

激光治疗应用于撕脱性损伤牙再植根面处理的研究进展

王刘欣^{1,2} 郭艳霞¹ 陈永进¹ 张旻¹ 李强¹

¹口腔系统重建与再生全国重点实验室,国家口腔疾病临床医学研究中心,陕西省口腔疾病国际联合研究中心,第四军医大学口腔医院急诊与综合临床科,西安 710032;

²中国人民解放军93801部队医院,咸阳 712201

通信作者:李强,Email:lqag726@163.com

【摘要】 牙齿撕脱性损伤是最严重且预后最差的外伤性牙齿损伤之一,主要发生于恒前牙,不仅造成患者咀嚼功能障碍,也影响患者容貌美观。再植是撕脱性损伤牙的首选治疗方案,但与理想的生理性愈合相比,牙周组织损伤和炎症反应可能导致不可逆的牙根吸收,降低再植成功率。因此,有效的根面处理对于良好预后至关重要。激光治疗作为一种新兴的手段已被广泛应用于口腔疾患防治。许多研究表明,激光在撕脱性损伤牙再植根面处理的过程中能够发挥促进牙周血管生成及牙周组织细胞黏附、加速牙周胶原纤维沉积的作用,有利于撕脱性损伤牙的牙周膜愈合,同时减轻牙周炎症反应,降低牙根吸收发生率,对提高撕脱性损伤牙再植成功率起到了重要作用。本文概述了撕脱性损伤牙再植后牙周组织愈合方式和再植牙根面处理常用方法,就近年来激光治疗处理撕脱性损伤牙再植根面的作用机制与相关应用研究进行讨论,并对未来激光在撕脱性损伤牙再植根面处理中的发展进行展望。

【关键词】 激光; 根面处理; 牙撕脱性损伤; 牙再植; 牙根吸收

基金项目:陕西省重点研发计划(2024SF-YBXM-259); 国家口腔疾病临床医学研究中心专项课题(LCB202204); 空军军医大学第三附属医院临床新技术项目(LX2022-304)

引用著录格式:王刘欣,郭艳霞,陈永进,等.激光治疗应用于撕脱性损伤牙再植根面处理的研究进展[JOL].中华口腔医学研究杂志(电子版),2024,18(5):345-350.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2024.05.011

Research progress of laser therapy in the root surface treatment of replanted avulsed teeth

Wang Liuxin^{1,2}, Guo Yanxia¹, Chen Yongjin¹, Zhang Min¹, Li Qiang¹

¹State Key Laboratory of Oral & Maxillofacial Reconstruction and Regeneration, National Clinical Research Center for Oral Diseases, Shaanxi International Joint Research Center for Oral Diseases, Department of General Dentistry & Emergency, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China; ²Chinese People's Liberation Army 93801 Unit Hospital, Xianyang 712201, China

Corresponding author: Li Qiang, Email: lqag726@163.com

【Abstract】 Tooth avulsion is one of the most serious traumatic dental injuries with the worst prognosis. It mainly occurs in the permanent anterior teeth. Tooth avulsion not only causes masticatory dysfunction, but also impacts the aesthetic appearance of patients. Replantation serves as the first treatment modality for avulsed teeth. However, the success rate of replantation may be reduced by irreversible root resorption caused by periodontal tissue damage and inflammation. Therefore, effective root surface management is imperative for a good prognosis of the replanted teeth. Laser therapy has been widely used in the prevention and treatment of oral diseases in recent years. Many studies have demonstrated its positive effects on facilitating the physiological periodontal healing in the replanted avulsed teeth by promoting periodontal angiogenesis and cell adhesion as well as accelerating the deposition of periodontal collagen fibers. Meanwhile, laser therapy also reduces periodontal inflammation and the probability of root resorption. These benefits contribute to improving the success rate of the replanted avulsed teeth. This article provides an overview of the periodontal tissue healing modes and common methods of root surface treatment of replanted avulsed teeth, and discusses the underlying mechanism and related application studies in the root surface treatment of replanted avulsed teeth by laser therapy in recent years. Meanwhile, the future development of laser therapy in the replantation of avulsed teeth is prospected.

【Key words】 Laser; Root surface treatment; Tooth avulsion; Tooth replantation; Root resorption

Fund programs: Key Research and Development Program of Shaanxi (2024SF-YBXM-259); Special Project of National Clinical Research Center for Oral Diseases (LCB202204); New Technology Project of the Third Affiliated Hospital of Air Force Medical University (LX2022-304)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2024.05.011

