

半导体激光在牙周病领域的应用进展

周明莉 高琪 王芳

河北医科大学第二医院口腔科, 石家庄 050000

通信作者: 高琪, Email: gaoqi0715@126.com

【摘要】 牙周炎是指破坏牙龈、牙周膜、牙骨质和牙槽骨等牙周附着组织的常见慢性感染性疾病,是成年人牙齿丧失的主要原因之一,严重影响患者身心健康。传统的龈下刮治和根面平整(SRP)是临床应用较多且有效的治疗方法,但同时也具有局限性,随着现代诊疗技术和激光水平的发展,半导体激光开始应用于牙周炎的治疗,在牙周非手术治疗和手术治疗方面具有突出的表现,本文将对半导体激光在牙周炎治疗方面的研究现状作一综述。

【关键词】 半导体激光; 牙周炎; 牙周指标; 微生物; 炎症因子; 牙周手术

引用著录格式:周明莉,高琪,王芳. 半导体激光在牙周病领域的应用进展[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2022,16(2):130-136.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2022.02.011

Research progress of semiconductor laser in periodontal disease

Zhou Mingli, Gao Qi, Wang Fang

Department of Stomatology, The Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050000, China

Corresponding author: Gao Qi, Email: gaoqi0715@126.com

【Abstract】 Periodontitis is a common chronic infectious disease that damages gingiva, periodontal ligament, cementum, alveolar bone and other periodontal attachment tissues. It is one of the main causes of tooth loss for adults, which seriously affects patients' physical and mental health. It is believed that traditional scaling and root planning (SRP) are widely applied in periodontal treatment with limitations. With the development of new technologies assisted in modern diagnosis and treatment, Semiconductor Laser has been proved to be very efficient in non-surgical and surgical periodontal treatment. This paper reviews the research results concerning semiconductor laser in periodontitis treatment in recent years.

【Key words】 Semiconductor laser; Periodontitis; Periodontal index; Microorganism; Inflammatory factors; Periodontal surgery

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2022.02.011

牙周炎(periodontitis)是牙菌斑微生物侵犯牙周软、硬组

织而导致的慢性感染性疾病,表现为牙周袋形成、附着丧失和牙槽骨吸收,继而牙齿松动、脱落,是成年人牙齿丧失的主要原因。2017第四次全国口腔健康流行病学调查发现,35~44岁居民中,口腔内牙菌斑牙石检出率为96.7%,牙龈出血检出率为87.4%,牙周炎被认为是造成全球慢性病的一个主要公共卫生问题,在世界范围内都具有较高的患病率^[1]。牙周炎治疗的主要目的是去除龈上、龈下菌斑和牙石,以清除附着在软硬组织上的致病菌。牙周炎的治疗方法多样,大致分为非手术治疗和手术治疗,非手术治疗是牙周治疗的基础,传统的龈下刮治和根面平整(scaling and root planning, SRP)是临床应用较多且有效的治疗方法^[2],但其技术敏感性高,可能会对根面产生过度治疗,部分患者术后会出现牙齿敏感和疼痛等症状。其次,深牙周袋、感染的牙骨质、深沟槽、粗糙的根面、根分叉凹处和磨牙远中端等特殊部位的菌斑、牙石以及感染组织难以通过机械方法清除^[3]。因此,许多的研究者开始尝试将各种新技术作为SRP的辅助方案。

激光问世于20世纪60年代,随着激光技术的不断发展,各类激光开始应用于口腔领域。激光在口腔疾病治疗中的应用特别是在牙周病治疗方面的研究和应用逐渐成为研究热点之一。常用于牙周领域的激光主要有半导体激光、钕:钇-铝石榴石激光(neodymium: yttrium aluminum garnet, Nd: YAG)、铒:钇铝石榴石激光(erbium: yttrium aluminum garnet, Er: YAG)、二氧化碳激光、水激光等。二极管激光器是一种利用固态元素,如镓、砷化物、铝和镉来将电能转化为光能的半导体,又称弱激光、半导体激光。半导体家族中使用最广泛的激光器是镓铝砷化(gallium aluminum arsenic, GaAlAs)激光器(810 nm)和镉镓砷化(indium gallium arsenide, InGaAs)激光器(980 nm),波长范围约为500~1000 nm,以连续波和脉冲模式发射,通常使用柔性光纤传输系统以接触方式进行操作^[4]。半导体激光的光源类型、波长、功率、模式、照射频次、照射时间等相关参数的设定与临床效果密切相关^[5]。较短波长的激光(如810~980 nm的半导体激光和1064 nm的Nd: YAG)可穿透更深的软组织。较短波长对组织的渗透程度与其对色素组织的亲和力和较低的吸收水分系数有关。选择适当参数,如功率水平、脉冲重复频率、脉冲宽度和能量密度,可有效控制因组织穿透而导致的损伤;而较长的波长(如2940 nm Er: YAG、2780 nm 镉:钇钪镓石榴石激光 erbium, chromium: yttrium scandium gallium garnet, Er, Cr: YSGG)由于其在水中的吸收系数较

高,组织渗透相对较浅,故功率建议选择达到预期临床结果所需的最小功率^[6]。有研究显示,半导体激光具有精准切割、纤头灵活、杀菌消毒、损伤小、疼痛轻、可刺激软硬组织再生且安全性能高等传统治疗手段无法比拟的优点,能够较好地弥补传统牙周基础治疗中的不足^[7-8]。本文将对半导体激光在牙周病治疗方面的研究现状作一综述。

