

激光、粘接剂及其联合使用在牙本质敏感症治疗中的研究进展

马晓月¹ 吴丹¹ 吴逢春¹ 张荣德^{1,2}

1. 西北民族大学医学部 兰州 730030;

2. 西北民族大学口腔医院口腔内科 兰州 730030

[摘要] 牙本质敏感症是口腔门诊中常见的牙体硬组织非龋性疾病,传统脱敏治疗方法如氟化物涂层和抗敏感性牙膏虽然能缓解症状,但效果有限。近年来,激光联合粘接剂作为新兴的治疗方法,逐渐获得临床和研究者的关注。激光通过改变牙本质微观结构封闭牙本质小管,减轻敏感症状;粘接剂则在牙本质表面形成保护性屏障,减少外界刺激的影响;激光与粘接剂的联合使用能增强治疗效果、延长疗效并减少复发,激光预处理可改善粘接剂的渗透性和粘接强度,进一步提高治疗持久性。激光与粘接剂的联合治疗在短期内疗效显著,但其长期效果和安全性仍需进一步研究。本文综述了激光、粘接剂及其联合使用在牙本质敏感症治疗中的研究进展,并探讨其在口腔医学中的应用前景和潜在价值,为未来研究和临床实践提供参考。

[关键词] 牙本质过敏; 粘接剂; 激光; 脱敏剂; 联合治疗

[中图分类号] R780.1 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjlkq.2026230



本文链接

OSID 码

Research progress on laser, bonding agents and their combined use in the treatment of dentin hypersensitivity

Ma Xiaoyue¹, Wu Dan¹, Wu Fengchun¹, Zhang Rongde^{1,2}

1. Medical College of Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, China; 2. Dept. of Oral Medicine, Northwest Minzu University Stomatological Hospital, Lanzhou 730030, China

Supported by: 2025 Undergraduate Training Program on Innovation and Entrepreneurship of Northwest Minzu University (X202510742304)

Correspondence: Zhang Rongde, Email: 2650197071@qq.com

[Abstract] Dentin hypersensitivity is a prevalent dental issue. Traditional treatments like fluoride varnishes and anti-sensitivity toothpastes offer limited relief. Recently, laser-assisted bonding agents have gained attention as an innovative treatment. Lasers modify dentin microstructure to seal tubules and reduce sensitivity, while bonding agents create a protective barrier. Combining lasers with bonding agents enhances treatment effectiveness, prolongs effects, and reduces relapse by improving permeability and bond strength. Although promising in the short term, the long-term effects and safety of this combined therapy need further study. This review seeks to synthesize recent advancements in laser, bonding agents and their combined use in the treatments for dentin hypersensitivity, examining their potential applications and significance within the field of dentistry, while also serving as a reference for future research endeavors and clinical practice.

[Key words] dentin hypersensitivity; bonding agents; laser; desensitizers; combined treatment

[收稿日期] 2025-05-08; **[修回日期]** 2025-10-24

[基金项目] 西北民族大学2025年校级大学生创新创业训练计划(X20-2510742304)

[第一作者] 马晓月, 学士, Email: y20241203@163.com

[通信作者] 张荣德, 副主任医师, 硕士, Email: 2650197071@qq.com

牙本质敏感症(dentin hypersensitivity, DH)是指牙齿受到生理范围内的刺激,如机械、温度、化学等,从而出现的短暂、尖锐的疼痛或不适现象,且会随着刺激去除而消失^[1]。其病因复杂而多样,包含了牙龈的萎缩、牙齿的磨损以及龋齿等

多个因素,一般累及几颗牙甚至全口牙,其敏感点多发现在咬合面釉牙本质界、牙本质暴露出或牙颈部釉牙骨质界处^[2-3]。近年来,针对DH的治疗方法较多,传统的脱敏剂以及氟化物的局部应用疗效因个体差异较为明显。故越来越多的研究者们开始积极探索新的治疗策略,其中激光与粘接剂的联合应用引起了广泛的关注。激光照射可通过改变牙本质微观结构显著提升粘接剂效能,从而增强牙本质-粘接界面的结合强度^[4]。联合应用激光与粘接系统还能有效降低微渗漏发生率,并显著减少DH的复发^[5]。

