

Er,Cr:YSGG激光技术治疗牙本质过敏症的新进展

孟洋¹ 刘婷² 杜锐³ 崔颀³ 尹传蓉³ 刘燕¹ 宋佳¹

¹青岛大学附属青岛市口腔医院牙体牙髓科,青岛 266001; ²青岛市黄岛区立医院口腔科,青岛 266400; ³青岛大学附属青岛市口腔医院牙周科,青岛 266001

通信作者:宋佳,Email:549987551@qq.com

【摘要】 钕铬共掺钇钪镱石榴石(Er,Cr:YSGG)激光在牙本质过敏症(DH)的治疗中展现出显著优势。该激光通过热效应促使牙本质小管内有有机物变性、无机物熔融,进而有效封闭牙本质小管,快速缓解过敏症状。同时,Er,Cr:YSGG激光治疗过程舒适,患者接受度高。本文将系统综述Er,Cr:YSGG激光治疗DH的优势,并结合组织学研究成果,深入阐述该治疗方式对牙本质小管的封闭机制及其周围组织的形态学影响,旨在为临床实现DH的合理、安全和高效治疗提供理论依据与实践指导。

【关键词】 Er,Cr:YSGG激光; 牙本质过敏症; 热效应; 脱敏治疗

基金项目: 青岛市医疗卫生重点学科建设项目(2025-2027); 青岛市口腔疾病临床医学研究中心项目(22-3-7-lczz-7-nsh); 山东省医药卫生口腔内科学重点学科(青岛大学附属青岛市口腔医院)项目(2025-2027); 青岛市医药卫生科研指导项目(2022-WJZD158); 青岛市自然科学基金(24-4-4-zrjj-151-jch); 青岛市口腔医院院内基金(2023MS05)

引用著录格式: 孟洋,刘婷,杜锐,等. Er,Cr:YSGG激光技术治疗牙本质过敏症的新进展[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2025,19(3):210-216.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.03.009

Recent advances in Er,Cr:YSGG laser technology for the treatment of dentin hypersensitivity

Meng Yang¹, Liu Ting², Du Rui³, Cui Qi³, Yin Chuanrong³, Liu Yan¹, Song Jia¹

¹Department of Endodontics, Qingdao University Affiliated Qingdao Stomatological Hospital, Qingdao 266001, China;

²Dental Department, Huangdao District Hospital, Qingdao 266400, China;

³Department of Periodontics, Qingdao University Affiliated Qingdao Stomatological Hospital, Qingdao 266001, China

Corresponding author: Song Jia, Email: 549987551@qq.com

【Abstract】 The Er,Cr:YSGG laser demonstrates significant advantages in the treatment of dentin hypersensitivity. Through its thermal effect, this laser causes the denaturation of organic substances and the melting of inorganic substances within the dentinal tubules, thereby effectively sealing the

dentinal tubules and rapidly relieving the symptom of hypersensitivity. At the same time, the treatment process is comfortable, and patients have a high degree of acceptance. This article systematically reviewed the advantages of Er,Cr:YSGG laser in the treatment of dentin hypersensitivity. Combined with the research findings in histology, it deeply expounded on the mechanism of dentinal tubule sealing by this treatment method and the morphological impact on the surrounding tissues. The aim was to provide a theoretical basis and practical guidance for the rational, safe, and efficient treatment of dentin hypersensitivity in clinical practice.

【Key words】 Er,Cr:YSGG laser; Dentin sensitivity; Thermal effect; Desensitization therapy

Fund programs: Qingdao Key Health Discipline Development Fund (2025-2027); Qingdao Clinical Research Center for Oral Diseases (22-3-7-lczz-7-nsh); Shandong Provincial Key Medical and Health Discipline of Oral Medicine (Qingdao University Affiliated Qingdao Stomatological Hospital) (2025-2027); Qingdao Medical and Health Research Guidance Project (2022-WJZD158); Natural Science Foundation of Qingdao (24-4-4-zrjj-151-jch); The Hospital Fund Project of Qingdao Stomatological Hospital (2023MS05)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2025.03.009

牙本质过敏症(dentine hypersensitivity, DH)是由于牙本质暴露并在外界特定刺激(如冷、热、机械压力、渗透压或化学物质)作用下诱发的一种独特、短暂且尖锐的疼痛。这种疼痛在刺激去除后消失,且与其他牙齿缺陷或疾病无关。DH是口腔疾病最常见的症状之一,具有一定的年龄相关性。通常,随着年龄的增长,DH的发病率逐渐上升,不仅给患者的生活带来负面影响,还对社会造成较大的经济负担。

DH的神经生理机制尚未完全明确,但目前较为公认的是Brännström^[1]提出的流体动力学理论。该理论认为,当外界刺激作用于暴露的牙本质表面时,牙本质小管内的液体发生流动,刺激髓腔内和牙本质周围的A-δ神经纤维,引起痛感^[1]。这种疼痛与牙本质小管开放的管径大小和数量多少直接相关^[2]。扫描电镜(SEM)证实,DH牙齿中牙本质小管开放数量是正常牙齿的8倍^[3]。因此,部分或完全封闭牙本