一、半导体激光辅助牙周治疗的机制

当牙周组织被半导体激光照射时,可发生反射、散射、吸收和透射,随着吸收能量的增加,反射、散射和透射的能量将会减少。通过设置不同的参数,吸收的能量可以有多种用途,例如转化的热量可以进行局部加热、凝固、切除和切开、组织气化。影响能量吸收的可变参数包括发射波长、功率(W)、波形(连续或脉冲)、脉冲持续时间、能量/脉冲、能量密度、暴露时间、脉冲峰值功率、能量传输尖端到目标表面的角度,以及组织的光学特性等,发生相互作用的类型很大程度上取决于激光的波长^[6]。Gutiérrez-Corrales等^[9]在体外实验中评估不同波长(445、532、810、980、1064和1470 nm)和功率(0.5~2.0 W)的连续波模式半导体激光对猪牙周袋和口腔黏膜切口的热损伤、组织坏死和周围软组织受影响的程度,结果显示1470 nm和810 nm激光组之间存在明显的差异,1470 nm激光的牙周袋表面存在热损伤和坏死;在口腔黏膜表面,1064 nm激光热损伤和坏死较明显。根据应用功率,所有变量(组织损失面积、热损伤面积和坏死面积)在使用2.0 W和0.5 W时显示出更高的值;表明810 nm半导体激光用于口腔软组织,功率范围为0.5~2 W,是避免目标组织周围边缘热损伤的最佳选择,因此使用半导体激光之前应明确其特性及调整波长等相关参数。

牙周组织的光学特性对半导体激光的能效也具有一定影响,其光学特性包括色素、含水量、矿物质含量、热容(包括热导率和组织密度)和转化潜热(即蛋白质变性、水的蒸发和矿物的熔化)等因素^[10]。不同波长的激光与不同的光学特性组织相互作用可以产生热效应、光化学效应、机械效应、生物刺激或生物促进等效应。研究显示,波长800~980 nm的半导体激光在水中的吸收效果较差,但在血红蛋白和其他色素中吸收良好,也不与牙齿等硬组织相互作用,所以被称为优秀的软组织激光器^[11]。半导体激光使牙周袋内局部产生高温,从而使感染菌气化或破坏感染菌的细胞壁,减少袋内致病菌、细胞因子、激肽及基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinase, MMP)的数量,进而达到治疗牙周炎的作用^[12]。半导体激光的热效应可使牙周袋局部组织准确凝固、气化致病菌,彻底清除隐匿处的病灶,提高抗凝血酶活性,封闭毛细血管,减少术区出血,保持术野清晰^[13]。另外,半导体激光照射于牙周组织,产生的是一种生物物理学刺激,具有较强的生物调节效应,可增强局部血液循环,刺激血管的形成;诱导牙周细胞的生成,刺激牙周组织再生,促进软组织和骨组织的愈合;消除炎症,且提高机体免疫功能,减轻疼痛;增加组织渗透性,减少组织水肿的发生,促进诸多生长因子的分泌,诱导牙周组织的成骨作用,并促进牙周组织对牙根面的贴附,帮助患

牙恢复更多的临床附着水平^[14]。

有研究提出,抗菌光动力学疗法(antimicrobial photodynamic therapy, aPDT)可以应用于牙周炎治疗,使用低波长半导体激光器(635~690 nm)和光敏剂(有机染料或类似的化合物,如甲苯胺蓝、亚甲基蓝、吡啶菁绿等)结合,光敏剂能够吸收特定波长的光,与目标靶细胞结合,释放出半径为0.20 μm、具有细胞毒性作用的活性氧(reactive oxygen species, ROS),从而发挥抗菌作用,ROS的作用仅限于光敏剂积累的区域,不伤及其他组织^[15]。除杀菌作用外,还有生物刺激作用,具有促进牙周软硬组织的再生以及促进牙周组织的愈合等优点,一些研究已经证明了光动力学疗法的高效杀菌效果,aPDT被认为是辅助消除牙周炎非手术治疗残余细菌感染的新方法^[16]。