本文对激光联合粘接剂在DH治疗中的研究进展进行综述,重点侧重于激光联合粘接剂的临床应用以及对未来的发展与前景展望。

1 DH的机制及临床疗效

1.1 DH的病理机制

迄今为止,DH的发生机制尚未完全阐明,处于学说状态,Brannstrom^[6]提出的流体动力学假说最被广泛接受,且得到了大量的实验证明。流体动力学说是指,在牙本质小管内充满着牙本质液并与牙髓相通,在受到外界温度、机械或化学因素刺激作用后迅速引起牙本质小管内液体的流动,这种异常的流动被传递到牙髓,引起牙髓的A- δ 神经纤维和部分A- β 神经纤维产生敏感症状,产生痛觉^[7]。

1.2 DH的临床疗效

Grossman^[8]于1955年提出了关于DH治疗的要求,并一直沿用至今。目前,治疗DH的直接方法包括封闭牙本质小管、减少或避免刺激时牙本质内液体的流动,以及通过镇静牙髓神经来缓解症状^[9]。间接方法则包括促进牙齿再矿化并控制牙菌斑生成,以减轻因多重因素导致的釉质破坏和颈部暴露。此外,根据患者的具体病因,调整饮食习惯、采用正确的刷牙方式、治疗磨牙症以及调节心理状态等也同样重要。

传统的DH治疗方法包括使用氟化物、树脂密封剂以及各种类型的脱敏剂等,然而传统的治疗方法往往受到个体差异的影响,且具有一定的局限性,大多数脱敏剂的作用机制为阻塞牙本质小管,减少牙本质小管内液体的流动,但堵塞牙本质小管的物质并不是永久的,由于咬合、磨耗、刷牙和唾液冲刷等机械磨损,以及口腔环境的复

杂性,易使封闭的牙本质小管再次开放,脱敏效果通常不能持久。因此,寻找理想的治疗DH的方法或金标准仍是一个挑战。目前激光技术结合粘接剂的应用,已成为当前科研领域的热门课题和研究方向^[10]。

2 粘接剂在DH治疗中的应用

2.1 粘接剂类型和作用机制

粘接剂在牙科领域中用途广泛,在DH治疗中发挥重要作用。粘接剂通过在牙齿表面形成保护性屏障,能够有效减少外界刺激对暴露牙本质的直接作用,从而缓解过敏症状。

牙科粘接剂基于其蚀刻技术分为:酸蚀-冲洗粘接系统和自酸蚀粘接系统。酸蚀-冲洗粘接系统(原称“全酸蚀”)需先使用30%~40%磷酸对釉质或牙本质进行单独酸蚀,随后冲洗并干燥,再涂布粘接剂;而自酸蚀系统则将酸性单体(如10-甲基丙烯酸酯氧基癸基二氢磷酸酯)整合于粘接剂中,无需单独酸蚀步骤,直接涂布后即可固化,操作更简便并减少了牙齿敏感问题^[11-12]。

牙科粘接剂添加改性材料后的分类有以下3类。

1) 添加封闭性材料,通过物理封闭牙本质小管,阻断流体流动,直接缓解敏感。①纳米羟磷灰石:模拟牙本质矿物结构,沉积于小管内形成物理屏障^[13]。②生物活性玻璃:释放钙、磷离子促进再矿化,封闭小管(如Novamin技术)^[14]。③树脂改性玻璃离子:结合玻璃离子的氟释放和树脂的机械性能^[15]。