质小管对于缓解DH症状至关重要。若能有效封闭牙本质小管,阻隔外界刺激的神经传导通路,就能显著降低疼痛敏感度。目前,常规使用的治疗方法有指导患者使用脱敏牙膏(通常含锶盐、硝酸钾、氟化钠、单氟磷酸钠和氟化胺)^[4],但是一项Meta分析指出含锶脱敏牙膏和对照组牙膏相比,不能有效地减轻DH,需要更多的研究来进一步验证其对缓解DH的效果^[5]。临床工作中也采用脱敏剂局部涂擦来封闭牙本质小管,通过凝结蛋白质沉淀物,或形成不溶性钙复合物来改变小管的性状,从而在短期内缓解疼痛^[6-7]。随着生物活性材料的研发,有学者聚焦于评估含生物活性成分的牙膏在缓解DH的临床效果,其系统检索了多个数据库(如PubMed、Scopus)的随机对照试验(RCT),结论表明生物活性材料(如生物活性玻璃、纳米羟基磷灰石)展现出长期封闭小管的潜力,但需更多临床验证^[8]。因此,探索和选择一种能够有效封闭牙本质小管且保持长期良好效果的治疗方法迫在眉睫。

近年来,随着激光技术在牙科领域的广泛应用,为缓解DH增加了一种新的治疗选择。激光技术治疗具有诸多优势,例如微创、高效、安全和远期效果显著等^[9]。激光技术手段属于非侵入性,早在20世纪80年代就已应用于临床,主要有两种:一种是中等功率激光,通过熔化、再结晶牙本质和汽化管内流体来减少管内流体的运动,临床常用的是二极管、钕铬共掺钇钪石榴石(erbium, chromium: yttrium scandium gallium garnet, Er, Cr: YSGG)激光、掺钕钇铝石榴石(Er: YAG)激光、二氧化碳(CO₂)激光和掺钕钇铝石榴石(Nd: YAG)激光;另一种是低功率激光,通过刺激成牙本质细胞和形成三级牙本质来抑制神经传导或阻塞牙本质小管,从而发挥镇痛作用,如GaAs、He-Ne和GaAlAs激光器^[2]。其中,Er: YAG激光在我国已经有明确的口腔临床应用规范^[10]。

Er, Cr: YSGG激光兼具精准、微创和舒适化的治疗效果,已获得国外学者认可及国内学者关注。它是一种以2.78 μm波长为特征的中红外激光器,与水分子吸收峰(2.7 ~ 3 μm)高度匹配。因激光能量可被组织中的水分子高效吸收并转化为局部热能,实现靶向治疗,故该技术被称为水激光。有研究表明,相比Er: YAG激光(波长2.94 μm),Er, Cr: YSGG激光波长在石英光纤中的传输损耗更低,减少了对周围组织的热损伤风险^[11]。

由上述可见,Er, Cr: YSGG激光治疗DH的优势和机制值得进一步研究探讨。因此,本系统综述旨在确定DH的最新流行病学状况,阐述Er, Cr: YSGG激光治疗DH的优势,并探讨其封闭牙本质小管的作用机制及相关软硬组织影响,根据目前的研究提供Er, Cr: YSGG激光治疗DH的临床应用参数。

一、牙本质过敏症的流行病学与病因分析

1. DH的流行病学:有国外学者调查研究显示,DH在一般人群中的患病率为4% ~ 74%,而牙周病患者的患病率则高达72% ~ 98%^[12]。中华口腔医学会预防口腔医学专业委员会组织专家在2008年开展的我国城市地区成人牙本质过

敏的流行病学调查,结果显示我国城市地区成人患病率为29.7%,其中50 ~ 59岁人群患病率最高,达39.1%。鉴于该疾病高发病率,国内学者针对国人的牙齿发育结构、生活方式及饮食习惯展开调查^[13]。结果显示,仅上海成年人中DH的患病率高达34.1%,男女比例为1:1.5,其中40 ~ 49岁年龄组的患病率最高,达到43.9%,且前磨牙发病率较高(49.6%)。调查结果还显示,84.3%的DH患者均伴随牙龈退缩。这些研究提示,DH是一种以增龄性变化为特征的疾病。随着我国老龄化社会的到来,DH的发病率预计将呈现上升趋势。因此,深度挖掘DH潜在病理机制,提高治疗效率,为患者提供更安全的治疗方式,具有重要的现实意义。

2. DH常见病因分析:DH的发生需要符合两个特定条件。首先,牙本质表面必须暴露,这通常是由牙釉质或牙骨质的丢失或牙龈萎缩引起的;其次,牙本质小管必须开放,使牙本质表面受到刺激后,牙髓区域的神经传导机制得以发挥作用^[14]。牙本质过敏的易感因素较多,常见病因可分为两大类:牙体疾病(如磨耗和磨损)和牙周疾病(如牙龈退缩和牙周治疗)。当牙龈退缩造成牙骨质暴露后,其机械强度与抗磨损能力显著弱于牙釉质覆盖的冠部结构。这种解剖结构的脆弱性使暴露的牙本质小管更易受外界刺激影响,通过流体动力学效应最终引发牙本质敏感症的临床症状^[15]。牙周治疗作为清除病理性刺激物的关键性操作,其核心机制在于通过龈上洁治与龈下刮治等机械性手段,去除附着于牙根表面(牙骨质层)及釉牙本质界区域的牙石沉积物。在此过程中,治疗器械与牙体表面的接触可能造成生理性牙骨质的破坏,致使牙本质小管将直接暴露于口腔环境,继而触发DH的临床症状^[16-17]。

