗糙结构为后续粘接效果的改善提供了基础。

然而部分学者在实验中得出相反的结论。Kara等^[11]认为, Er:YAG激光照射后可在陶瓷表面形成贝壳状或眼泪状的凸起结构, 这种结构虽然可以增强陶瓷与树脂间的机械固位, 但是激光温度冷热交替的变化会导致材料内部结构的破坏, 从而降低粘接强度。Kara等^[11]通过观察不同表面处理对二硅酸锂玻璃陶瓷IPS Empress 2表面粗糙度的影响, 发现与传统的氢氟酸刻蚀相比, Er:YAG激光并不能增加陶瓷表面粗糙度。Erdur等^[12]通过原子力学显微镜测量同样发现, Er:YAG激光照射并不能增加玻璃陶瓷表面的粗糙度。

陶瓷结构及激光参数可影响表面微观结构的改变, 不同学者在研究时使用陶瓷种类及激光参数不尽相同, 所以可能导致形成不同的微观结构。在判断某种激光是否能对陶瓷表面结构进行有效刻蚀时, 需研究激光不同参数的刻蚀效果, 参数值过大或过小会导致陶瓷表面固位力减弱或无法提供固位结构。笔者所在课题组通过不同脉冲能量的Er:YAG激光照射对可切削陶瓷表面微观结构影响的前期实验发现, 对于IPS e.max CAD陶瓷, 100和200 mJ Er:YAG激光照射仅提供少量长柱状的凸起固位; 当脉冲增加至300或400 mJ时, 陶瓷表面形成大量均匀的凸起固位; 当脉冲超过500 mJ时, 陶瓷表面可形成小裂纹。对于Vita Enamic陶瓷, 由于所含树脂成分多, 当脉冲能量仅为100 mJ时也可出现表面破坏征象。因此, 当在临床上使用激光时, 为获得最佳效果, 需根据不同陶瓷成分及组成选择最适宜的参数。

2.2 粘接强度

粘接强度是评价修复体粘接性能的主要指标, 也是目前学者对粘接性能研究最多的内容。有研究^[13]结果表明, 单独使用Er:YAG激光处理不同组成成分的陶瓷的表面, 便可获得比传统方法高的粘接强度, 可作为一种临床上陶瓷的表面处理方法。Gökçe等^[14]通过比较不同脉冲能量的Er:YAG激光照射对Empress 2陶瓷的粘接效果发现, 当脉冲为300 mJ时, 陶瓷间的粘接强度高于氢氟酸刻蚀。此结论与Aksakalli等^[15]的研究结果一致。对于使用不同烧结时间制作的氧化锆陶瓷, Dede等^[16]认为Er:YAG激光照射均可增加粘接强度。Akin等^[17]同样认为激光照射可作为氧化锆陶瓷粘接时有有效的表面处理方式。对于Y-TZP陶瓷,

Akin等^[18]也有同样的发现。当口内有陶瓷修复体而需要进行正畸托槽粘接时,因为强腐蚀性不建议将氢氟酸用于口内粘接,其他传统方法粘接强度低,而若使用Er:YAG激光预处理的方法,可大大提高修复体与托槽间的粘接强度。Yassaei等^[19]发现,玻璃陶瓷使用Er:YAG激光照射后可增加其与正畸托槽的粘接强度,1.6 W的Er:YAG激光处理可作为替代氢氟酸刻蚀的表面处理方法。

也有部分学者认为,单纯Er:YAG激光不能获得理想的粘接强度,需要多种表面处理方式联合使用,以满足临床上的粘接要求。Dilber等^[20]发现,单独Er:YAG激光作用于长石质陶瓷Vita VM 9时,表面粗糙度无明显改变,但Er:YAG激光联合喷砂处理可获得最大表面粗糙度。单纯使用喷砂易造成玻璃陶瓷表面结构大量丧失,且喷砂后的表面多形成尖锐的不均匀圆孔状凸起。Er:YAG激光照射后,陶瓷表面的凸起结构相对平滑,可弥补喷砂后的不规则微观结构。Yavuz等^[21]同样认为,单纯使用Er:YAG激光并不能增加IPS Empress 2和Vita VM 9这两种玻璃陶瓷的粘接强度,但若在氧化铝喷砂后使用Er:YAG激光,可获得最佳粘接强度,可作为粘接前的一种表面处理方式。

