

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2021.05.010

· 综述 ·

Er: YAG激光应用于牙齿漂白的研究进展

杨雪莲¹, 刘夏青², 杨琪¹, 冯帆¹, 李雅丹¹, 李英^{1,2}

1. 山西医科大学口腔医学院·口腔医院, 山西 太原(030001); 2. 山西医科大学第一医院口腔多学科诊疗中心, 山西 太原(030000)

【摘要】 Er: YAG激光漂白作为一种新型牙齿漂白方法,与传统漂白技术相比,Er: YAG激光显著提高了漂白效率,具有安全性高、治疗时间短及漂白效果优异等优点,被广泛应用于临床操作。本文就Er: YAG激光漂白技术的作用原理、漂白特点及对牙体组织结构的影响作一综述。现有文献表明,Er: YAG激光对水和羟基磷灰石的高吸收特性使其可以作用于含水组织及牙体组织,当其被牙面上的漂白剂吸收后,能够加速催化氧化还原反应,选择性作用于沉着于牙齿上的色素颗粒,进而起到牙齿漂白的效果。Er: YAG激光漂白可适用于大多数变色牙,漂白过程快速且效果明显,在漂白过程中,对于牙髓组织而言,髓腔升温均低于5.6℃的临界值,对牙髓组织无病理损伤;对于牙体硬组织而言,激光照射会造成钙磷元素等化学成分的改变,牙釉质呈现出独特的熔岩状形态,漂白后牙体粘接强度有所增加。与其他激光相比,Er: YAG激光波长与水的峰值接近,且无需在漂白剂中添加其他成分,能量几乎全部用于漂白剂,对周围组织几乎无损伤。

【关键词】 Er: YAG激光; 牙齿漂白; 漂白效果; 牙髓刺激; 牙体硬组织; 显微结构; 粘接强度

【中图分类号】 R781.05 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2021)05-0351-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

【引用著录格式】 杨雪莲,刘夏青,杨琪,等. Er: YAG激光应用于牙齿漂白的研究进展[J]. 口腔疾病防治, 2021, 29(5): 351-355. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2021.05.010.

Research progress on Er: YAG lasers applied for tooth bleaching YANG Xuelian¹, LIU Xiaqing², YANG Qi¹, FENG Fan¹, LI Yadan¹, LI Ying^{1,2}. 1. Shanxi Medical University School and Hospital of Stomatology, Taiyuan 030001, China; 2. Oral Multi - Disciplinary Treatment Center, The First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, China

Corresponding author: LI Ying, Email: oliver1104@163.com, Tel: 86-13935177923

【Abstract】 Er: YAG laser bleaching is a new tooth bleaching method compared with traditional bleaching technology. The Er: YAG laser significantly improves the bleaching efficiency, has the advantages of high safety, short treatment time and excellent bleaching effect and is widely used in clinical operations. This paper summarizes the working principle and bleaching characteristics of Er: YAG laser bleaching technology and its effect on tooth structure. The existing literature suggests that the high absorption of water and hydroxyapatite by the Er: YAG laser makes it work well on water-bearing tissues and dental tissues. When it is absorbed by the bleaching agent on the tooth surface, it accelerates the catalytic oxidation-reduction reaction and selectively acts on the pigment particles deposited on the tooth, thereby achieving the effect of tooth bleaching. Er: YAG laser bleaching can be applied to most discolored teeth. The bleaching process is rapid and effective. During the bleaching process, for the dental pulp tissue, the temperature of the pulp cavity is lower than the critical value of 5.6℃, causing no pathological damage to the dental pulp tissue. For the hard tissues of the teeth, laser irradiation will cause changes in the chemical composition of calcium and phosphorus. The enamel presents a unique lava-like shape, and the bonding strength of the tooth increases after bleaching. Compared with other lasers, the Er: YAG laser has a wavelength close to the peak of water, and adding other ingredients to the bleaching

【收稿日期】 2020-09-14; **【修回日期】** 2020-12-21

【基金项目】 山西省重点研发计划项目(201903D321124)

【作者简介】 杨雪莲, 硕士研究生, Email: 754785575@qq.com

【通信作者】 李英, 主任医师, 博士, Email: oliver1104@163.com, Tel: 86-13935177923

agent is not required. Almost all the energy is used for the bleaching agent, with no damage to the surrounding tissues.