2) 添加神经调节材料,通过化学干预神经信号传导,间接缓解敏感,需配合封闭技术使用。钾盐(硝酸钾、氯化钾),通过阻断牙髓神经的疼痛信号传导降低敏感性^[16]。

3) 添加抗菌/抗炎成分。①氯己定,减少细菌感染对牙髓的刺激^[17-18]。②季铵盐,抑制生物膜形成,降低继发龋风险^[19]。

2.2 粘接剂治疗的临床疗效和局限性

针对DH的治疗,粘接剂通过在暴露的牙本质表面形成保护性封闭层,有效减少了牙本质小管的开放程度,从而减轻过敏症状。近年来的研究^[20]显示,大多数粘接剂在临床上都能有效减少过敏反应,自酸蚀型粘接剂由于其较强的封闭效果和操作简便性,在临床上较为常用。还有研

究^[21]发现,尽管自酸蚀型粘接剂在初期能提供较好的粘接强度,但随着时间的推移,其粘接强度会显著下降,这种粘接强度的下降主要是由于粘接界面内的纳米渗漏和酶活性导致的。纳米技术增强型和钙磷复合物增强型粘接剂则通过进一步提高封闭效果和增强再矿化能力,成为治疗牙本质过敏的新趋势^[22]。

粘接剂在治疗DH时也存在一些局限性。首先,粘接剂的长期效果可能受到口腔环境中水解作用的影响,导致粘接界面的降解和失效^[23]。此外,粘接剂的应用可能无法完全消除疼痛,尤其是在治疗初期,患者可能仍会感到不适^[24-25]。因此,尽管粘接剂在短期内能够提供有效的缓解,但其在长期效果和抗降解能力方面的局限性需要进一步的研究和改进,以提高其在临床应用中的有效性和稳定性。

3 激光治疗在DH中的作用

自20世纪60年代激光技术问世以来,其应用于DH治疗先后经历了:早期主要探索激光在口腔软组织中的应用;中期确立了钕钇铝石榴石(Neodymium Yttrium Aluminum garnet, Nd:YAG)激光和掺铒钇铝石榴石(Erbium-doped Yttrium Aluminum garnet, Er:YAG)激光封闭牙本质小管的有效性,并发展了低功率二极管激光的神经调节疗法;近期则聚焦于联合治疗的研发,体现激光技术为DH治疗提供了新的解决方案。

3.1 激光治疗的机制与分类

不同于传统脱敏剂的沉积式封闭牙本质小管的机制和磷酸钙盐的化学结合式封闭牙本质小管的机制,激光能诱导牙本质表面的形态和特征发生改变。激光治疗DH的机制主要有2种:一是热熔机制,通过吸收激光热量使牙本质小管熔化,封闭牙本质小管还可以蒸发牙本质小管内的液体;二是激光照射可以通过降低神经对钠、钾离子的通透性,从而降低照射区域内神经纤维对刺激的敏感性,起到镇痛的效果^[26-27]。目前临床上常用来治疗DH的激光类型包括以下几种。

3.1.1 Nd:YAG激光

Nd:YAG激光因其较强的组织穿透能力,被认为可通过热效应引起牙本质表面蛋白变性,牙本质小管口收缩,从而降低牙本质液体流动性,缓解DH。临床研究^[28]提示,在合理参数条件下,

Nd:YAG激光在减轻DH方面具有较为稳定的镇痛效果,且其中远期疗效优于部分传统去敏治疗方法。

3.1.2 Er:YAG激光

Er:YAG激光(2 940 nm)处理组的牙本质渗透性降低幅度最大,显著优于对照组;扫描电镜观察表明,Er:YAG激光通过水吸收效应形成均匀的熔融封闭层,在降低牙本质渗透性方面具有最优效果^[29]。

3.1.3 掺铒铬钇铝石榴石(Erbium-doped Chrome Yttrium Aluminum garnet, Er,Cr:YSGG)激光

Er,Cr:YSGG激光在DH的治疗中也有广泛应用。研究^[30]结果显示,Er,Cr:YSGG激光组在所有随访时间点的疼痛缓解效果均显著优于对照组;扫描电镜分析表明,Er,Cr:YSGG激光的小管封闭率显著更高,且形成的熔融层更均匀;6个月随访时,Er,Cr:YSGG激光组的复发率显著低于对照组。这种激光通过其独特的波长和能量设置,能够在不损伤牙齿的情况下,达到封闭牙本质小管的效果。