二、半导体激光在牙周病非手术治疗方面的应用

1. 半导体激光对牙周指标的作用:牙周炎的严重程度和治疗效果通常是用牙周指标的变化进行评价,常用的牙周指标有:探诊深度(probing depth, PD)、探诊出血指数(probing bleeding index, PBI)、龈沟出血指数(sulcus bleeding index, SBI)、临床附着水平(clinical attachment level, CAL)和菌斑指数(plaque index, PLI)等。PD并不能作为判断患者是否伴有牙槽骨吸收和牙龈萎缩的标准,CAL是确定是否有牙槽骨吸收和牙龈萎缩的最佳临床指标,是评估慢性牙周炎治疗是否成功的金标准^[2],Matarese等^[17]的一项临床研究报告,与单纯的SRP相比,半导体激光+SRP术后1年的PD和CAL显著改善。Goh等^[18]测量27例牙周病患者术后3个月和6个月的PD和CAL,并比较了实验组(半导体激光+SRP)和对照组(SRP)之间的差异,结果显示实验组CAL和PD改善更明显,但6个月后两组之间没有显著差异。李淑华等^[19]采用随机对照研究以半导体激光治疗148例老年慢性牙周炎探讨其有效性及对PD、CAL、SBI水平的改善作用,结果显示:研究组(半导体激光+SRP)的PD、SBI指标较对照组(SRP)均有所改善,研究组的超敏C反应蛋白(hypersensitive C-reactive protein, hs-CRP)、肿瘤坏死因子α(tumor necrosis factor-α, TNF-α)、白细胞介素(IL)-6及IL-8水平均低于对照组,差异具有统计学意义,表明半导体激光对老年慢性牙周炎的治疗效果十分显著。申林等^[20]也对100例慢性牙周炎患者进行半导体激光辅助治疗,分析牙周指标,结果显示,半导体激光辅助治疗,可明显改善出血指数(bleeding index, BI)、PD、CAL及PLI等水平,缓解患者疼痛,改善慢性牙周炎的炎症反应,获得更理想的治疗效果。然而,Cobb等^[21]2016年的一项系统综述研究得出结论:关于使用激光作为SRP的单一疗法或辅助治疗来治疗牙周炎,有许多说法夸大事实,几乎没有证据证明使用半导体激光或Nd:YAG激光作为单一治疗或辅助治疗比单纯SRP或常规牙周手术治疗更能增加临床价值。而且,激光治疗确实增加了患者的成本。此外,如果激光使用不当,可能会出现涉及组织损伤的不良后果。

2. 半导体激光对微生物的作用:牙周病是由局部定植于口腔生物膜的致病菌(特别是革兰阴性厌氧菌)引起的炎症

反应,导致牙龈、牙周膜、牙槽骨等牙周支持组织进行性破坏。因此,牙周治疗的第一阶段主要是控制牙菌斑、消除或减少细菌感染,目前SRP被认为是治疗慢性牙周炎的金标准^[22],但仍存在一定的局限性。致病菌能够渗透并进入牙龈上皮细胞、牙骨质和根面牙本质,从而逃避宿主的免疫反应和常规的机械及抗菌治疗,造成支持组织的进行性破坏、疾病的复发和细菌的全身传播^[23]。因此,临床医生致力于寻找有效的辅助方法,以去除传统治疗无法去除的致病菌,减少复发,促进牙周组织的恢复,提高治疗效果。半导体激光的波长可被红色复合菌(牙龈卟啉单胞菌、福赛斯坦纳菌和齿垢密螺旋体)内含的原血红素和原卟啉IX色素吸收,导致致病菌内水的蒸发、细胞壁的裂解,最终使细菌死亡,在充满深色炎症组织和含色素细菌的牙周袋中效果更佳^[24]。Matarese等^[17]采用自身对照临床研究来比较半导体激光辅助SRP与SRP单独治疗31例广泛型侵袭性牙周炎(generalized aggressive periodontitis, GAgP)患者的CAL、龈下生物膜样本和龈沟液炎症介质。结果显示:治疗后1年,与单独SRP相比,SRP+半导体激光在PD减少和CAL增加有显著改善,橙色复合菌组的细菌在30和60天时显著减少,在第15天和第30天,IL-1 β 和IL-1 β /IL-10比率的平均龈沟液水平降低。另外,Moritz等^[25]利用半导体激光辅助SRP进行的抗菌研究发现,半导体激光能量可以渗透到结缔组织下1~2 mm的深度,这有助于消除含色素的细菌,特别是牙龈卟啉单胞菌。然而,Slots等^[26]进行的一项微生物学研究表明,半导体激光辅助传统方法治疗与单纯应用传统方法相比牙周袋内细菌数量未见明显改变。Meseli等^[27]的临床研究也得出了应用半导体激光辅助SRP,并没有显示出较好的减轻牙周袋的效果的结论。出现争议的原因,可能是半导体激光治疗的影响因素较多,任何一种因素的改变都可能影响最后的结果,例如缺乏关于照射参数的标准化报告和剂量学规范,治疗所用的功率、光束面积、时间和接触模式不同等,个别研究样本量小,缺乏特定的激光辅助SRP治疗方案,因此需要更多大样本量、随机、盲法、对照、纵向研究来明确半导体激光对慢性牙周炎的治疗效果。

3. 半导体对龈沟液中炎症反应因子的作用:牙龈沟液是一种组织渗出物,含有一些蛋白质和血液产物^[28],牙周袋上皮组织持续的炎症以及机体的持续炎症反应都会使牙周袋逐渐加深,牙槽骨吸收,最终导致牙齿脱落。牙周组织对牙周病原菌侵袭的最初反应是释放一些介质,如细胞因子、激肽和MMP,细胞因子在炎症反应以及启动、调节免疫反应的过程中发挥着重要作用^[29]。促炎细胞因子,如IL-1 β 、IL-6、IL-8、IL-37是关键炎症介质,在刺激与炎症相关的基因表达方面起着至关重要的作用,这些细胞因子在牙周炎感染部位的浓度与牙周病的严重程度相关^[30]。Offenbacher等^[31]采用全基因组关联分析(genome-wide association study, GWAS)的实验方法发现,IL-37变异不仅与高炎症反应有关,而且与重度牙周病的临床表现有关。IL-37对许多自然免疫反应介质有广泛的抑制作用,包括IL-1 β 。还有研究者提出在半导