【Key words】 Er: YAG laser; tooth bleaching; bleaching effect; dental pulp irritation; tooth hard tissue; microstructure; bonding strength

J Prev Treat Stomatol Dis, 2021, 29(5): 351-355.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from Key R&D Project in Shanxi Province (No. 201903D321124).

牙齿漂白是将过氧化物(一般为6%~35%的过氧化氢或过氧化脲)放置于牙体硬组织表面或无髓变色牙髓腔内通过氧化还原反应达到美白目的。为提高漂白效率可辅以光源系统,常见光源漂白系统主要有冷光漂白、激光漂白(Er: YAG激光、Nd: YAG激光、半导体激光等^[1-3])。当Er: YAG激光用于牙齿漂白时,更突出了快速、有效、安全的特点。本文就Er: YAG激光在牙齿漂白中的研究进展做一综述。

1 Er: YAG激光漂白的作用原理

Er: YAG激光全称为“掺铒钇铝石榴石激光”(Y₃Al₅O₁₂: Er),属于自由运行脉冲激光,在电磁波谱中属于中红外波段,是一种水动力生物激光系统,波长为2 940 nm,处于水及羟基磷灰石的吸收峰值。当Er: YAG激光作用于水时,水分子吸收激光能量后作用于光照处的组织,导致该薄层内部压力增大至超过目标组织可承受的强度,蒸汽压可从组织分子中释放产生微爆破^[4]。由于Er: YAG激光对水有高吸收潜力,而水在漂白剂中占40%~65%,因此Er: YAG激光可被漂白剂高度吸收,且无需在漂白剂中添加其他成分^[5]。因为激光作用组织表浅,仅被漂白凝胶表面10~50 μm厚度吸收,避免了激光能量对硬组织深度的穿透,所以剩余激光能量对牙体硬组织几乎无损伤^[6]。当Er: YAG激光被牙面上的漂白剂吸收后,能够催化过氧化物与牙齿色素的氧化还原反应,使得漂白剂快速分解出自由基活性氧原子,选择性作用于沉着于牙齿上的色素颗粒,将其氧化分解,恢复牙齿洁白的色泽。因此,Er: YAG激光辅助漂白是一种快速、有效、安全、无创的牙齿漂白方法。

2 Er: YAG激光漂白的特点

2.1 适用范围广

关于适应证的选择主要考虑到牙齿变色原因,由于漂白剂是进入牙体硬组织发挥作用,牙釉

质的厚度及通透性差异也需关注。轻、中度氟斑牙的色素沉着主要集中在牙釉质表面,Er: YAG激光漂白较易分解牙釉质层色素,漂白效果较好;增龄性牙齿变色由于多年色素积累或者釉质磨损变薄导致牙本质颜色显露,此种变色一般不严重,也可以达到较好的漂白效果;四环素牙着色主体在牙本质,需要漂白剂渗透进入牙本质中才可发挥作用,而漂白剂在短时间内从牙釉质进入牙本质较困难,仅在诊室激光漂白后不能即刻、明显地改变颜色,需要辅以其他漂白方法。因此,激光用于牙齿漂白时,对轻度及中度的增龄性变色牙、氟斑牙等具有良好的漂白效果,但对于髓腔源性牙齿变色或重度氟斑牙、四环素牙则需要结合家庭漂白及微研磨等方法。