3.1.4 CO₂激光

CO₂激光通过其高效的凝固能力,可以有效封闭牙本质小管,从而减少DH的症状。研究^[31]表明,9.3 μm CO₂激光在脉冲能量密度为0.81 J/cm²时,可以显著减少牙本质小管的开放面积,达到97%的封闭效果,同时不会导致牙髓温度升高至不安全的水平。由此可见,CO₂激光在安全范围内能够有效封闭牙本质小管,从而减轻DH症状。

3.1.5 砷化镓铝(Gallium Aluminum Arsenide, GaAlAs)激光

GaAlAs激光作为低能量激光疗法(low-level laser therapy, LLLT)的一种,也在DH的治疗中显示出潜力。研究^[32]发现,GaAlAs激光可以通过激活TGF-β/Smad信号通路,协同促进牙本质基质分泌和血管网络形成,改善DH的症状。这种激光疗法通过优化参数,可以有效促进牙髓组织的再生和修复,从而减轻过敏症状。

3.2 激光治疗的临床疗效和局限性

有研究^[30]比较了Er,Cr:YSGG激光与940 nm二极管激光治疗DH的效果,结果显示,两组在即刻、术后1周及1个月均可降低疼痛的视觉模拟标尺(visual analog scale, VAS)评分;两组在即刻与1周的疼痛缓解差异无统计学意义,但在术后1

个月时Er,Cr:YSGG组疼痛缓解显著优于二极管组($P<0.05$)。此外,Er,Cr:YSGG组即刻平均疼痛下降约68%,研究期内相对基线总体疼痛下降为79.3%,高于二极管组的65.9%。此外有研究^[33]比较了5%硝酸钾、LLLT及二者联合对氟斑牙与非氟斑牙DH的疗效,评估时间点为基线、治疗后30 min以及1、4、12周,结果显示,联合组在随访期内对DH的缓解总体优于单一治疗;以空气刺激为例,12周时疼痛VAS百分比降幅在非氟斑牙与氟斑牙分别为51.5%与55.2%,高于LLLT组(24.4%/30.2%)及硝酸钾组(1.3%/6.6%)。

然而,尽管激光疗法在短期内能够有效缓解DH,但其长期效果仍需进一步研究。有研究^[34]指出,Nd:YAG激光在治疗DH时,虽然在短期内表现出良好的效果,但在长达9个月的随访中,效果逐渐减弱。

综上,激光治疗DH是一种有效的短期治疗方法,但其长期效果和潜在不良反应用需要更多的临床研究来验证。

4 激光联合粘接剂治疗DH的协同作用研究

激光联合粘接剂治疗DH的研究始于20世纪80年代,结合了激光的高效能量作用和粘接剂的封闭效果,最初采用CO₂和Nd:YAG激光单独治疗,通过热效应封闭牙本质小管,但效果维持时间较短,20世纪90年代起,研究者开发出激光预处理联合粘接剂的新方法,这种联合治疗能够在短时间内减轻症状,并显著提高治疗效果的持久性^[35-36]。研究提示,激光处理可改变牙体或修复体表面形貌(如去除玷污层、增加表面粗糙度),从而可能改善树脂类粘接材料的润湿与渗透,并有助于提高粘接界面的稳定性。体外研究^[37]显示,Er:YAG激光可在较短时间内安全取下氧化锆及二硅酸锂全冠修复体,不同树脂黏固系统对去粘接时间的影响不显著,且扫描电镜观察未见陶瓷表面微结构发生明显改变。还有研究^[38]显示,二极管激光与含氟粘接剂联用可产生协同效应。随着激光参数优化和新型生物活性材料的应用,其临床价值不断提升。

4.1 协同机制

4.1.1 增强封闭效果

激光预处理可熔融牙本质表面,形成微孔或微裂,促进粘接剂更深渗透并形成更致密的封闭

层。研究^[39]表明,Er:YAG激光处理后的牙本质表面具有以下特征:无涂抹层形成,牙本质小管充分开放,这种表面形态有利于粘接剂更有效地渗透并形成致密封闭。CO₂激光在牙本质小管封闭方面表现出色。研究^[31]发现,9.3 μm CO₂激光能够有效封闭牙本质小管,并且在安全温度范围内操作,不会引起牙髓温度的显著升高。