牙齿撕脱性损伤是指牙齿由于外力从牙槽窝中完全脱出,是最严重的外伤性牙齿损伤(trumatic dental injuries,

TDI)之一^[1]。通常,再植是治疗牙齿撕脱性损伤的首选方案。但是,由于临床实际情况下患牙的根面污染和长时间暴露于外界环境等原因,再植后易出现牙根吸收,外伤牙松动、脱落或被拔除等现象,这不仅导致再植预后不良^[2-3],而且会给患者带来持续的精神压力和长期的经济负担。因此,针对撕脱性损伤牙进行紧急、有效的再植前根面处理对于保存患牙并取得良好预后至关重要。近年来,激光治疗已被应用于多种口腔疾病的治疗中,包括牙髓炎、牙本质敏感、牙周炎、口腔黏膜病变、软组织创伤和口腔癌等^[4-9]。随着对激光治疗研究的深入,其在撕脱性损伤牙再植根面处理中的作用也已得到证实。本文即对激光治疗应用于撕脱性损伤牙再植根面处理的相关作用机制与现有应用研究进行综述。

一、牙齿撕脱性损伤

牙齿撕脱性损伤是牙受到外力作用从牙槽窝中完全脱位。2020年国际牙外伤协会(International Association of Dental Traumatology, IADT)发布的指南中提到,恒牙撕脱性损伤占有所有TDI的0.5%~16%^[10]。这种损伤主要通过机械应力使神经、血管束破裂,导致牙髓组织及牙周组织的破坏,坏死的残留物激活牙周组织的局部炎症反应诱发牙根吸收,从而导致牙周组织生理性愈合难以形成,这是再植牙脱落的主要原因。

恒牙撕脱性损伤的临床治疗具有极大的挑战性,应以减轻创伤引起的炎症和感染,并尽力改善牙周修复为原则^[10]。因此,通过撕脱性损伤再植牙的有效根面处理,实现去除坏死残留物、抗菌消炎和促进牙周组织愈合,最终达到预防牙根吸收目的。目前,常用的根面处理方式包括机械法、化学处理法、药物处理法和干细胞治疗等^[11]。近年来,激光疗法应用于根面处理中也被学者认可,其除了起到良好的抗菌抑炎、激活牙周组织生物活性等效果,还能够修饰牙根表面的形态,促进细胞的黏附和增殖,以及随后的牙周组织附着,对提高再植牙存活率起到了重要作用^[12]。

1. 牙再植后牙周组织的愈合方式:撕脱性损伤牙再植后的牙周愈合方式包括牙周膜(periodontal ligament, PDL)愈合、牙根表面吸收、牙根炎性吸收和牙根替代性吸收^[13]。牙周膜愈合是指在外伤后牙周膜间隙正常且牙根表面存活的牙周膜细胞重新形成新的牙周膜纤维,是最理想的牙周愈合方式。当部分成牙骨质细胞和牙周膜细胞发生不可逆损伤时,会发生炎症反应,导致破骨细胞活化,在牙根表面的牙骨质层形成吸收,即表面吸收。表面吸收可能会在受伤后几周内出现,但通常是自限性的,只要刺激持续时间短并且牙齿没有被细菌污染,在后期愈合的过程中很可能会被修复。以上两种愈合方式均可使再植牙产生较好的预后。

但是,当撕脱性损伤牙发生牙髓坏死时,根管内存死的牙髓与牙根表面的牙周组织损伤共同作用,使牙骨质和牙本质发生炎症反应而形成的吸收被称为炎性吸收^[14]。此时牙本质小管和受感染根管中细菌产生的毒素或炎症因子可能会释放到牙周膜间隙,进一步加重牙根和周围牙槽骨的破坏。在严重损伤的情况下,牙根表面的牙骨质和牙本质吸收

后,牙槽窝内壁成骨细胞激活和牙骨质与牙周膜纤维的形成同时发生,但骨性愈合占主导地位,随后成骨细胞将在吸收区域形成骨,而根部牙骨质和牙本质被骨吸收并取代,最终牙根与根周牙槽骨直接连接,这一过程被称为替代性吸收。这两种牙根吸收方式可在再植后2周内发生,易导致再植牙脱落或被拔除^[15]。有研究发现,撕脱性损伤牙再植的预后不良发生率为57%~80%^[3],因此须早期干预和及时治疗以防止牙根吸收。

2. 再植牙根面处理常用方法:影响再植牙根吸收的因素主要包括牙根发育程度、离体时间、储存介质和牙根表面污染程度等。研究表明,撕脱性损伤牙外伤后5 min内及时再植是形成牙周膜愈合的关键因素之一,而在口腔外干燥条件下保存的时间超过30 min将会极大地降低再植的成功率^[15]。这是由于干燥环境破坏牙周膜细胞,导致炎症反应发生,同时暴露的牙骨质诱导破骨细胞活化,促使其吸收牙根和周围牙槽骨。此外,牙髓组织的坏死、细菌污染及暴露的牙本质小管也加剧了炎症反应和牙根吸收的进程。