2.2 漂白效果优异

在牙齿漂白中,评价漂白效果主要是通过色阶的改变。目前,普遍采用的是比色板和分光光度计评估漂白效果,比色板漂白效果评价标准^[7]是牙齿漂白后,提高0~1个色阶为无效,2~4个色阶为有效,≥5个色阶为显效。分光光度计漂白效果评价标准^[8]是牙齿漂白后,色差(ΔE) < 1 NBS为无效,1 NBS ≤ ΔE < 3.7 NBS为有效,ΔE ≥ 3.7 NBS为显效,一般公认的临床显著的颜色变化阈值为ΔE大于3.3 NBS^[9]。张志升等^[10]比较了74例Er: YAG激光漂白(40 mJ, 10 Hz)与传统漂白,通过Vita比色板评估牙齿颜色,3个月后回访发现激光漂白组有70例至少提高了2~4个色阶,认为Er: YAG激光相比于传统方法漂白效果更为优越。Ergin等^[11]利用Er: YAG激光(50 mJ, 10 Hz)辅助35%过氧化氢在牛离体牙漂白,分光光度计评估牙齿颜色发现激光辅助漂白效果显著(ΔE=9.04±7.57)。

3 Er: YAG激光漂白对牙体组织的影响

3.1 对牙髓组织的影响

有研究报道,Er: YAG激光照射牙髓细胞和牙髓组织后能促进牙髓来源细胞的增殖,可以增强

碱性磷酸酶以及基质金属蛋白酶的活性,有助于诱导分化为成牙本质细胞,对于形成修复性牙本质及牙本质再生具有重要意义^[12]。将Er:YAG激光(40 mJ, 10 Hz)用于上颌中切牙进行体外漂白研究,发现牙齿漂白后髓腔升温均低于5.6℃的临界值,对牙髓组织无病理损伤,且短时间内达到较好的漂白效果,对催化诊室漂白凝胶有效^[13-15]。Benetti等^[6]认为不同类型的光不会改变漂白凝胶对牙髓组织产生的牙髓炎症或细胞毒性,但同一光源的不同参数会影响牙齿漂白效果及牙髓组织。De Moor等^[16]评估了激光漂白过程中温度上升对牙髓和术后敏感性的影响,认为Er:YAG激光漂白仅局限于加热漂白凝胶,漂白凝胶温度可达20.11℃,且对水和羟基磷灰石的高吸收特性易造成牙体组织烧蚀,会对牙齿和牙髓组织造成不必要的加热,可能会导致漂白牙齿的疼痛和不可逆损害。

然而有学者认为Er:YAG激光的能量几乎全部被漂白凝胶中的水分吸收,凝胶可作为一个吸收屏障,阻止能量通过硬组织的传输。通过这种相互作用,当Er:YAG激光作用于漂白凝胶时,所有的能量都用来加热凝胶,而周围的组织保持安全。Er:YAG激光在40 mJ、10 Hz、光斑5 mm的参数模式下是推荐使用的,通过减少激光脉冲的影响,使其低于牙釉质和牙本质的消融阈值,保障了牙体硬组织的安全。研究发现使用Er:YAG激光推荐参数进行牙齿漂白在漂白过程中及结束后患者均未感到牙齿敏感^[17]。因此,在漂白过程中需注意参数设置、漂白时间的限定及对牙龈组织的保护。

3.2 对牙体硬组织的影响

有研究认为激光照射会造成牙体硬组织中钙磷元素等化学成分的改变,然而也有学者认为激光漂白后氟保护剂的应用可有效防止牙齿脱矿,不会造成牙齿显微硬度的降低。Kahvecioglu等^[18]通过比较不同功率(200 mJ、250 mJ、300 mJ)的Er:YAG激光对牙釉质矿物含量及形态的影响,发现激光功率设置与牙釉质矿物重量百分比的变化无相关性,激光治疗后钙、磷、氟百分比重量增加,镁、钾、钠的百分比重量无明显变化,扫描电镜观察到不同能级照射的牙釉质呈现出独特的熔岩状形态,激光照射能量高者牙釉质表面不规则现象更多,也有学者观察到激光漂白后釉质的丢失和釉柱的部分暴露^[5]。Polat等^[19]将Er:YAG激光(80 mJ, 10 Hz)联合再矿化剂测定牙齿显微硬度,观察到激光联合再矿化剂组与单独再矿化剂组相比,