体激光治疗后,龈沟液中IL-1 β 、IL-37水平显著降低。另外,MMP-1/金属蛋白酶组织抑制因子-1(tissue inhibitor of metalloproteinase-1, TIMP-1)的浓度被认为与牙龈炎症程度相关^[32]。Saglam等^[33]在2014年的研究中使用940 nm半导体激光联合SPR与单独用SPR对比,IL-1 β 、IL-6、MMP-1、MMP-8和MMP抑制剂水平降低,IL-8水平升高。另外,有研究者认为MMP-1/TIMP-1的减小是牙周治疗后牙龈状态趋近健康的标志^[34]。有学者发现,用半导体激光治疗牙周炎后,龈沟液量无明显变化,但细胞因子和急性期蛋白水平显著降低^[35]。对于龈沟液内的成骨相关指标的研究发现,半导体激光可促进成牙骨质细胞成骨相关基因*Runx2*(Runt-related transcription factor 2)、*BMP-2*(bone morphogenetic protein 2)的表达^[36]。另外,Pai等^[37]研究显示,龈沟液中的硬化蛋白可以作为监测牙周非手术治疗效果的有效生物标志物,半导体激光对成骨细胞增殖的影响也是通过降低龈沟液中硬化蛋白的水平来实现的。然而,也有学者发现牙周炎患者经半导体激光照射后龈沟液中的MMP-1/TIMP-1与单独SRP治疗的患者相比虽有所降低,但两组间并无明显差异^[38]。Goh等^[18]检测了27例患者半导体激光治疗3和6个月后龈沟液中IL-1 β 、IL-6、IL-8、TNF- α 和MMP-8水平,没有观察到细胞因子水平的显著差异。目前,半导体激光对龈沟液及炎症因子的影响主要通过临床试验中因子水平的改变来表示,具体的作用机制仍不清楚,还需要更多的研究来进行探讨。

三、半导体激光在牙周手术方面的作用

牙周治疗的主要目的是去除菌斑、牙石、感染组织,彻底清除感染灶,消除炎症,促进牙周组织恢复。轻、中度牙周炎可优先进行非手术治疗,若非手术治疗效果不佳或治疗失败,则可以考虑进行牙周手术。传统牙周手术中常规使用手术刀等器械来完成,易造成手术创口较大、出血量多、术野不清晰、手术时间长等问题,影响临床疗效及患者的就医体验^[39]。与传统手术刀相比,半导体激光具有术中凝血、视野清晰、消毒杀菌、术后无需缝合、瘢痕小、疼痛轻,以及术后组织水肿轻等优势^[40]。半导体激光可用于牙周翻瓣术、牙龈切除术、牙龈成形术、牙龈瘤切除等牙周软组织手术。Karthikeyan等^[41]设计自身对照实验对20例牙周基础治疗后探诊深度 ≥ 5 mm的慢性牙周炎患者进行研究,对比单纯传统牙周手术组和半导体激光辅助牙周手术组之间PLI、PBI、PD评分的变化以及红色复合菌的水平,发现手术0、3、6个月之后,实验组PLI、PBI、PD评分及红色复合菌的水平比对照组降低更多,结果具有统计学意义。这可能与半导体激光破坏菌斑生物膜的保护机制和细菌中的关键毒力因子(脂多糖和蛋白酶)有关,同时还促进牙龈成纤维细胞中碱性成纤维细胞生长因子(basic fibroblast growth factor, bFGF)的释放,从而激活上皮细胞和成纤维细胞中的金属蛋白酶,降低炎症介质水平,有利于伤口愈合。Dalvi等^[42]临床研究中提出,在低功率条件下应用810 nm半导体激光辅助牙周袋清创,获得了较好的远期效果和牙槽骨水平的整体改善,可作为顽固性中等牙周袋(4~6 mm)外科清创方法的潜在替代

方案。还有研究表明,半导体激光辅助牙周翻瓣术比单纯翻瓣术疗效更佳,可减轻牙龈炎症,降低牙龈出血指数,减轻组织水肿和术后疼痛感^[43-44]。Ozcelik等^[45]评估半导体激光对游离龈移植术(free gingival graft, FGG)术后的并发症和根覆盖结果的影响,结果显示810 nm 半导体激光可增强游离皮瓣的上皮细胞的活性,促进游离皮瓣与根面组织的结合,对于单个牙龈退缩的治疗,根覆盖的临床效果较好(6个月),术后恢复好且并发症较少。一项回顾性病例对照研究结论显示,在慢性牙周炎患者中,单独应用aPDT作为皮瓣清创术的辅助,可以显著降低术后90 d的PD,辅助aPDT也能够显著降低治疗后90 d牙龈下菌斑样本中的细菌水平,临床推荐使用aPDT辅助手术牙周治疗较深的牙周袋^[46]。然而,也有研究显示,半导体激光辅助翻瓣手术与单独的牙周翻瓣手术治疗相比,术后6个月的所有临床参数的结果无明显差异^[47]。结果的不同可能是由于研究较少、样本量小、操作不规范、半导体激光参数的选择、激光与牙周手术结合的方式、个人对牙周手术和半导体激光的期望值不同导致的。