二、Er, Cr: YSGG激光治疗牙本质过敏症的作用机制和优势

根据现有研究,所有脱敏治疗均通过以下一种或两种机制发挥脱敏效果:减少牙本质小管中的液体流动或通过影响离子通道的电活动来降低牙本质神经功能^[18]。传统治疗DH方法,主要通过使用树脂粘接剂^[19]、脱敏剂和脱敏牙膏^[20]等实现牙本质小管的完全或部分机械封闭。然而,这些方法的主要缺点是只能提供短暂且不稳定的脱敏效果,且需要频繁重复治疗,因为酸性饮食或强力刷牙会持续破坏沉淀物和表面涂层。因此,有学者提出DH的治疗措施应遵循从无创、微创到有创的原则,治疗方法应不损伤牙体软硬组织、持续有效、便宜并且便于临床医师操作^[21]。Er, Cr: YSGG激光的波长为2.78 ~ 2.79 μm,与水分子的吸收峰(约2.7 ~ 3 μm)高度匹配,这种对水的吸收效率显著高于其他激光类型优势,保证使用中的安全性和有效性(表1)。有研究表明,Er, Cr: YSGG激光能够将激光、水和气同轴输出,在水中具有很高的吸收率,能够最大限度地减少牙本质和牙髓的热损伤^[22-23]。

Er, Cr: YSGG激光治疗DH的原理是其能量被牙本质表面水分吸收后,通过水动力切割作用激发水分子形成高速动能粒子,清除牙本质表面污染物并促使牙本质熔融。熔融的牙本质在冷却后形成光滑的再结晶层,直接封闭开放的牙本

表1 用于口腔临床治疗的不同类型激光特点比较

激光类型	典型波长(nm)	水吸收效率特点	应用场景
Er, Cr: YSGG	2 780	接近水吸收峰, 传输损耗低, 热损伤小	牙科硬、软组织切割
Er: YAG	2 940	完全匹配水吸收峰, 吸收效率最高	皮肤医学、精准消融
CO ₂	10 600	远红外波段, 水吸收效率较低	工业切割、浅表治疗
Nd: YAG	1 064	水吸收效率极低, 依赖色素靶向	深部组织凝固

注: Er, Cr: YSGG为钕铬共掺钇钪镱石榴石激光; Er: YAG为掺钕钇铝石榴石激光; CO₂为二氧化碳激光; Nd: YAG为掺钕钇铝石榴石激光。

质小管开口, 减少外界刺激向牙髓的传递^[24]。

近年来, 有研究表明激光治疗产生的可控性光热效应可使局部组织温度梯度性升高, 诱导TRPV1通道蛋白发生构象改变: 一方面通过短暂激活引发通道脱敏化, 降低外周神经末梢的兴奋性; 另一方面通过调控钙离子内流影响伤害性信号的传递效率, 从而在分子层面干扰DH的痛觉传导通路^[25]。这种对离子通道的靶向调控作用为激光治疗DH提供了新的机制解释^[26]。因此, 临床上以0.5 W功率输出实施单模态Er, Cr: YSGG激光治疗, 能够通过牙本质小管“数量抑制”到“孔径压缩”的协同作用, 有效阻断流体动力学效应, 缓解DH症状。

Ozlem等^[27]使用yeple探针评估Nd: YAG激光、Er, Cr: YSGG激光、Gluma脱敏剂或两者联合治疗牙本质过敏的效果。结果显示, 两种激光组在治疗后即刻和长期随访(12周)中, 对牙本质过敏的缓解效果显著优于脱敏剂组, 表现为视觉模拟评分(visual analog scales, VAS)显著降低; 单独使用Er, Cr: YSGG激光治疗, 即使在不同的时间间隔(7、90和180 d)也能获得最理想的效果, 该结果为Er, Cr: YSGG激光在治疗DH中的应用奠定了坚实基础。Asnaashari等^[28]通过

系统性综述比较了不同激光治疗DH的有效性, 明确指出在钕激光家族中, Er, Cr: YSGG激光是治疗DH中使用最多的激光, 并且在缓解疼痛方面表现出良好的效果。根据研究[8, 19-21, 27-28], 汇总DH不同治疗方法的特点见表2。

三、Er, Cr: YSGG激光对牙本质的作用

1. 对牙本质小管的作用: Er, Cr: YSGG激光的治疗效能与其对牙本质主要成分(羟基磷灰石)及水分子的选择性吸收特性密切相关。其机制在于相较于其他波长激光, 该激光在相同功率下对羟基磷灰石的吸收效率更高(吸收系数达 $3.0 \mu\text{m}^{-1}$), 同时通过水分子吸收能量产生可控热效应(温度梯度 $< 5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{脉冲}$), 从而精准熔融牙本质表面形成均质封闭层, 实现牙本质小管的高效封闭。

有研究在 0.5 W 、 $167 \text{ J}/\text{cm}^2$ 与 1 W 、 $334 \text{ J}/\text{cm}^2$ 条件下分别处理牙本质表面, 结果显示低功率模式使牙本质表面形成连续光滑的熔融层, 小管开口均匀覆盖, 而高功率模式则会引发结构异化, 如气泡状缺陷(直径 $10 \sim 20 \mu\text{m}$)及“火山口”样堆积物, 粗糙度值($R_a = 1.8 \mu\text{m}$ vs $0.3 \mu\text{m}$)增加6倍^[29], 不仅导致小管封闭失败, 还会造成不可逆性的表面损伤。Okur等^[30]进一步研究发现, 无水条件下 0.5 W 的Er, Cr: YSGG激