激光治疗组的显微硬度值更高,有效防止了牙釉质的脱矿,且四氟化钛联合激光更有利于牙釉质的再矿化。由于牙齿显微硬度主要与漂白试验中的样本选择、漂白剂的种类及辅助光源、测量部位、测量时机、储存环境等密切相关,在实际应用中,自身口腔唾液的作用及漂白结束后氟保护剂的使用可能会促进牙釉质再矿化,保障牙体硬组织结构的完整性^[20]。

有学者发现部分漂白治疗后可能发生牙颈部外吸收,这在内漂白及热催化漂白中更为常见,可能是由于过氧化氢导致牙本质变性引起宿主免疫反应,辅助热催化时可加速漂白剂通过牙本质小管的扩散,累及牙周膜,引起局部炎症出现破骨细胞,从而导致牙颈部硬组织吸收^[21]。关于激光牙齿漂白,尚无具体文献报道牙齿漂白导致牙颈部外吸收,临床研究中发现其最大的副作用为牙本质敏感。有学者发现虽然与传统漂白相比激光漂白后的牙齿敏感率大幅度降低,但仍有11%的患者出现漂白后敏感症状,可能与激光参数及漂白剂的浓度有关^[22]。

3.3 对牙体粘接强度的影响

目前,普遍认为牙齿漂白后至少14 d才可达到可靠的粘接,可能是因为残留在牙本质小管及胶原基质中的游离自由基会抑制粘接剂和树脂材料等的聚合,从而影响后期修复治疗^[23]。有研究表明,Er:YAG激光(50 mJ, 10 Hz)辅助35%过氧化氢漂白14 d后,与二极管激光、LED等光活化漂白系统相比,表面轮廓仪测试的牙齿表面粗糙度增加,且Er:YAG激光辅助过氧化氢漂白使用时间最短而粘接强度测试最高^[11]。可能是因为过氧化物与牙釉质反应时间缩短而产生的残余氧自由基减少^[24]。通过烧蚀的热机械过程,Er:YAG激光照射在牙体结构中引起微爆破及热效应导致自由基从牙体结构中去除^[25],同时提高了牙本质对复合材料的微拉伸强度^[26]。Er:YAG激光漂白后的粘接强度最高,提供了更合适的粘接界面^[27],被认为是漂白后修复的更好选择,可减少经牙髓治疗的牙齿冠状面劈裂、微渗漏、变色复发的概率^[28]。

然而Leonetti等^[29]通过评估Er:YAG激光(25.52 J/cm²、4.42 J/cm²)对漂白牛牙釉质粘接强度的影响,发现两种参数激光辅助漂白与单纯漂白的粘接强度没有显著差异,猜测可能是由于漂白剂的残留氧及Er:YAG激光照射对牙体结构的改变(釉柱损失、有机物的改变)削弱了粘接界面,降

低了粘接强度。Ceyda等^[30]使用Er:YAG激光(0.4 W, 10 Hz)分别辅助35%和40%过氧化氢评估人离体牙漂白后的粘接强度,观察到Er:YAG激光照射后釉质表面出现不规则的多孔结构,猜测Er:YAG激光照射牙釉质产生的微爆破、宏观和微观粗糙表面通过阻塞釉质表面的微孔结构,阻碍了粘接剂对釉质表面的渗透,认为Er:YAG激光漂白一定程度上降低了釉质的粘接强度。