然而,部分学者认为,Er:YAG激光虽然可改变陶瓷表面微观结构,但是这种改变并不能为陶瓷提供机械固位力,Er:YAG激光仍不能增加陶瓷材料的粘接强度。部分学者^[22-24]发现,对于长石质玻璃陶瓷,氢氟酸刻蚀、硅烷化及喷砂仍然是最理想的表面处理方式,Er:YAG激光照射并不能提高其粘接强度,即使是Er:YAG激光联合氢氟酸刻蚀,其粘接强度仍然低于单纯使用氢氟酸刻蚀,从而认为激光不能作为该陶瓷常用的表面处理方式。Yavuz等^[25]的实验结果显示,无论是二硅酸锂玻璃陶瓷还是氧化锆渗透玻璃陶瓷,Er:YAG激光均不会增加其粘接强度。该实验结果与部分学者的研究结果相差较大,可能是由于所选激光的脉冲、功率、波长及照射时间等参数不同。

2.3 界面密合性

目前,学者对于激光照射后陶瓷的粘接性能的研究多限于粘接强度方面,而对界面密合性研究较少。界面密合性是影响修复体长期效果的重要因素,微渗漏的存在可使液体及细菌等渗入修复体与牙体粘接界面,增加了继发龋及术后敏感的发生率。学者们从不同的角度研究提高界面密合性的方法,其中激光的使用得到了部分学者的

肯定。Akin等^[18]通过实验发现,Er:YAG激光照射后的微渗漏等级降低,认为Er:YAG激光可减小Y-TZP陶瓷与牙本质粘接后的微渗漏深度,从而提高界面密合性。闫凯旋^[26]也通过实验发现,合适参数的Er:YAG激光可降低玻璃陶瓷与牙本质间的微渗漏,与氢氟酸处理的效果无明显差异。均匀的微机械嵌锁结构是提高陶瓷修复体界面密合性的前提,Er:YAG激光可通过对参数的控制达到理想的表面形貌,这为临床上Er:YAG激光的运用提供了理论依据。

3 Er:YAG激光去除陶瓷修复体或陶瓷托槽的优势

传统的托槽去除方法为火烧及喷砂,但均存在粘接剂去除不完全、降低托槽二次粘接强度等问题,且火烧法大大影响托槽美观性,而传统的车针法去除陶瓷修复体将影响修复体二次使用,甚至伤及天然牙。Er:YAG激光的出现为临床上解决这类问题提供了较好的选择。Rechmann等^[27]、Iseri等^[28]、Yassaei等^[29]通过研究发现,Er:YAG激光在去除陶瓷全冠或贴面时,不会破坏全冠及牙本质,激光仅作用于修复体与粘接的接触面,而不会作用于粘接剂与牙体接触面。使用激光去除修复体时,需根据修复体种类及厚度确定激光参数,如去除相同厚度的氧化锆修复体,其Er:YAG激光能量参数应大于玻璃陶瓷,因为氧化锆陶瓷散射系数更大,穿过瓷层需要更多能量。

Han等^[30]认为,Er:YAG激光在不损害陶瓷托槽表面结构的情况下,可以有效去除托槽表面的粘接剂,是一种可靠的陶瓷托槽循环利用的处理方法。这一观点在Tozlu等^[31]的实验中同样得到证实。Tak等^[32]通过运用5种不同的粘接剂将托槽粘接于牙面,发现Er:YAG激光均能有效去除其粘接力。当Er:YAG激光照射时间合适时,牙体组织的温度变化均在可接受范围内,不会对牙体组织造成损害;在有水冷却的情况下,激光照射致牙髓腔温度增加不超过牙髓腔正常情况下可承受的温度变化范围^[33-35]。Er:YAG激光可用于去除陶瓷修复体或托槽,其机制可能为:Er:YAG激光通过自身系统将吸收的水分转变成动能作用于粘接剂,粘接剂受力后溶解摧毁。通过对激光参数的调节,可控制其作用力的大小,使该力作用于粘接剂而对牙体组织无破坏作用,虽然在能量转换过程中可形成部分热能,但是整个激光照射过程均

有水雾冷却,可防止牙体组织温度过度升高。

与传统方法相比,Er:YAG激光对陶瓷修复体或托槽二次使用时的美观性能大有改善,但是若陶瓷较薄,单位面积内吸收激光照射的能量值变大,透明度将降低,影响美观^[36]。Ural等^[37]认为,当Er:YAG激光密度为 $400\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$ 时,可降低陶瓷表面 1.5 mm 的半透光性。临床上若是使用Er:YAG激光去除陶瓷修复体或托槽,在设定参数时,不仅要考虑去除粘接力的影响,还要考虑该参数对二次使用时美观性能的影响^[38]。