表2 牙本质过敏症(DH)不同治疗方法的比较

治疗方法	作用机制	效果持续时间	优点	缺点	是否符合Grossman理想标准
传统脱敏牙膏	含钾盐(硝酸钾)阻断神经传导 含氟化亚锡/生物活性玻璃封闭牙本质小管	短期(数周至数月)	使用便捷 成本低 适合家庭护理	需频繁重复使用 易被酸性饮食或机械刷牙破坏	部分符合(快速、易于应用、不刺激牙髓) 但缺乏长期有效性
树脂粘接剂	机械封闭牙本质小管	中短期(数月至1年)	即刻见效 可结合修复治疗	操作技术要求高 封闭层易受酸性环境破坏 可能需反复治疗	部分符合(快速、不刺激牙髓) 但长期效果不足
Er, Cr: YSGG激光	高水吸收率($2.78 \sim 2.79 \mu\text{m}$) 减少牙本质小管液体流动 亚烧灼模式实现神经调节	长期(≥ 1 年)	持久有效 一次治疗即可安全(对牙髓无刺激) 无染色风险	需专业设备及操作 成本较高	高度符合(快速、长期有效、易于应用、不刺激牙髓、不染色)
联合治疗(Er, Cr: YSGG激光+脱敏剂)	激光封闭小管+脱敏剂抑制神经传导	长期(≥ 1 年)	协同增效 延长疗效	操作复杂 成本叠加	符合标准, 但操作难度增加
生物活性材料(如纳米羟基磷灰石)	化学沉积封闭小管	中期(数月)	生物相容性高 封闭效果稳定	需多次应用 对重度敏感效果有限	部分符合(不刺激牙髓、无痛) 但需频繁治疗

注: Er, Cr: YSGG为钕铬共掺钇钪镱石榴石激光。

光可以溶解小管周围的牙本质,使牙本质小管总体闭合和变窄。然而,就牙本质表面的形态学变化而言,若将功率控制在0.25 W且伴随水冷降温,则可显著降低牙本质表面的短裂纹和粗糙度,从而达到DH治疗的最佳效果。即使Er,Cr:YSGG激光治疗DH造成牙本质表面的形态变化、裂纹和表面不规则发生率较低,也应将功率和冷却作为重要前提条件,再综合考虑其治疗效果。若要量化激光对牙本质小管封闭的效果,通常只能从数量和大小上进行评估。国外学者Gholam等^[31]打破常规对比方法,对不同激光对牙本质小管平均入口直径进行了精准对比。结果显示,Er,Cr:YSGG激光能够将小管直径缩小约50%,并可观察到小管周围牙本质的熔化,从而实现牙本质小管的封闭,减轻DH症状。

2. 对牙本质表面形态影响:有研究表明,Er,Cr:YSGG激光与牙本质小管开放等形态学改变存在相关性,且未观察到热副作用^[32-33]。Er,Cr:YSGG激光可以有效切割硬组织,产生无裂纹的不规则表面及少量的玷污层,有时甚至没有玷污层^[34]。一项研究发现激光热效应对窝洞制备的影响^[35]。可以推断,Er,Cr:YSGG激光能够替代传统车针进行窝洞制备,并在实现精准窝洞制备的同时,维持牙本质固有硬度。

一项纳入57篇激光治疗对牙本质形态影响的系统性综述显示,Er,Cr:YSGG激光对牙本质表面微观结构的调控呈现双向效应:既能开放牙本质小管,又可通过表面消融机制促使小管闭合;组织学观察表明,处理后的牙本质表面呈现不规则的形态,但未见结构性裂纹形成,且无显著化学成分改变;拉曼显微光谱定量分析发现,牙本质胶原蛋白含量相对减少^[36]。

3. 对牙本质表面粗糙程度的影响:查阅以往研究发现,传统治疗DH的化学制剂存在一个弊端,即会导致牙本质表面粗糙度增加^[37]。粗糙度与龋齿形成之间密切相关,激光治疗过程中是否也会出现类似问题引起了学者们的关注。

一项研究选取60颗因牙周病拔除的无龋坏、无修复的上颌前磨牙,并将其平均分为6组,分别采用5种不同类型的激光处理牙根表面,随后对Ra值的算术平均值和测量区域上的平均粗糙度值(Sa)进行测量,结果表明使用Er:YAG激光和Er,Cr:YSGG激光处理后,牙本质表面粗糙度均有所增加;经统计分析发现,这种粗糙度的增加并未达到显著差异水平^[38]。然而,最近的一项体外研究针对Er,Cr:YSGG激光和980 nm半导体激光对龋损侵蚀下牙本质表面粗糙度和体积损失的影响,选取130个牛牙本质样本,分为13个治疗组,分别设定两种激光的功率、频率及能量密度参数进行处理,并通过pH循环模拟龋损环境,结果显示经不同处理及龋损侵蚀的牙本质区域其表面粗糙度与参考区域相比差异无统计学意义($P > 0.05$);而在体积损失方面,Er,Cr:YSGG激光处理组能够有效减少牙本质体积损失,为牙本质抗龋治疗提供了新的理论依据与研究方向^[39]。

四、Er,Cr:YSGG激光对牙釉质及牙髓组织的影响

1. 对牙釉质抗脱矿能力的影响:Er,Cr:YSGG激光技术已成为龋齿预防领域具有显著潜力的创新手段。一项研究表

明,该激光通过改变牙釉质钙-磷酸盐的比例、形成更加稳定化合物,来增强牙釉质抗酸抗脱矿能力^[40]。其主要机制是减少碳酸盐、羟基及有机质的分解,促使碳酸盐晶体形成磷灰石相,从而提高牙釉质对脱矿的抵抗力^[41]。当激光功率分别为0.50和0.75 W时,能显著提升恒牙釉质中钙(Ca)、磷(P)元素的相对含量,增强牙釉质的抗脱矿能力^[42]。