4 Er:YAG激光漂白与其他激光漂白的区别

目前,常用的激光漂白主要有Er:YAG激光、Nd:YAG激光、KTP激光、二极管激光等。Nd:YAG激光波长为1 064 nm,对色素有高吸收潜力,且穿透深度较大,通过在漂白凝胶中加入特定的激光吸收粒子催化过氧化物,增强及加速过氧化物的作用,达到牙齿漂白的效果。KTP激光是一种532 nm倍频激光,它释放的绿色可见辐射光可被血红蛋白和黑色素有选择性地吸收,对于牙齿漂白而言,可在漂白凝胶中加入特定的激光吸收增强粒子,从而吸收部分激光能量,提高牙齿漂白效率。二极管激光用于牙齿漂白中可加热漂白凝胶,催化过氧化物与牙齿色素的氧化还原反应,同时可消除单色性脉管过热的风险,通过其低水平激光治疗效果,诱导止痛、抗炎和生物调节等降低漂白过程的副作用^[15]。Er:YAG激光与其他激光的区别在于其波长与水的峰值接近,对水有高吸收潜力,且无需在漂白剂中添加其他成分,能量几乎全部用于漂白剂,加速过氧化物的作用,进而达到牙齿漂白效果。

Nguyen等^[5]比较了不同浓度过氧化氢对Er:YAG激光与KTP激光的形态与颜色影响,发现与KTP激光相比,Er:YAG激光热升高值较大;分光光度计显示二者牙齿漂白效果无显著差异。虽然Er:YAG激光漂白提高了凝胶温度,但同时也提高了牙齿漂白效果,扫描电镜显示二者激光漂白后牙釉质表面均有轻微的形态改变。Basir等^[27]通过比较Er:YAG激光与Nd:YAG激光对漂白后牙体粘接强度影响,发现在家庭漂白中,Er:YAG激光与Nd:YAG激光均能不同程度提高牙齿的粘接强度;但在诊室漂白中,Er:YAG激光相比于其他激光而言,其牙齿粘接强度具有明显提升。有学者比较了Er:YAG激光与940 nm波长二极管激光在颜色变化、表面粗糙度、漂白后釉质结合强度等方面的差异,观察到二者在颜色变化、表面粗糙度方

面无显著差异,均对牙齿漂白有促进作用,增加了牙齿表面粗糙度,但Er:YAG激光漂白提供了更高的牙齿粘接强度^[12]。

Er:YAG激光与其他非激光系统相比可观察到优越的漂白效果或漂白时间缩短等优势;但由于漂白浓度、激光波长及参数设置等因素,目前关于不同激光牙齿漂白效果比较文献尚不足以得出具体结论,很难从现有文献中比较不同激光的牙齿漂白效果优异。关于其与常用激光的漂白效果对比还需要进一步实验研究。

5 小 结

综上所述,Er:YAG激光漂白不接触口腔软组织,对牙髓产生的热效应和对牙齿结构的影响较小,在牙齿漂白中适应证广泛,短时间内可以达到优异的美白效果,具有良好的应用前景。但目前关于Er:YAG激光漂白效果大都限于即刻对比,虽然有学者注意到了牙齿漂白的颜色回复问题,但由于患者自身影响因素较多,对漂白后牙齿颜色变化情况及可能影响因素没有进行探讨;而且有关激光漂白后的牙齿粘接强度研究结果尚不一致,因此关于漂白后牙齿的颜色稳定性及对牙齿粘接强度的影响尚需进一步实验研究;同时激光漂白的参数设置、临床应用规范等也需关注。相信随着激光漂白技术的改进和深入研究,Er:YAG激光在牙齿漂白中的应用也会日渐完善。

【Author contributions】 Yang XL wrote the article. Liu XQ, Yang Q, Feng F, Li YD collected the literatures. Li Y revised the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