4.1.2 提高粘接强度

激光清洁牙本质表面污染物(如玷污层),改善粘接剂与牙本质的化学结合。研究^[40]发现,使用Er:YAG激光处理牙本质后,结合自酸蚀粘接剂可以形成高密度的特殊混合层,并且增加了树脂突的长度和数量,结合酸蚀-冲洗粘接剂时,粘接强度显著提高。这种增强的粘接强度不仅有助于提高修复体的稳定性,还能有效减少微渗漏的发生。高能量组采用每个脉冲输出能量0.35 J、照射时间30 s、光斑大小400 μm预处理可增加牙本质粘接强度,提高牙本质与修复体的密合性,降低微渗漏,进而有助于提高牙修复效果^[41]。Er,Cr:YSGG激光与粘接系统的结合使用,也被证明能够提高自粘合复合材料的微拉伸粘接强度^[42]。

4.1.3 延长疗效

通过使用激光预处理牙本质,可以改善粘接剂的渗透性和粘接界面的耐久性,增强封闭层的耐磨损性及抗酸性,从而延长治疗效果^[43]。有研究^[44]表明,激光照射特别是与生物活性玻璃结合时,能够形成一层非晶态羟磷灰石层,这层材料模仿了天然牙本质的结构,并对外部刺激提供了持久的屏障,这种方法被发现能有效防止裂纹的形成和胶原纤维的降解,从而延长治疗的效果。

4.2 优势与挑战

激光联合粘接剂在治疗DH方面展现出显著的优势。首先,激光治疗能够迅速缓解患者的过敏症状,提供即时的疼痛缓解效果,例如,Nd:YAG激光与粘接剂联合使用在治疗DH时表现出优异的即刻和延迟脱敏效果^[45];此外,Er,Cr:YSGG激光与其他激光相比,在短期内对DH的减轻效果更为显著^[46]。

然而,激光治疗的挑战在于需要对激光参数进行个体化优化。不同的波长、能量和照射时间对治疗效果有显著影响,例如,Er:YAG激光和Nd:YAG激光的组合治疗在控制牙周炎症和改善临床症状方面表现出优势,但需要根据具体情况调整激光参数以达到最佳效果^[47];同时激光治疗成

本较高,特别是在与粘接剂联合使用时,这可能会增加患者的经济负担;此外在使用激光与粘接剂结合的过程中,可能会出现过敏反应或粘接剂成分的生物相容性问题,这些问题需要在临床应用中进行严格的监控和评估,以确保患者的安全。因此,进行全面的风险评估和患者的教育,成为了确保治疗既安全又有效的关键措施,这一点尤其重要。

4.3 研究的建议与方向

未来的研究应集中在激光联合粘接剂在牙本质过敏治疗中的应用与发展。首先,必须开展大规模的临床试验,以全面验证不同激光参数与粘接剂组合的长期效果与安全性,以确保这种治疗方法的有效性和可靠性^[47]。其次,研究应重点关注激光处理对牙本质微结构的长期影响,这将帮助人们深入评估其对牙齿健康的潜在影响与风险^[10]。此外,探索新型生物材料与激光技术的深度结合,可能会为牙本质过敏的治疗提供全新的解决方案,进一步提升治疗效果和患者的舒适度。最后,建立一个多中心的研究网络,以促进数据的共享与经验的交流,从而有效加速研究成果的转化与应用。这些研究方向的深入推进,将为改善牙本质过敏的治疗效果提供坚实而有力的支持。

5 结论

激光联合粘接剂治疗DH是一种有效且综合的方法,能够结合激光的高效能量作用与粘接剂的密封特性,共同封闭牙本质小管,减轻和缓解DH,但仍需深入探索其具体机制和长期效果。总之,激光联合粘接剂的未来发展前景广阔,但仍需通过系统的研究和临床验证,最终确立其在DH治疗中的重要地位和实际价值。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

6 参考文献

- [1] Li B, Liu C, Fang ZH, et al. Acidic monetite complex paste with bleaching property for in-depth occlusion of dentinal tubules[J]. *Int J Nanomedicine*, 2021, 16: 31-45.
- [2] Peumans M, Politano G, van Meerbeek B. Treatment of noncarious cervical lesions: when, why, and how[J]. *Int J Esthet Dent*, 2020, 15(1): 16-42.