2. 对牙釉质表面形态的影响:在牙釉质表面形态学效应的研究中,一项对照实验^[43]聚焦于对比两种牙釉质表面处理技术(磷酸酸蚀与Er,Cr:YSGG激光照射)对牙釉质微观形貌的影响。使用SEM与原子力显微镜(atomic force microscope, AFM)定量分析牙釉质表面粗糙度、孔隙率及纹理特征。结果显示,激光处理后釉质表面呈现均匀的微米级粗糙化结构,未见碳化、裂纹及熔融等热损伤特征。结构釉柱保持完整且边界清晰,表面较为湿润。证实了激光技术在微观结构层面的安全性。上述形态学证据为其替代传统酸蚀技术提供了有力支撑。

在陶瓷贴面去除的应用研究中,激光诱导的牙釉质物理变化与照射时间、温度控制呈显著剂量-效应关系^[44]。当局部温度达100 °C时,虽观察到水分子脱附、碳酸盐分解及有机基质变性等热化学效应,但釉质的宏观形态与纳米级微观结构(如羟基磷灰石晶体排列)保持完整,未检测到不可逆损伤^[45]。这种热效应的可控性特征,凸显了该技术在精准医疗中的应用优势。

综上所述,Er,Cr:YSGG激光在牙釉质处理中呈现双重科学特征:其一,通过矿物相重构实现抗龋功能强化;其二,在低能量密度模式下实现表面改性而不破坏结构完整性。这种“功能优化-结构保守”的协同效应,为临床龋齿预防、微创酸蚀技术及牙周组织处理提供了全新的技术路径。未来研究可进一步开展多中心、大样本的生物相容性评估及长期疗效观察,以推动该技术在口腔预防医学中的规范化应用。

3. 对牙髓组织的影响:牙髓组织会对外界施加的热量产生反应。有研究已经证实,当牙髓内温度升高5.5 °C时,可导致15%的牙髓坏死;而当温度升高11 °C时,60%的牙髓可能发生坏死^[46]。国内学者也提出,牙髓内温度变化与激光技术(脉冲或连续)、与目标组织之间的距离、激光的波长、工作过程中是否使用空气或水冷却,以及辐照持续时间等因素密切相关^[47]。

针对牙髓组织在Er,Cr:YSGG激光照射后是否存在热损伤,有体外研究发现,当激光设置在0.5 W和167 J/cm²,在水和空气冷却条件下,髓内温度会下降,不存在在牙髓组织中产生不利的热效应^[48]。同期进行的牙髓组织形态学研究显示,苏木精-伊红染色未见成牙髓细胞形态学改变。基于治疗即刻和长期(1个月)脱敏效果的网络分析中,Er,Cr:YSGG激光也显示出特有的优越性,其有效率分别达到73%和47%。即便设置在0.5 W和167 J/cm²,在水和空气冷却条件下,髓内温度会下降 $[-2.275 \pm 0.597] \text{ } ^\circ\text{C}$,对牙髓组织不产生热效应^[49]。因此,在穿透牙本质小管、影响神经末梢的同时,有效杜绝了牙髓潜在的热损伤。

由此可见,临床医师在使用Er,Cr:YSGG激光进行治疗时,辐照设置参数可以参考0.5 W(167 J/cm²),且治疗持续时间尽量控制在30 s以内,因为髓内温度会随着照射时间的延长而逐渐升高。因此,必须配合使用水和空气冷却,以防止髓内温度的显著升高。

此外,激光的脉冲能量选择也至关重要。例如,对于34 mJ/脉冲的Er:YAG激光,68、102 mJ/脉冲的设置均可能会对牙髓和牙周组织造成一定的损伤^[50]。尽管牙本质具有一定的热沉降能力,但牙髓的散热能力明显低于口腔黏膜或皮肤^[51]。由此表明,在相同的激光脉冲设置条件下,牙髓组织相较于口腔黏膜对温度变化更为敏感。因此,在临床激光治疗中,必须依据不同组织的热耐受特性,精准选择合适的激光脉冲参数(包括功率、频率和脉冲持续时间等),以降低牙髓组织因过热而受损的风险,确保治疗的安全性和有效性。

五、Er,Cr:YSGG激光治疗牙本质过敏症的临床操作

有实验表明,Er,Cr:YSGG激光的推荐参数为输出功率3.5 W、20脉冲/s,每个脉冲输出能量约175 mJ,照射10 s,随着输出能力的增高,该激光对牙本质小管的封闭作用也愈明显,当输出能量达4.5 W时,暴露的牙本质小管几乎可以被完全封闭,但此时牙本质表面碳化程度也增加,晶体结构熔融,当激光能量低于3.5 W时,牙本质小管封闭效果较好,且碳化程度也较低,牙本质小管的晶体结构改变较小^[52]。有学者推荐Er,Cr:YSGG激光在DH治疗中的推荐功率为0.5~1.5 W,脉冲能量通常设置为20~50 mJ,频率20~30 Hz,采用非接触模式:治疗时激光头与牙面保持一定距离(通常0.5~1 mm),采用短脉冲(如100~200 μs)实现牙本质小管的封闭效应^[53]。

另外有学者推荐Er,Cr:YSGG激光治疗DH的能量密度需控制在5~10 J/cm²范围内,以避免牙髓过热或牙体组织损伤,搭配水雾冷却系统,降低热积累风险,提高治疗安全性^[54]。

综上所述,推荐Er,Cr:YSGG激光治疗DH的参数为低功率0.5~1.5 W,不超过3.5 W,照射时间10~60 s并配合水雾冷却。另外需根据患者牙本质暴露程度、过敏症状严重性及设备型号动态调整参数,初始治疗建议从低功率(如0.5 W)开始逐步优化。