参考文献

- [1] Shahabi S, Assadian H, Mahmoudi NA, et al. Comparison of tooth color change after bleaching with conventional and different Light-Activated methods[J]. J Lasers Med Sci, 2018, 9(1): 27-31. doi: 10.15171/jlms.2018.07.
- [2] Bennett ZY, Walsh LJ. Efficacy of LED versus KTP laser activation of photodynamic bleaching of tetracycline-stained dentine[J]. Lasers Med Sci, 2015, 30(7): 1823-1828. doi: 10.1007/s10103-014-1675-4.
- [3] Mirzaie M, Yassini E, Ganji S, et al. A comparative study of enamel surface roughness after bleaching with diode laser and Nd:YAG laser[J]. J Lasers Med Sci, 2016, 7(3): 197-200. doi: 10.15171/jlms.2016.34.
- [4] Walsh JT, Flotte TJ, Deutsch TF. Er: YAG laser ablation of tissue: effect of pulse duration and tissue type on thermal damage[J]. Lasers Surg Med, 1989, 9(4): 314-326. doi:10.1002/lsm.1900090403.
- [5] Nguyen C, Augros C, Rocca JP, et al. KTP and Er: YAG laser den-

- tal bleaching comparison: a spectrophotometric, thermal and morphologic analysis[J]. *Lasers Med Sci*, 2015, 30(8): 2157-2164. doi: 10.1007/s10103-015-1778-6.
- [6] Benetti F, Lemos CAA, De Oliveira GM, et al. Influence of different types of light on the response of the pulp tissue in dental bleaching: a systematic review[J]. *Clin Oral Investig*, 2018, 22(4): 1825-1837. doi: 10.1007/s00784-017-2278-9.
- [7] 张平娟, 刘鸿雁, 钟小奕, 等. 不同程度着色的四环素牙冷光美白疗效对比[J]. *广西医科大学学报*, 2015, 32(2): 293-294. doi: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2015.02.043.
- Zhang PJ, Liu HY, Zhong XY, et al. Comparison of the efficacy of tetracycline teeth cold light whitening with different degrees of coloring[J]. *J Guangxi Med University*, 2015, 32(2): 293-294. doi: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2015.02.043.
- [8] Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry[J]. *J Dent Res*, 1989, 68(5): 819-822. doi: 10.1177/00220345890680051301.
- [9] Kiomars N, Azarpour P, Mirzaei M, et al. Evaluation of the diode laser (810 nm, 980 nm) on color change of teeth after external bleaching[J]. *Laser Ther*, 2016, 25(4): 267-272. doi: 10.5978/islsm.16-OR-21.
- [10] 张志升, 金地, 洪菲菲, 等. Er: YAG激光在牙体漂白中的应用与临床对比研究[J]. *中国医疗美容*, 2018, 8(11): 79-82. doi: 10.19593/j.issn.2095-0721.2018.11.024.
- Zhang ZS, Jin D, Hong FF, et al. Application of Er: YAG laser in tooth bleaching and clinical comparison[J]. *Chin Med Cosmetol*, 2018, 8(11): 79-82. doi: 10.19593/j.issn.2095-0721.2018.11.024.
- [11] Ergin E, Ruya YA, Kalender B, et al. *In vitro* comparison of an Er: YAG laser-activated bleaching system with different light-activated bleaching systems for color change, surface roughness, and enamel bond strength[J]. *Lasers Med Sci*, 2018, 33(9): 1913-1918. doi: 10.1007/s10103-018-2555-0.
- [12] Yamakawa S, Niwa T, Karakida T, et al. Effects of Er: YAG and diode laser irradiation on dental pulp cells and tissues[J]. *Int J Mol Sci*, 2018, 19(8): 2429-2431. doi: 10.3390/ijms19082429.
- [13] Sari T, Celik G, Usumez A. Temperature rise in pulp and gel during laser-activated bleaching: *in vitro* [J]. *Lasers Med Sci*, 2015, 30(2): 577-582. doi: 10.1007/s10103-013-1375-5.
- [14] Zach L, Cohen G. Pulp response to externally applied heat [J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1965, 19(65): 515-530.