4 展望

Er:YAG激光在陶瓷材料粘接前的预处理或去除陶瓷材料方面均有一定效果,关键在于选择合适的参数。若参数选择合适,不仅能提高粘接强度、界面密合性,增强修复体的远期效果,还能不影响其透明度,获得最佳美学效果。但是针对临床上常用的陶瓷种类,目前尚未有统一的参数选择标准,且目前对于Er:YAG激光的研究仅限于体外研究,尚未见有关临床研究的报道。笔者认为在确定参数后,可从临床出发,对Er:YAG激光作用于陶瓷材料的粘接效果做病例追踪报告或临床试验。

5 参考文献

- [1] 赵信义. 口腔材料学[M]. 5版. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 106.
Zhao XY. Dental materials[M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2012: 106.
- [2] Della Bona A, Shen C, Anusavice KJ. Work of adhesion of resin on treated lithia disilicate-based ceramic[J]. Dent Mater, 2004, 20(4): 338-344.
- [3] Bertolini JC. Hydrofluoric acid: a review of toxicity [J]. J Emerg Med, 1992, 10(2): 163-168.
- [4] Burkes EJ Jr, Hoke J, Gomes E, et al. Wet versus dry enamel ablation by Er:YAG laser[J]. J Prosthet Dent, 1992, 67(6): 847-851.
- [5] Akyıl MŞ, Yılmaz A, Bayındır F, et al. Microtensile bond strength of resin cement to a feldspathic ceramic [J]. Photomed Laser Surg, 2011, 29(3): 197-203.
- [6] Altunsoy M, Botsali MS, Korkut E, et al. Effect of different surface treatments on the shear and microtensile bond strength of resin-modified glass ionomer cement to dentin[J]. Acta Odontol Scand, 2014, 72(8): 874-879.
- [7] Soares LE, Resende EB, Brugnera A Jr, et al. Combined FT-Raman and SEM studies of the effects of Er:YAG laser irradiation on dentin[J]. Photomed Laser Surg, 2007, 25(4): 239-244.
- [8] Jacquot B, Durand JC, Farge P, et al. Influence of temperature and relative humidity on dentin and enamel bonding: a critical review of the literature. Part 1. Laboratory studies[J]. J Adhes Dent, 2012, 4(5): 433-446.
- [9] Arami S, Tabatabae MH, Namdar SF, et al. Effects of different lasers and particle abrasion on surface characteristics of zirconia ceramics[J]. J Dent (Tehran), 2014, 11(2): 233-241.
- [10] da Silva BTF, Cesar PF, de Freitas PM, et al. Three-dimensional profilometric assessment of Er:YAG laser irradiated unsintered zirconia[J]. J Mater Sci, 2016, 51(15): 7266-7275.
- [11] Kara HB, Kara O, Sayin G, et al. Atomic force microscopy investigation of lithium disilicate glass ceramic after various surface treatments[J]. Adv Appl Ceram, 2014, 113(5): 301-306.
- [12] Erdur EA, Basciftci FA. Effect of Ti:Sapphire-femtosecond laser on the surface roughness of ceramics [J]. Lasers Surg Med, 2015, 47(10): 833-838.
- [13] Gorler O, Saygin AG. Comparative evaluation of effects of laser modalities on shear bond strengths of veneering porcelains to laser sintered substructures: an *in vitro* study[J]. Photomed Laser Surg, 2017, 35(6): 338-344.
- [14] Gökçe B, Ozpınar B, Dündar M, et al. Bond strengths of all-ceramics: acid vs laser etching[J]. Oper Dent, 2007, 32(2): 173-178.
- [15] Aksakalli S, Ileri Z, Yavuz T, et al. Porcelain laminate veneer conditioning for orthodontic bonding: SEM-EDX analysis[J]. Lasers Med Sci, 2015, 30(7): 1829-1834.
- [16] Dede DÖ, Yenisey M, Rona N, et al. Effects of laser treatment on the bond strength of differently sintered zirconia ceramics[J]. Photomed Laser Surg, 2016, 34(7): 276-283.
- [17] Akin GE, Kaval ME, Turk T, et al. Surface roughness