六、总结

自20世纪80年代中期以来,激光技术被广泛应用于DH的治疗,无论是作为传统治疗方法的补充,还是替代传统方法,均显示出独特的优势,其有效性已在众多临床试验中得到验证^[55]。

本综述在评估Er,Cr:YSGG激光治疗DH效果的同时,也关注了治疗可能带来的负面影响,如牙釉质、牙本质表面形态的变化。值得注意的是,高功率治疗可能会使牙齿表面粗糙化,从而导致细菌聚集,形成菌斑生物膜,进而引发龋齿和牙龈炎^[56]。因此临床上推荐以低功率进行操作,建议参数为0.5~1.5 W,照射时间10~60 s并配合冷水降温。必要时,可在激光治疗结束后进行单独抛光处理,或联合使用化学制剂,如氟化钠、氟化亚锡等,能够将治疗效果提高20%以上^[57]。

总之,面对DH,无论采用何种脱敏方法,临床医师都应进行全面的患者管理,包括口腔卫生指导,避免过度酸性饮食和不正确的刷牙习惯,以及改善由磨损或牙周病引起的不正确咬合模式,以实现标本兼治的远期疗效。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Brännström M. Dentin sensitivity and aspiration of odontoblasts [J]. J Am Dent Assoc, 1963, 66(1): 366-370. DOI: 10.14219/jada.archive.1963.0104.
- [2] Belal MH, Yassin A. A comparative evaluation of CO₂ and erbium-doped yttrium aluminium garnet laser therapy in the management of dentin hypersensitivity and assessment of mineral content [J]. J Periodontal Implant Sci, 2014, 44(5): 227-234. DOI: 10.5051/jpis.2014.44.5.227.
- [3] West NX, Lussi A, Seong J, et al. Dentin hypersensitivity: Pain mechanisms and aetiology of exposed cervical dentin [J]. Clin Oral Investig, 2013, 17(Suppl 1): S9-S19. DOI: 10.1007/s00784-012-0888-9.
- [4] Gopinath NM, John J, Nagappan N, et al. Evaluation of dentifrice containing nano-hydroxyapatite for dentinal hypersensitivity: A randomized controlled trial [J]. J Int Oral Health, 2015, 7(8): 118-122. DOI: 10.4103/0976-7428.169325.
- [5] 曲静, 卢冰铃, 刘瑜瑜, 等. 含锶脱敏牙膏对牙本质过敏症脱敏作用的Meta分析 [J]. 深圳中西医结合杂志, 2024, 34(1): 10-14+封3. DOI: 10.16458/j.cnki.1007-0893.2024.01.003.
- [6] Mahdian M, Behboodi S, Ogata Y, et al. Laser therapy for dentinal hypersensitivity [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2021, 7(7): CD009434. DOI: 10.1002/14651858.CD009434.pub2.
- [7] 中华口腔医学会口腔预防医学专业委员会牙本质敏感专家组. 牙本质敏感的诊断和防治指南(2019修订版) [J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(4): 223-227. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2019.04.002.
- [8] Freitas SAA, Oliveira NMA, Geus JL, et al. Bioactive toothpastes in dentin hypersensitivity treatment: A systematic review [J]. Saudi Dent J, 2021, 33(7): 395-403. DOI: 10.1016/j.sdentj.2021.04.004.
- [9] Porto IC, Andrade AK, Montes MA. Diagnosis and treatment of dentinal hypersensitivity [J]. J Oral Sci, 2009, 51(3): 323-332. DOI: 10.2334/josnusd.51.3_323.
- [10] 中国老年学和老年医学学会口腔保健分会. 无光纤传输技术Er:YAG激光口腔临床应用规范 [J]. 中华口腔医学杂志, 2024, 59(6): 531-545. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20240414-00148.
- [11] Habshi AY, Aga N, Habshi KY, et al. Efficacy of smear layer removal at the apical one-third of the root using different protocols of erbium-doped yttrium aluminium garnet (Er:YAG) laser [J]. Medicina (Kaunas), 2023, 59(3): 433. DOI: 10.3390/medicina59030433.
- [12] Gillam DG. A new perspective on dentine hypersensitivity - guidelines for general dental practice [J]. Dent Update, 2017, 44