- [15] Moosavi H, Arjmand N, Ahrari F, et al. Effect of low-level laser therapy on tooth sensitivity induced by in-office bleaching[J]. *Lasers Med Sci*, 2016, 31(4): 713-719. doi: 10.1007/s10103-016-1913-z.
- [16] De Moor RJ, Verheyen J, Verheyen P, et al. Laser teeth bleaching: evaluation of eventual side effects on enamel and the pulp and the efficiency *in vitro* and *in vivo* [J]. *Sci World J*, 2015: 835405. doi: 10.1155/2015/835405.
- [17] Sari T, Usumez A. Case report: office bleaching with Er: YAG laser [J]. *J Laser Health Acad*, 2013, 1: 4-6.
- [18] Kahvecioglu F, Kahraman K, Akman H, et al. Effects of Er:YAG laser treatment on the mineral content and morphology of primary tooth enamel[J]. *Photomed Laser Surg*, 2018, 36(12): 680-686. doi: 10.1089/pho.2018.4482.
- [19] Polat YK, Ilday NO. The effects of different anticavity agents and Er: YAG laser usage on enamel surface microhardness[J]. *Oral Health Prev Dent*, 2020, 18(1): 601-606. doi: 10.3290/j.ohpd.a43893.
- [20] Dionysopoulos D, Strakas D, Koliniotou-Koumpia E, et al. Effect of Er, Cr: YSGG laser irradiation on bovine enamel surface during in-office tooth bleaching *ex vivo* [J]. *Odontology*, 2017, 105(3): 320-328. doi: 10.1007/s10266-016-0273-2.
- [21] Newton R, Hayes J. The association of external cervical resorption with modern internal bleaching protocols: what is the current evidence? [J]. *Br Dent J*, 2020, 228(5): 333-337. doi: 10.1038/s41415-020-1317-0.
- [22] Kikly A, Jaâfoura S, Sahtout S. Vital laser-activated teeth bleaching and postoperative sensitivity: a systematic review[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2019, 31(5): 441-450. doi: 10.1111/jerd.12482.
- [23] Topcu FT, Erdemir U, Ozel E, et al. Influence of bleaching regimen and time elapsed on microtensile bond strength of resin composite to enamel[J]. *Contemp Clin Dent*, 2017, 8(3): 451-458. doi: 10.4103/ccd.ccd_234_17.
- [24] Pimenta-Dutra AC, Albuquerque RC, Morgan LS, et al. Effect of bleaching agents on enamel surface of bovine teeth: a SEM study [J]. *J Clin Exp Dent*, 2017, 9(1): e46-e50. doi: 10.4317/jced.53011.
- [25] Kiomarsi N, Arjmand Y, Kharrazi FM, et al. Effects of Erbium family laser on shear bond strength of composite to dentin after internal bleaching[J]. *J Lasers Med Sci*, 2018, 9(1): 58-62. doi: 10.15171/jlms.2018.12.
- [26] Rezaei M, Aliasghar E, Rezvani MB, et al. Effect of Er: YAG laser on microtensile bond strength of bleached dentin to composite[J]. *J Lasers Med Sci*, 2019, 10(2): 117-124. doi: 10.15171/jlms.2019.19.
- [27] Basir MM, Rezvani MB, Chiniforush N, et al. Effect of CO₂, Nd: YAG and Er: YAG lasers on microtensile bond strength of composite to Bleached-Enamel[J]. *Open Dent J*, 2016, 10(10): 148-157. doi: 10.2174/1874210601610010148.
- [28] Jung KH, Seon EM, Choi A, et al. Time of application of Sodium ascorbate on bonding to bleached dentin[J]. *Scanning*, 2017: 6074253. doi: 10.1155/2017/6074253.
- [29] Leonetti ES, Rodrigues JA, Reis AF, et al. Effects of Er: YAG laser irradiation on the microtensile bond strength to bleached enamel[J]. *Photomed Laser Surg*, 2011, 29(8): 551-558. doi: 10.1089/pho.2010.2813.
- [30] Ceyda A, Mijde S, Yusuf OO, et al. Evaluation of the shear bond strength of resin cement to enamel after bleaching with Er: YAG and diode laser[J]. *Advanced Composites Letters*, 2020, 29: 1-7. doi: 10.1177/2633366X19899961.

(编辑 罗燕鸿)



官网



公众号