- [3] Rusu Olaru A, Popescu MR, Dragomir LP, et al. Clinical study on abfraction lesions in occlusal dysfunction[J]. *Curr Health Sci J*, 2019, 45(4): 390-397.
- [4] Alkudhairy F. Dentin conditioning using different laser prototypes (Er, Cr: YSGG; Er: YAG) on bond assessment of resin-modified glass ionomer cement [J]. *J Contemp Dent Pract*, 2020, 21(4): 426-430.
- [5] Nahas P, Nammour S, Gerges E, et al. Comparison between shear bond strength of Er: YAG and Er, Cr: YSGG lasers-assisted dentinal adhesion of self-adhering resin composite: an *ex vivo* study[J]. *Dent J*, 2020, 8(3): 66.
- [6] Brannstrom M. The hydrodynamic theory of dentinal pain: sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome[J]. *J Endod*, 1986, 12(10): 453-457.
- [7] Krishnakumar K, Tandale A, Mehta V, et al. Post-operative sensitivity and color change due to in-office bleaching with the prior use of different desensitizing agents: a systematic review[J]. *Cureus*, 2022, 14(4): e24028.
- [8] Grossman LI. Root canal therapy: lectures of a course given at the School of Professional Advanced Training of the Argentine Dental Association[J]. *Rev Asoc Odontol Argent*, 1955, 43(10): 423-434.
- [9] Yu TJ, Wang Y, Cai Q, et al. Efficacy of Ca^{2+} - or PO_4^{3-} -conjugated mesoporous silica nanoparticles on dentinal tubule occlusion: an *in-vitro* assessment[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(5): 173.
- [10] Medhat O, Ghieth M, Elkady M, et al. Dentinal tubule occluding efficacy of Er: YAG laser and universal adhesive loaded with nano-carbonated apatite[J]. *Braz Dent J*, 2024, 35: 5858.
- [11] Carvalho AA, Leite MM, Zago JKM, et al. Influence of different application protocols of universal adhesive system on the clinical behavior of Class I and II restorations of composite resin—a randomized and double-blind controlled clinical trial[J]. *BMC Oral Health*, 2019, 19(1): 252.
- [12] Özcan M, Volpato CAM. Current perspectives on dental adhesion: (3) Adhesion to intraradicular dentin: concepts and applications[J]. *Jpn Dent Sci Rev*, 2020, 56(1): 216-223.
- [13] Aljamhan AS, Alrefeai MH, Alhabdan A, et al. In-