四、半导体激光的新进展

抗菌光动力疗法是一种新的抗菌治疗方法,在分子氧存在的情况下,利用光敏剂和特定波长的光的组合来产生ROS。光敏剂是一种无毒染料,它与微生物的外表面、细胞膜和DNA结合,并在光照下被激活。aPDT通过破坏微生物细胞膜和DNA,导致细菌死亡^[48]。有研究者提出,甲苯胺蓝和亚甲基蓝是两亲性、带正电荷的低分子量聚砷^[49]。它们通过与微生物表面蛋白质结合进入外膜,对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌都有杀伤作用;吡啶菁绿是一种阴离子聚苯乙烯,具有良好的抗菌性能,主要表现在光热和光化学处理。Derikvand等^[50]使用半导体激光联合光敏剂(亚甲基蓝)治疗牙周炎,显著改善了PLI、牙龈指数(gingival index, GI)和PD水平,半导体激光辅助SRP在CAL提高方面的长期效果(6个月)较好。在一项探究光动力半导体激光辅助治疗慢性牙周炎的临床及微生物学效果的随机临床研究显示^[51],15例慢性牙周炎患者随机分SRP和PDT+SRP组,在基线、1个月和3个月间隔评估全口PLI、SBI、PD和CAL,并采用聚合酶链反应方法,对牙龈下菌斑样本中的牙龈卟啉单胞菌进行了微生物学分析,结果显示,在治疗后1和3个月,各组患者的PLI、SBI、PD、CAL和微生物学参数均有显著性差异,PDT和SRP联合使用可显著改善慢性牙周炎患者的临床和微生物参数。在一项aPDT辅助非牙周手术治疗的微生物研究中,治疗6个月后aPDT+SRP组较单纯的SRP组的C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、淀粉样蛋白A、纤维蛋白原、降钙素原和 α -2巨球蛋白显著降低^[52]。然而,一项临床研究的50例牙周炎患者(分成两组,每组25例)使用波长810 nm 半导体激光联合吡啶菁绿辅助SRP与单纯SRP进行疗效比较,发现aPDT组PBI、PD、PLI与对照组相比有所改善,而CAL较对照组无显著差异,术后3个月的PLI指数也未见明显差异^[53]。Katsikanis等^[54]设计随机对照临床试验来对低强度激光(670 nm)结合亚甲基蓝辅助SRP与半导体激光

(940 nm)、常规SRP治疗的临床效果进行比较分析,3组治疗方式在3个月和6个月的临床参数较治疗前差异均有统计学意义,PD、PBI组间比较差异无统计学意义。半导体激光组在3个月时,PD减轻较明显,但差异没有统计学意义。经过6个月的评估,高强度半导体激光和抗菌光动力疗法对常规牙周治疗没有显著的统计学意义。在治疗6个月后,半导体激光或光动力激光联合常规SRP在PD和BI方面不优于单独SRP组。目前,抗菌光动力疗法是否能替代或辅助非牙周手术治疗存在争议,还需要更多的研究证实。

五、总结与展望

综上所述,半导体激光在牙周领域的应用逐渐得到推广,特别是在辅助SRP方面。半导体激光辅助SRP治疗牙周炎的作用,大致分为4个方面:(1)直接作用于细菌,利用热效应使其破裂、死亡,且不造成牙周袋内壁的组织损伤,达到抑菌、灭菌的效果。(2)降低与牙周组织破坏有关的炎症因子水平,如IL-1 β 、IL-37、激肽、基质金属蛋白、MMP-1/TIMP-1等,使牙周组织的炎症减轻,改善牙周指标。(3)利用生物刺激效应,加强局部血液循环,刺激血管的形成,促进牙周膜成纤维细胞、成骨细胞和间质细胞增殖,增强细胞活性,有利于牙周组织的愈合,促进牙周组织获得新的附着。(4)去除牙周袋内壁的肉芽组织和隐蔽部位的菌斑,配合SRP彻底清除病灶;封闭毛细血管,止血和凝血效果好;阻塞牙本质小管,减轻患者术后敏感、疼痛的症状。然而,半导体激光在牙周手术方面的应用的研究较少,多数集中在动物及体外实验,体内研究实施难度较大,且牙周手术的效果特别是促进黏骨膜瓣愈合、促进牙周骨内创面再植、与屏障膜或异种移植联合方面的作用并不显著。患者往往对牙周手术和激光治疗存在恐惧感,再加上费用问题、全身条件的限制,使大多数患者更倾向于非手术治疗。由于半导体激光在接触照射和非接触照射方式下均与靶组织发生相互作用。因此,使用时应特别注意防护:(1)在治疗过程中避免照射患者眼睛、喉咙和靶部位外脆弱的口腔组织;(2)在进行激光治疗之前,患者、操作人员和助手必须始终佩戴防护眼镜;(3)由于激光束可能会被牙科器械的金属表面和镜面反射,如牵引器和口镜,使用激光时应用湿纱布覆盖手术部位周围的口腔组织,使其免受意外的射线照射。医生应了解半导体激光系统及其应用的特点、效果和常规治疗程序。大部分研究认为半导体激光对牙周治疗具有明显的促进作用,但仍存在局限性,半导体激光虽可有效清除与牙周病相关的色素细菌,如牙龈卟啉单胞菌、普氏菌属、福赛斯坦纳菌属等,但大部分的龈下致病菌并不是色素细菌,不能达到彻底清创。不建议用半导体激光替代SRP清除根面的结石,因为矿化程度较高的深色沉积物(牙石)表现出较差的能量吸收,产生过多热量,损伤牙周附着组织。治疗之前应选择适当参数,如功率水平、脉冲重复频率、脉冲宽度和能量密度,避免意外的医源性损伤,在能达到临床预期结果下使用最小功率。半导体激光在长期疗效和临床指标的改善方面仍然存在争议,应用于牙周治疗和其他口腔操作的参数设定和操作规范尚未有明确的规