- (1):33-36,39-42. DOI:10.12968/denu.2017.44.1.33.
- [13] Ye W, Feng XP, Li R. The prevalence of dentine hypersensitivity in Chinese adults [J]. *J Oral Rehabil*, 2011, 38(9): 1821-1827. DOI:10.1111/j.1365-2842.2011.02248.x.
- [14] Gernhardt CR. How valid and applicable are current diagnostic criteria and assessment methods for dentin hypersensitivity? An overview [J]. *Clin Oral Investig*, 2013, 17(S1): S31-S40. DOI: 10.1007/s00784-012-0891-1.
- [15] Paiva GR, Dibb RGP, Faraoni JJ, et al. Influence of Er, Cr: YSGG laser on root dentin submitted to erosive and/or abrasive challenges [J]. *Braz Oral Res*, 2021, 35:e29. DOI:10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0029.
- [16] 陈双双,唐晓琳. 舒适化牙周基础治疗的研究进展[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2020, 14(1): 59-62. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2020.01.012
- [17] García Olazabal MV, Moya LEP, Cirisola RWC, et al. Effect of photobiomodulation on dentin hypersensitivity: A randomized controlled double-blind clinical trial [J]. *Clin Oral Investig*, 2025, 29(1): 84. DOI: 10.1007/s00784-025-06149-z.
- [18] Sommerman M. Desensitizing agents [M]//Ciancio S, ed. ADA guide to dental therapeutics. Chicago: American Dental Association, 1998:226-235. DOI:10.1017/CBO9780511545496.023.
- [19] Gandolfi MG, Silvia F, H PD, et al. Calcium silicate coating derived from Portland cement as treatment for hypersensitive dentine [J]. *J Dent*, 2008, 36(7): 565-578. DOI: 10.1016/j.jdent.2008.03.012.
- [20] Orchardson R, Gillam DG. Managing dental hypersensitivity [J]. *J Am Dent Assoc*, 2006, 137(7): 990-998. DOI: 10.14219/jada.archive.2006.0321.
- [21] Liu XX, Tenenbaum HC, Wilder RS, et al. Pathogenesis, diagnosis and management of dentin hypersensitivity: An evidence-based overview for dental practitioners [J]. *BMC Oral Health*, 2020, 20(1): 220. DOI: 10.1186/s12903-020-01199-z.
- [22] Parker S, Cronshaw M, Anagnostaki E, et al. Current concepts of laser-oral tissue interaction [J]. *Dent J (Basel)*, 2020, 8(3): 61. DOI:10.3390/dj8030061.
- [23] 林琪. Er, Cr: YSGG 激光消融对牙本质结构及成分影响的研究 [D]. 福州: 福建医科大学, 2010. DOI:10.7666/d.y1711390.
- [24] 秦子玥,陈武. 激光在牙周疾病诊疗中的应用 [J]. *中国实用口腔科杂志*, 2020, 13(12): 709-714. DOI: 10.19538/j.kq.2020.12.002.
- [25] Alhabdan H, AlAhmari F. Phototherapy using Er, Cr: YSGG laser as a definitive treatment for dentin hypersensitivity: A systematic review [J]. *Int J Gen Med*, 2022, 15:4871-4880. DOI: 10.2147/IJGM.S355890.
- [26] Behniafar B, Noori F, Chiniforush N, et al. The effect of lasers in occlusion of dentinal tubules and reducing dentinal hypersensitivity, a scoping review [J]. *BMC Oral Health*, 2024, 24(1): 1407. DOI: 10.1186/s12903-024-05182-w.
- [27] Ozlem K, Esad GM, Ayse A, et al. Efficiency of lasers and a desensitizer agent on dentin hypersensitivity treatment: A clinical study [J]. *Niger J Clin Pract*, 2018, 21(2): 225-230. DOI:10.4103/njcp.njcp_411_16.
- [28] Asnaashari M, Moeini M. Effectiveness of lasers in the treatment of dentin hypersensitivity [J]. *J Lasers Med Sci*, 2013, 4(1): 1-7.
- [29] Diaci J, Gaspirc B. REVIEW Comparison of Er: YAG and Er, Cr: YSGG lasers used in dentistry [J]. *J Laser Health Academy*, 2012, 1(1): 1-13.
- [30] Okur E, Eyüboğlu GB. Evaluation of dentin tubule plugging efficiencies and effects on dentin surface roughness of dentin desensitizing agents, the Er, Cr: YSGG laser, and their combination after erosion-abrasion cycles: An *in vitro* study [J]. *Oper Dent*, 2022, 47(1): E35-E51. DOI:10.2341/21-086-L.
- [31] Gholami GA, Fekrazad R, Esmail-Nejad A, et al. An evaluation of the occluding effects of Er, Cr: YSGG, Nd: YAG, CO₂ and diode lasers on dentinal tubules: A scanning electron microscope *in vitro* study [J]. *Photomed Laser Surg*, 2011, 29(2): 115-121. DOI:10.1089/pho.2009.2628.
- [32] Uslu YS, Donmez N, Gungor AS. Occluding efficiency of different desensitizing agents and Er, Cr: YSGG laser on dentin tubules [J]. *Oper Dent*, 2024, 49(2): 166-177. DOI: 10.2341/23-032-L.
- [33] Keskin G, Çiloğlu M. Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy and Er, Cr: YSGG laser-activated irrigation on dentinal tubule penetration of MTA-based root canal sealer: A confocal microscopy study [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2021, 36: 102584. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2021.102584.
- [34] Deeb JG, Grzech-Lesniak K, Weaver C, et al. Retrieval of glass fiber post using Er: YAG laser and conventional endodontic ultrasonic method: An *in vitro* study [J]. *J Prosthodont*, 2019, 28(1): 1024-1028. DOI: 10.1111/jopr.13114.
- [35] Merigo E, Bufflier P, Rocca JP, et al. Bactericidal effect of Er, Cr: YSGG laser irradiation on endodontic biofilm: An *ex vivo* study [J]. *J Photochem Photobiol B*, 2021, 218: 112185. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2021.112185.
- [36] Ramirez I, Bertolini GR, Candemil AP, et al. Chemical and morphological analysis of dentin irradiated by different high-power lasers: A systematic review [J]. *Lasers Med Sci*, 2023, 38(1): 255. DOI: 10.1007/s10103-023-03912-0.
- [37] Cury MS, Silva CB, Nogueira RD, et al. Surface roughness and bacterial adhesion on root dentin treated with diode laser and conventional desensitizing agents [J]. *Lasers Med Sci*, 2018, 33(2): 257-262. DOI: 10.1007/s10103-017-2356-x.
- [38] Parlar Oz O, Karagozlu İ, Kocer I, et al. The effect of laser therapy for the treatment of dentin hypersensitivity on surface roughness and bacterial adhesion [J]. *Lasers Med Sci*, 2024, 39(1): 212. DOI: 10.1007/s10103-024-04166-0.
- [39] Guarato FRBA, Santi MR, Madalena IR, et al. Er, Cr: YSGG and 980 nm diode lasers influence dentin surface volume after cariogenic challenge: *In vitro* study [J]. *Braz Oral Res*, 2024, 38: e045. DOI: 10.1590/1807-3107bor-2024.vol38.0045.
- [40] Sadr Haghighi H, Skandarinejad M, Abdollahi AA. Laser