- fluence of ER-CR-YSGG laser and photodynamic therapy on the dentin bond integrity of nano-hydroxyapatite containing resin dentin adhesive: SEM-EDX, micro-Raman, micro-tensile, and FTIR evaluation[J]. *Polymers*, 2021, 13(12): 1903.
- [14] Carvalho EM, Ferreira PVC, Gutiérrez MF, et al. Development and characterization of self-etching adhesives doped with 45S5 and niobophosphate bioactive glasses: physicochemical, mechanical, bioactivity and interface properties[J]. *Dent Mater*, 2021, 37(6): 1030-1045.
- [15] Moradian M, Nosrat Abadi M, Jafarpour D, et al. Effects of bacterial cellulose nanocrystals on the mechanical properties of resin-modified glass ionomer cements[J]. *Eur J Dent*, 2021, 15(2): 197-201.
- [16] Foxton RM. Current perspectives on dental adhesion: (2) Concepts for operatively managing carious lesions extending into dentine using bioactive and adhesive direct restorative materials[J]. *Jpn Dent Sci Rev*, 2020, 56(1): 208-215.
- [17] Kalagi S, Feitosa SA, Münchow EA, et al. Chlorhexidine-modified nanotubes and their effects on the polymerization and bonding performance of a dental adhesive[J]. *Dent Mater*, 2020, 36(5): 687-697.
- [18] Boutsiouki C, Frankenberger R, Lückner S, et al. Inhibition of secondary caries *in vitro* by addition of chlorhexidine to adhesive components[J]. *Dent Mater*, 2019, 35(3): 422-433.
- [19] Han Q, Li BL, Zhou XD, et al. Anti-caries effects of dental adhesives containing quaternary ammonium methacrylates with different chain lengths[J]. *Materials*, 2017, 10(6): 643.
- [20] Zhao Y, He X, Wang H, et al. Polyphenol-enriched extract of lacquer sap used as a dentine primer with benefits of improving collagen cross-linking and antibacterial functions[J]. *ACS Biomater Sci Eng*, 2022, 8(9): 3741-3753.
- [21] Sebold M, Giannini M, André CB, et al. Bonding interface and dentin enzymatic activity of two universal adhesives applied following different etching approaches[J]. *Dent Mater*, 2022, 38(6): 907-923.
- [22] Tsuzuki FM, Logan MG, Lewis SH, et al. Stability of the dentin-bonded interface using self-etching adhesive containing diacrylamide after bacterial challenge[J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2024, 16(35): 46005-46015.
- [23] Szczesio-Włodarczyk A, Sokolowski J, Kleczewska J, et al. Ageing of dental composites based on methacrylate resins-a critical review of the causes and method of assessment[J]. *Polymers*, 2020, 12(4): 882.
- [24] Corral C, Grez PV, Letelier M, et al. Effect of oxalic acid-based desensitizing agent on cervical restorations on hypersensitive teeth: a triple-blind randomized controlled clinical trial[J]. *J Oral Facial Pain Headache*, 2016, 30(4): 330-337.
- [25] Tapia Martinez AC, Vilcapoma Guerra HJ, Torres Ramos G. Effectiveness of immediate dentine sealing and resin coating in reducing dental sensitivity in a child with idiopathic neuropathy and anterior dental attrition: case report[J]. *Spec Care Dentist*, 2023, 43(5): 679-684.
- [26] Rezazadeh F, Dehghanian P, Jafarpour D. Laser effects on the prevention and treatment of dentinal hypersensitivity: a systematic review[J]. *J Lasers Med Sci*, 2019, 10(1): 1-11.
- [27] Dilsiz A, Aydin T, Canakci V, et al. Clinical evaluation of Er: YAG, Nd: YAG, and diode laser therapy for desensitization of teeth with gingival recession [J]. *Photomed Laser Surg*, 2010, 28(Suppl 2): S11-S17.
- [28] Maximiano V, Yoshida ML, Pannuti CM, et al. Effect of 1 064 nm Nd:YAG laser or 15% calcium sodium phosphosilicate prophylactic paste on dentin hypersensitivity over six months: a double-blind randomized clinical trial[J]. *Lasers Med Sci*, 2025, 40(1): 515.
- [29] Kurt S, Kırtıloğlu T, Yılmaz NA, et al. Evaluation of the effects of Er: YAG laser, Nd: YAG laser, and two different desensitizers on dentin permeability: *in vitro* study[J]. *Lasers Med Sci*, 2018, 33(9): 1883-1890.
- [30] Pourshahidi S, Ebrahimi H, Mansourian A, et al. Comparison of Er, Cr: YSGG and diode laser effects on dentin hypersensitivity: a split-mouth randomized clinical trial[J]. *Clin Oral Investig*, 2019, 23(11): 4051-4058.