定,且激光作为一种新型治疗手段,相关的研究较少,仍需更多、更深入的研究来解决目前的争议和不足之处,为牙周炎的治疗寻找更安全有效的方法。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] GBD 2017 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990—2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 [J]. *Lancet*, 2018, 392 (10159) : 1789 - 1858. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)32279-7.
- [2] John MT, Michalowicz BS, Kotsakis GA, et al. Network meta-analysis of studies included in the Clinical Practice Guideline on the nonsurgical treatment of chronic periodontitis [J]. *J Clin Periodontol*, 2017, 44(6):603-611. DOI: 10.1111/jcpe.12726.
- [3] Jia L, Jia J, Xie M, et al. Clinical attachment level gain of lasers in scaling and root planing of chronic periodontitis: A network meta-analysis of randomized controlled clinical trials [J]. *Lasers Med Sci*, 2020, 35 (2) : 473 - 485. DOI: 10.1007/s10103-019-02875-5.
- [4] Yadwad KJ, Veena HR, Patil SR, et al. Diode laser therapy in the management of chronic periodontitis: A clinico-microbiological study [J]. *Interv Med Appl Sci*, 2017, 9 (4) : 191 - 198. DOI: 10.1556/1646.9.2017.38.
- [5] Aykol G, Baser U, Maden I, et al. The effect of low-level laser therapy as an adjunct to non-surgical periodontal treatment [J]. *J Periodontol*, 2011, 82 (3) : 481 - 488. DOI: 10.1902/jop.2010.100195.
- [6] Cobb CM, Low SB, Coluzzi DJ. Lasers and the treatment of chronic periodontitis [J]. *Dent Clin North Am*, 2010, 54(1) : 35-53. DOI: 10.1016/j.cden.2009.08.007.
- [7] 陶玉飞, 郭凤芹. 半导体激光辅助重度慢性牙周炎牙周非手术治疗临床研究 [J]. *口腔医学研究*, 2018, 34(10) : 1085-1088. DOI: 10.13701/j.cnki.kqxyj.2018.10.013.
- [8] Chambrone L, Ramos UD, Reynolds MA. Infrared lasers for the treatment of moderate to severe periodontitis: An American Academy of Periodontology best evidence review [J]. *J Periodontol*, 2018, 89 (7) : 743 - 765. DOI: 10.1902/jop.2017.160504.
- [9] Gutiérrez-Corrales A, Rizcala-Orlando Y, Montero-Miralles P, et al. Comparison of diode laser—Oral tissue interaction to different wavelengths. In vitro study of porcine periodontal pockets and oral mucosa [J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2020, 25(2):e224-e232. DOI: 10.4317/medoral.23317.
- [10] Parker S. Lasers and soft tissue: Periodontal therapy [J]. *Br Dent J*, 2007, 202(6) : 309-315. DOI: 10.1038/bdj.2007.224.
- [11] Theodoro LH, Marcantonio RAC, Wainwright M, et al. LASER in periodontal treatment: Is it an effective treatment or science fiction? [J]. *Braz Oral Res*, 2021, 35 (Supp 2) : e99. DOI: 10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0099.
- [12] Dukić W, Bago I, Aurer A, et al. Clinical effectiveness of diode laser therapy as an adjunct to non-surgical periodontal treatment: A randomized clinical study [J]. *J Periodontol*, 2013, 84 (8) : 1111-1117. DOI: 10.1902/jop.2012.110708.
- [13] 张丽娟, 石晶, 郭杰华, 等. 半导体激光辅助治疗慢性牙周炎的临床效果 [J]. *实用口腔医学杂志*, 2018, 34(3) : 404-406. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3733.2018.03.026.
- [14] Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA, et al. Application of lasers in periodontics: True innovation or myth? [J]. *Periodontol 2000*, 2009, 50: 90-126. DOI: 10.1111/j.1600-0757.2008.00283.x.
- [15] Barbosa FI, Araújo PV, Machado LJC, et al. Effect of photodynamic therapy as an adjuvant to non-surgical periodontal therapy: Periodontal and metabolic evaluation in patients with type 2 diabetes mellitus [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2018, 22: 245-250. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2018.04.013.
- [16] Franco T, Dos SA, Canabarro A. The effects of repeated applications of antimicrobial photodynamic therapy in the treatment of residual periodontal pockets: A systematic review [J]. *Lasers Med Sci*, 2019, 34 (5) : 855 - 863. DOI: 10.1007/s10103-018-02703-2.
- [17] Matarese G, Ramaglia L, Cicciù M, et al. The effects of diode laser therapy as an adjunct to scaling and root planing in the treatment of aggressive periodontitis: A 1-year randomized controlled clinical trial [J]. *Photomed Laser Surg*, 2017, 35 (12) : 702-709. DOI: 10.1089/pho.2017.4288.
- [18] Goh EX, Tan KS, Chan YH, et al. Effects of root debridement and adjunctive photodynamic therapy in residual pockets of patients on supportive periodontal therapy: A randomized split-mouth trial [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2017, 18: 342-348. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2017.03.017.
- [19] 李淑华, 周永敏, 丁红忠. 老年慢性牙周炎患者半导体激光治疗的有效性及对患者 PD CAL SBI 的影响 [J]. *河北医学*, 2021, 27(8) : 1308-1312. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6233.2021.08.016.
- [20] 申林, 于淑玲, 赵娜, 等. 半导体激光辅助治疗慢性牙周炎的疗效及其对牙周学指标的影响研究 [J]. *中国医学装备*, 2021, 18 (6) : 116-119. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2021.06.030.
- [21] Cobb CM. Commentary: Is there clinical benefit from using a diode or neodymium: Yttrium - Aluminum - Garnet laser in the treatment of periodontitis? [J]. *J Periodontol*, 2016, 87(10) : 1117-1131. DOI: 10.1902/jop.2016.160134.
- [22] Mombelli A. Microbial colonization of the periodontal pocket and its significance for periodontal therapy [J]. *Periodontol 2000*, 2018, 76(1) : 85-96. DOI: 10.1111/prd.12147.
- [23] Fischer RG, Junior LR, Retamal-Valdes B, et al. Periodontal disease and its impact on general health in Latin America. Section V: Treatment of periodontitis [J]. *Braz Oral Res*, 2020, 34 (suppl 1) : e026. DOI: 10.1590/1807-3107bor-2020.vol34.0026.
- [24] Mahalakshmi MR, Leela RP, Yadalam PK, et al. Estimation of