- application in prevention of demineralization in orthodontic treatment[J]. *J Lasers Med Sci*, 2013, 4(3):107-110.
- [41] Feng Z, Yuan R, Cheng L, et al. Effect of Er: YAG laser irradiation on preventing enamel caries: A systematic review and Meta-analysis[J]. *Int Dent J*, 2024, 74(4): 679-687. DOI: 10.1016/j.identj.2024.01.022.
- [42] Ulusoy NB, Akbay Oba A, Cehreli ZC. Effect of Er, Cr: YSGG laser on the prevention of primary and permanent teeth enamel demineralization: SEM and EDS evaluation[J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2020, 38(5): 308-315. DOI: 10.1089/photob.2019.4772.
- [43] Salman SQ, Hussein BMA. Topographical analysis of human enamel after phosphoric acid etching and Er, Cr: YSGG laser irradiation[J]. *J Lasers Med Sci*, 2023, 14:e68. DOI: 10.34172/jlms.2023.68.
- [44] Liu Y, Hsu CY, Teo CM, et al. Potential mechanism for the laser-fluoride effect on enamel demineralization[J]. *J Dent Res*, 2013, 92(1):71-75. DOI:10.1177/0022034512466412.
- [45] Zanini NA, Rabelo TF, Zamataro CB, et al. Morphological, optical, and elemental analysis of dental enamel after debonding laminate veneer with Er, Cr: YSGG laser: A pilot study[J]. *Microsc Res Tech*, 2020, 83(1): 489-498. DOI: 10.1002/jemt.23605.
- [46] Alfredo E, Marchesan MA, Sousa-Neto MD, et al. Temperature variation at the external root surface during 980-nm diode laser irradiation in the root canal[J]. *J Dent*, 2008, 36(7): 529-534. DOI:10.1016/j.jdent.2008.03.009.
- [47] Zhuang H, Liang Y, Xiang S, et al. Dentinal tubule occlusion using Er: YAG laser: An *in vitro* study[J]. *J Appl Oral Sci*, 2021, 29:e20200455. DOI:10.1590/1678-7757-2020-0266.
- [48] Kimura Y, Yonaga K, Yokoyama K, et al. Histopathological changes in dental pulp irradiated by Er: YAG laser: A preliminary report on laser pulpotomy[J]. *J Clin Laser Med Surg*, 2003, 21(6):345-350. DOI:10.1089/104454703322650149.
- [49] Kong Y, Lei Y, Li S, et al. Network Meta - analysis of the desensitizing effects of lasers in patients with dentine hypersensitivity[J]. *Clin Oral Investig*, 2019, 23(12): 3975 - 3984. DOI:10.1007/s00784-019-03051-3.
- [50] Afkhami F, Rostami G, Xu C, et al. The application of lasers in vital pulp therapy: A review of histological effects[J]. *Lasers Med Sci*, 2023, 38(1):215. DOI:10.1007/s10103-023-03854-7.
- [51] Xiong Z, Liu L, Hou Y, et al. Effects of nanosecond and microsecond pulse Er, Cr: YSGG laser on the morphology and pulp temperature of dentin in dental restoration debonding[J]. *Lasers Med Sci*, 2024, 40(1): 15. DOI: 10.1007/s10103-024-04279-6.
- [52] 熊开新, 邹玲. 牙本质敏感症激光治疗的研究进展[J]. *口腔疾病防治*, 2019, 27(7): 472-476. DOI: 10.12016/j.issn.2096-1456.2019.07.012.
- [53] Sun G, Chen X, Wei F, et al. Effects of Er: YAG, Er, Cr: YSGG, and Nd: YAG laser irradiation and adhesive systems on the immediate and long-term bond strength of dentin: A systematic review and Meta-analysis[J]. *Lasers Med Sci*, 2023, 38(4): 123-130. DOI:10.1007/s10103-022-03699-6.
- [54] Martins MR, Franzen R, Depraet F, et al. Rationale for using a double-wavelength (940 nm + 2780 nm) laser in endodontics: Literature overview and proof-of-concept[J]. *Lasers Dent Sci*, 2017, 1(1):17. DOI:10.1007/s41547-017-0017-9.
- [55] Forouzande M, Rezaei-Soufi L, Yarmohammadi E, et al. Effect of sodium fluoride varnish, Gluma, and Er, Cr: YSGG laser in dentin hypersensitivity treatment: A 6-month clinical trial[J]. *Lasers Med Sci*, 2022, 37(7): 2989-2997. DOI:10.1007/S10103-022-03583-3.
- [56] 韩光政, 熊正慧, 陈亚明. Er, Cr: YSGG激光对牙本质界面粘结强度及形态结构的影响[J]. *口腔医学*, 2018, 38(10): 894-897. DOI:10.13591/j.cnki.kqyx.2018.10.008.
- [57] Keshaw K, Raikar A, Sp P, et al. Evaluation and comparison for the efficacy of 810 nm diode laser, nano carbonate apatite and their combination over dentinal tubules occlusion: An *in vitro* scanning electron microscopic study[J]. *Cureus*, 2024, 16(3): e55718. DOI:10.7759/cureus.55718.

(收稿日期:2025-03-11)

(本文编辑:王嫚)