- [31] Ramareddy V, Kerbage C. An SEM study on the effect of 9.3- μm CO₂ laser on dentinal tubules for hypersensitivity treatment[J]. *Lasers Med Sci*, 2024, 39(1): 200.
- [32] El Nawam H, El Backly R, Zaky A, et al. Low-level laser therapy affects dentinogenesis and angiogenesis of *in vitro* 3D cultures of dentin-pulp complex [J]. *Lasers Med Sci*, 2019, 34(8): 1689-1698.
- [33] Narayanan R, Prabhuji MLV, Paramashivaiah R, et al. Low-level laser therapy in combination with desensitising agent reduces dentin hypersensitivity in fluorotic and non-fluorotic teeth—A randomised, controlled, double-blind clinical trial[J]. *Oral Health Prev Dent*, 2019, 17(6): 547-556.
- [34] Talesara K, Kulloli A, Shetty S, et al. Evaluation of potassium binoxalate gel and Nd: YAG laser in the management of dentinal hypersensitivity: a split-mouth clinical and ESEM study[J]. *Lasers Med Sci*, 2014, 29(1): 61-68.
- [35] Abo-ELSouood AK, Moharrum HS, Zaky AA, et al. Utilizing laser-induced fluorescence to evaluate the efficiency of carbon dioxide and diode lasers in dentin sealing after tooth preparation: an *in-vitro* study [J]. *J Fluoresc*, 2025, 35(6): 4301-4311.
- [36] Maximiano V, Machado AC, Lopes RM, et al. Association of Nd: YAG laser and calcium-phosphate desensitizing pastes on dentin permeability and tubule occlusion[J]. *J Appl Oral Sci*, 2021, 29: e20200736.
- [37] Suliman S, Sulaiman T, Deeb JG, et al. Effect of Er: YAG laser on debonding zirconia and lithium disilicate crowns bonded with 2- and 1-bottle adhesive resin cements[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2024, 36(12): 1687-1692.
- [38] Aghayan S, Fallah S, Chiniforush N. Comparative efficacy of diode, Nd: YAG and Er: YAG lasers accompanied by fluoride in dentinal tubule obstruction [J]. *J Lasers Med Sci*, 2021, 12: e63.
- [39] Kiryk J, Matys J, Grzech-Leśniak K, et al. SEM evaluation of tooth surface after a composite filling removal using Er: YAG laser, drills with and without currettes, and optional EDTA or NaOCl conditioning[J]. *Materials*, 2021, 14(16): 4469.
- [40] Vermelho PM, Freitas PM, Reis AF, et al. Influence of Er: YAG laser irradiation settings on dentin-adhesive interfacial ultramorphology and dentin bond strength[J]. *Microsc Res Tech*, 2022, 85(8): 2943-2952.
- [41] 钟秋, 陈艳莉, 冷建琼, 等. 不同能量激光预处理对牙本质粘接性能及微渗漏的影响[J]. *中国激光医学杂志*, 2023, 32(2): 87-91.
- Zhong Q, Chen YL, Leng JQ, et al. Effects of laser pretreatment with different energies on dentin bonding properties and microleakage[J]. *Chin J Laser Med Surg*, 2023, 32(2): 87-91.
- [42] Kaptan A, Oznurhan F. Effects of Er: YAG and Er, Cr: YSGG laser irradiation and adhesive systems on microtensile bond strength of a self-adhering composite[J]. *Lasers Med Sci*, 2023, 38(1): 41.
- [43] 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.
- [44] Lee EMR, Borges R, Marchi J, et al. Bioactive glass and high-intensity lasers as a promising treatment for dentin hypersensitivity: an *in vitro* study[J]. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 2020, 108(3): 939-947.
- [45] Guo L, Kayastha PK, Chen L, et al. Clinical evaluation of Nd: YAG laser with and without dentin bonding agent for the treatment of occlusal hypersensitivity[J]. *Oper Dent*, 2019, 44(3): 227-234.
- [46] Abu Hasna A, Martinho FC, Sellan PLB, et al. Effect of remineralization pretreatments on human dentin permeability and bond strength[J]. *Int J Dent*, 2023, 2023: 2182651.
- [47] Gong H, Li M. Short-term efficacy of Er: YAG laser and Nd: YAG laser combined therapy on periodontitis[J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2022, 40(8): 580-588.

(本文编辑 张玉楠)