- red-complex bacteria in diode laser treated chronic periodontitis patients: A clinical and microbiological study [J]. *J Pharm Bioallied Sci*, 2020, 12 (Suppl 1) : S140-S145. DOI: 10.4103/jpbs.JPBS_45_20.
- [25] Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, et al. Treatment of periodontal pockets with a diode laser [J]. *Lasers Surg Med*, 1998, 22 (5) : 302-311. DOI: 10.1002/(sici)1096-9101(1998)22:5<302::aid-lsm7>3.0.co;2-t.
- [26] Slots J, Genco RJ. Black-pigmented *Bacteroides* species, *Capnocytophaga* species, and *Actinobacillus actinomycetemcomitans* in human periodontal disease: Virulence factors in colonization, survival, and tissue destruction [J]. *J Dent Res*, 1984, 63 (3) : 412-421. DOI: 10.1177/00220345840630031101.
- [27] Meseli SE, Kuru B, Kuru L. Effects of 810-nanometer diode laser as an adjunct to mechanical periodontal treatment on clinical periodontal parameters and gingival crevicular fluid volume of residual periodontal pockets [J]. *Niger J Clin Pract*, 2017, 20(4):427-432. DOI: 10.4103/1119-3077.181382.
- [28] Chen M, Cai W, Zhao S, et al. Oxidative stress-related biomarkers in saliva and gingival crevicular fluid associated with chronic periodontitis: A systematic review and meta-analysis [J]. *J Clin Periodontol*, 2019, 46 (6) : 608-622. DOI: 10.1111/jcpe.13112.
- [29] Baima G, Corana M, Iaderosa G, et al. Metabolomics of gingival crevicular fluid to identify biomarkers for periodontitis: A systematic review with meta-analysis [J]. *J Periodontal Res*, 2021, 56(4):633-645. DOI: 10.1111/jre.12872.
- [30] Gursoy UK, Könönen E. Understanding the roles of gingival beta-defensins [J]. *J Oral Microbiol*, 2012, 4: 15127. DOI: 10.3402/jom.v4i0.15127.
- [31] Offenbacher S, Jiao Y, Kim SJ, et al. GWAS for Interleukin-1 β levels in gingival crevicular fluid identifies IL37 variants in periodontal inflammation [J]. *Nat Commun*, 2018, 9 (1) : 3686. DOI: 10.1038/s41467-018-05940-9.
- [32] Loo WT, Wang M, Jin LJ, et al. Association of matrix metalloproteinase (MMP-1, MMP-3 and MMP-9) and cyclooxygenase-2 gene polymorphisms and their proteins with chronic periodontitis [J]. *Arch Oral Biol*, 2011, 56(10) : 1081-1090. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2011.03.011.
- [33] Saglam M, Kantarci A, Dundar N, et al. Clinical and biochemical effects of diode laser as an adjunct to nonsurgical treatment of chronic periodontitis: A randomized, controlled clinical trial [J]. *Lasers Med Sci*, 2014, 29 (1) : 37-46. DOI: 10.1007/s10103-012-1230-0.
- [34] Giannopoulou C, Cappuyns I, Cancela J, et al. Effect of photodynamic therapy, diode laser, and deep scaling on cytokine and acute-phase protein levels in gingival crevicular fluid of residual periodontal pockets [J]. *J Periodontol*, 2012, 83 (8) : 1018-1027. DOI: 10.1902/jop.2011.110281.
- [35] Caruso U, Natri L, Piccolomini R, et al. Use of diode laser 980 nm as adjunctive therapy in the treatment of chronic periodontitis. A randomized controlled clinical trial [J]. *New Microbiol*, 2008, 31(4):513-518.
- [36] Bozkurt SB, Hakki EE, Kayis SA, et al. Biostimulation with diode laser positively regulates cementoblast functions, in vitro [J]. *Lasers Med Sci*, 2017, 32 (4) : 911-919. DOI: 10.1007/s10103-017-2192-z.
- [37] Pai BSJ, Krishnan NR, Walveker A, et al. Comparative evaluation of sclerostin levels in gingival crevicular fluid in the treatment of chronic periodontitis patients using diode laser as an adjunct to scaling and root planing: A clinico-biochemical study [J]. *Contemp Clin Dent*, 2021, 12 (3) : 276-281. DOI: 10.4103/ccd.ccd_19_20.
- [38] Pawelczyk-Madalinska M, Benedicenti S, Segan T, et al. Impact of adjunctive diode laser application to non-surgical periodontal therapy on clinical, microbiological and immunological outcomes in management of chronic periodontitis: A systematic review of human randomized controlled clinical trials [J]. *J Inflamm Res*, 2021, 14: 2515-2545. DOI: 10.2147/JIR.S304946.
- [39] 宦泓, 梅幼敏, 曹盈, 等. 双波长激光应用于牙周手术的临床评价 [J]. *南通大学学报(医学版)*, 2018, 38(4) : 309-311. DOI: 10.16424/j.cnki.cn32-1807/r.2018.04.025.
- [40] Khan F, Chopra R, Sharma N, et al. Comparative evaluation of the efficacy of diode laser as an adjunct to modified Widman flap surgery for the treatment of chronic periodontitis: A randomized split-mouth clinical trial [J]. *J Indian Soc Periodontol*, 2021, 25 (3) : 213-219. DOI: 10.4103/jisp.jisp_252_20.
- [41] Karthikeyan J, Vijayalakshmi R, Mahendra J, et al. Diode laser as an adjunct to kirkland flap surgery: A randomized split-mouth clinical and microbiological study [J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2019, 37 (2) : 99-109. DOI: 10.1089/photob.2018.4519.
- [42] Dalvi S, Khetal N, Ansari S, et al. Utilization of 810 nm diode laser treatment in periodontitis as an alternative to surgical debridement approach [J]. *Photochem Photobiol*, 2021, 97 (3) : 566-573. DOI: 10.1111/php.13417.
- [43] Heidari M, Paknejad M, Jamali R, et al. Effect of laser photobiomodulation on wound healing and postoperative pain following free gingival graft: A split-mouth triple-blind randomized controlled clinical trial [J]. *J Photochem Photobiol B*, 2017, 172: 109-114. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2017.05.022.
- [44] Lobo TM, Pol DG. Evaluation of the use of a 940 nm diode laser as an adjunct in flap surgery for treatment of chronic periodontitis [J]. *J Indian Soc Periodontol*, 2015, 19 (1) : 43-48. DOI: 10.4103/0972-124X.145808.
- [45] Ozcelik O, Seydaoglu G, Haytac CM. Diode laser for harvesting de-epithelialized palatal graft in the treatment of gingival recession defects: A randomized clinical trial [J]. *J Clin Periodontol*, 2016, 43(1):63-71. DOI: 10.1111/jcpe.12487.
- [46] Dalvi SA, Hanna R, Gattani DR. Utilisation of antimicrobial photodynamic therapy as an adjunctive tool for open flap