- and bond strength of zirconia posts to a resin cement after various surface pretreatments[J]. *Photomed Laser Surg*, 2015, 33(5): 246-251.
- [18] Akin H, Tugut F, Akin GE, et al. Effect of Er:YAG laser application on the shear bond strength and microleakage between resin cements and Y-TZP ceramics[J]. *Lasers Med Sci*, 2012, 27(2): 333-338.
- [19] Yassaei S, Moradi F, Aghili H, et al. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded to porcelain following etching with Er:YAG laser versus hydrofluoric acid[J]. *Orthodontics (Chic)*, 2013, 14(1): e82-e87.
- [20] Dilber E, Yavuz T, Kara HB, et al. Comparison of the effects of surface treatments on roughness of two ceramic systems[J]. *Photomed Laser Surg*, 2012, 30(6): 308-314.
- [21] Yavuz T, Dilber E, Kara HB, et al. Effects of different surface treatments on shear bond strength in two different ceramic systems[J]. *Laser Med Sci*, 2013, 28(5): 1233-1239.
- [22] Shiu P, De Souza-Zaroni WC, Eduardo CDP, et al. Effect of feldspathic ceramic surface treatments on bond strength to resin cement[J]. *Photomed Laser Surg*, 2007, 25(4): 291-296.
- [23] Akyil MS, Yilmaz A, Karaalioglu OF, et al. Shear bond strength of repair composite resin to an acid-etched and a laser-irradiated feldspathic ceramic surface[J]. *Photomed Laser Surg*, 2010, 28(4): 539-545.
- [24] Topcuoglu T, Oksayan R, Topcuoglu S, et al. Effect of Er:YAG laser pulse duration on shear bond strength of metal brackets bonded to a porcelain surface [J]. *Photomed Laser Surg*, 2013, 31(6): 240-246.
- [25] Yavuz T, Özyılmaz ÖY, Dilber E, et al. Effect of different surface treatments on porcelain-resin bond strength[J]. *J Prosthodont*, 2017, 26(5): 446-454.
- [26] 闫凯旋. Er:YAG激光预处理对玻璃陶瓷与牙本质间粘接性能影响的实验研究[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2016.
- Yan KX. Study on the effect of bonding property between feldspathic ceramic and dentin with different pretreatment[D]. Shijiazhuang: Hebei Medical University, 2016.
- [27] Rechmann P, Buu NC, Rechmann BM, et al. Laser all-ceramic crown removal and pulpal temperature—a laboratory proof-of-principle study[J]. *Lasers Med Sci*, 2015, 30(8): 2087-2093.
- [28] Iseri U, Oztoprak MO, Ozkurt Z, et al. Effect of Er:YAG laser on debonding strength of laminate veneers [J]. *Eur J Dent*, 2014, 8(1): 58-62.
- [29] Yassaei S, Aghili H, Hosseinzadeh Firouzabadi A, et al. Effect of Er:YAG laser and sandblasting in recycling of ceramic brackets[J]. *J Lasers Med Sci*, 2017, 8(1): 17-21.
- [30] Han RQ, Yang K, Ji LF, et al. Analysis of shear bond strength and morphology of Er:YAG laser-recycled ceramic orthodontic brackets[J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016: 7276287.
- [31] Tozlu M, Oztoprak MO, Arun T. Comparison of shear bond strengths of ceramic brackets after different time lags between lasing and debonding[J]. *Lasers Med Sci*, 2012, 27(6): 1151-1155.
- [32] Tak O, Sari T, Arslan Malkoç M, et al. The effect of transmitted Er:YAG laser energy through a dental ceramic on different types of resin cements[J]. *Lasers Surg Med*, 2015, 47(7): 602-607.
- [33] Nalbantgil D, Tozlu M, Oztoprak MO. Pulpal thermal changes following Er-YAG laser debonding of ceramic brackets[J]. *Sci World J*, 2014, 2014: 912429.
- [34] Yilanci H, Yildirim ZB, Ramoglu SI. Intrapulpal temperature increase during Er:YAG laser-aided debonding of ceramic brackets[J]. *Photomed Laser Surg*, 2017, 35(4): 217-222.
- [35] Dostalova T, Jelinkova H, Remes M, et al. The use of the Er:YAG laser for bracket debonding and its effect on enamel damage[J]. *Photomed Laser Surg*, 2016, 34(9): 394-399.
- [36] Turgut S, Bagis B, Ayaz EA, et al. How will surface treatments affect the translucency of porcelain laminate veneers[J]. *J Adv Prosthodont*, 2014, 6(1): 8-13.
- [37] Ural Ç, Duran İ, Evmek B, et al. Light transmittance and surface roughness of a feldspathic ceramic CAD-CAM material as a function of different surface treatments[J]. *BMC Oral Health*, 2016, 17(1): 16.
- [38] Sari T, Tuncel I, Usumez A, et al. Transmission of Er:YAG laser through different dental ceramics[J]. *Photomed Laser Surg*, 2014, 32(1): 37-41.