- debridement in the management of chronic periodontitis: A randomized controlled clinical trial [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2019, 25:440-447. DOI:10.1016/j.pdpdt.2019.01.023.
- [47] Jonnalagadda BD, Gottumukkala S, Dwarakanath CD, et al. Effect of diode laser-assisted flap surgery on postoperative healing and clinical parameters: A randomized controlled clinical trial [J]. *Contemp Clin Dent*, 2018, 9(2):205-212. DOI: 10.4103/ccd.ccd_810_17.
- [48] Moro MG, de Carvalho VF, Godoy-Miranda BA, et al. Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) for nonsurgical treatment of periodontal disease: A systematic review [J]. *Lasers Med Sci*, 2021, 36(8): 1573-1590. DOI: 10.1007/s10103-020-03238-1.
- [49] Pourhajibagher M, Kazemian H, Chiniforush N, et al. Exploring different photosensitizers to optimize elimination of planktonic and biofilm forms of *Enterococcus faecalis* from infected root canal during antimicrobial photodynamic therapy [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2018, 24:206-211. DOI:10.1016/j.pdpdt.2018.09.014.
- [50] Derikvand N, Ghasemi SS, Safiaghdam H, et al. Antimicrobial photodynamic therapy with diode laser and methylene blue as an adjunct to scaling and root planning: A clinical trial [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2020, 31:101818. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2020.101818.
- [51] Mallineni S, Nagarakanti S, Gunupati S, et al. Clinical and microbiological effects of adjunctive photodynamic diode laser therapy in the treatment of chronic periodontitis: A randomized clinical trial [J]. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 2020, 14(3):191-197. DOI:10.34172/joddd.2020.030.
- [52] Xue D, Zhao Y. Clinical effectiveness of adjunctive antimicrobial photodynamic therapy for residual pockets during supportive periodontal therapy: A systematic review and meta-analysis [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2017, 17:127-133. DOI:10.1016/j.pdpdt.2016.11.011.
- [53] Monzavi A, Chinipardaz Z, Mousavi M, et al. Antimicrobial photodynamic therapy using diode laser activated indocyanine green as an adjunct in the treatment of chronic periodontitis: A randomized clinical trial [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2016, 14:93-97. DOI:10.1016/j.pdpdt.2016.02.007.
- [54] Katsikanis F, Strakas D, Vouros I. The application of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT, 670 nm) and diode laser (940 nm) as adjunctive approach in the conventional cause-related treatment of chronic periodontal disease: A randomized controlled split-mouth clinical trial [J]. *Clin Oral Investig*, 2020, 24(5):1821-1827. DOI: 10.1007/s00784-019-03045-1.

(收稿日期:2021-12-25)

(本文编辑:王嫚)