由于延迟再植是撕脱性损伤中最常见的临床情况,所以需要患者在就诊前将脱位牙保存于合适的储存介质中。根据美国牙体牙髓病学协会的指南,汉克平衡盐溶液(Hank's balanced salt solution, HBSS)被认为是撕脱牙齿的最佳储存介质。有研究表明,蜂胶、0.9%氯化钠溶液、口服补液盐、牛奶、水和绿茶等作为储存介质也利于撕脱性损伤牙再植的预后^[16]。鉴于HBSS在现实条件下的不易获得性,以及0.9%氯化钠溶液加速细胞裂解的低渗透性,有学者也提出储存离体撕脱性损伤患牙时优先选择口服补液盐或牛奶^[17]。然而,保存良好的患牙仍存在炎症性牙根吸收的可能,故在进行有效再植前也需要采用一些辅助根面处理方法以改善根面形态,促进牙周组织附着,加速脱位牙牙周愈合,同时去除坏死的牙周组织和牙根表面污染物,减轻炎症反应,从而降低牙根吸收的发生率。再植牙根面处理的常用方法有以下几种。

(1)机械刮擦和化学处理:使用刮匙、手术刀片、金刚砂车针、抛光碟和抛光杯等进行机械刮擦处理,或用酸性物质(如柠檬酸^[18]、盐酸和酸化氟化物)、碱性物质(如氢氧化钙和次氯酸钠)等进行化学处理的理化法,可以去除牙根表面的污染物及坏死的牙周组织细胞。但是,有研究表明机械处理易破坏牙周组织活性,增加牙根吸收的发生率^[19]。在2020年IADT发布的指南中,建议对于在体外干燥保存时间超过60 min的撕脱性损伤牙,可以在生理存储介质中搅动牙齿或用浸有0.9%氯化钠溶液的纱布去除松散的碎屑和可见的污染物^[1]。

(2)药物和生物制剂处理:是再植牙根面处理的常用治疗方式之一,如短期减轻炎症的抗生素、局部改善修复的皮质类固醇、抑制破骨细胞活性的阿仑膦酸钠、调节牙根吸收区域内pH值的碳酸酐酶抑制剂与维生素C^[20],以及促进牙周组织再生的牙釉质基质蛋白^[21]、重组碱性成纤维细胞生长因子2^[22]和富血小板纤维蛋白^[23]等。然而,无论采取何种干预措施,特别是在超过20%的牙根表面都受到替代性吸收影

响的情况下,后期都存在明显的牙齿脱落风险^[24]。

(3)干细胞治疗:来源于牙龈、PDL、骨髓和脂肪组织的干细胞被证实能够增加牙根表面牙周膜愈合的比例,同时减少替代性吸收的面积,但如何消除使用同种异体细胞的影响,以及优化细胞递送策略还需要进一步研究^[25]。

(4)激光治疗:随着对激光治疗的深入研究与广泛应用,许多研究发现包括二极管激光、Nd:YAG激光、Er:YAG激光、Er,Cr:YSGG激光和CO₂激光等在内的多种类型激光基于一系列光热效应、光机械效应或生物学效应对再植后牙周组织愈合与重建再生具有积极良好的促进作用^[12]。

二、激光应用于撕脱性损伤牙再植根面处理的作用机制

撕脱性损伤牙再植后牙周愈合的过程中涉及各类细胞和信号分子之间复杂的相互作用,而通过不同类型的激光处理牙根表面,可起到促进牙周组织血管形成,以及牙根表面各类牙周组织细胞黏附和纤维蛋白沉积的作用,有利于牙周膜愈合的形成,同时减轻牙根表面炎症反应减少牙根吸收的发生,最终提高撕脱性损伤牙再植的成功率。

1. 促进牙周组织血管形成:在撕脱性损伤牙牙周愈合过程中,周围组织血供是影响牙周组织形成的重要因素之一。Matos等^[26]在建立的大鼠撕脱性损伤上前牙延迟再植模型中采用砷化镓(gallium-alu-minum-arsenate, GaAlAs)连续波二极管激光器发射波长为808 nm的红外光对离体患牙根部和牙槽窝进行照射,而后进行体外根管治疗并再植,之后通过铟镓铝磷(indium-gallium-aluminum-phosphorus, InGaAlP)连续波二极管激光器发射波长为660 nm的可见光对含再植牙的颊腭侧牙槽黏膜每间隔48 h进行1次激光照射,照射处理5次后获取样本。结果观察到,激光组牙周膜和牙槽窝区域血管计数及血管生成评分均显著增加,从而证明了激光照射可促进撕脱性损伤再植牙牙周组织血管生成。另有研究者观察激光促进牙周组织愈合与再生的效果,采用Er:YAG激光对牙槽骨和牙根表面进行高能量照射,而后对牙槽骨和血凝块表面进行低能量照射,发现激光不仅对骨及牙根表面无热损伤,促进了表层血液凝固以加速止血,且与常规治疗组相比,激光治疗组的VEGF表达以及成血管和成骨能力显著提升。而后在体外细胞实验中采用瞬时受体电位通道香草酸亚型1(transient receptor potential vanilloid 1, TRPV1)的选择性抑制剂辣椒平处理后发现,Er:YAG激光照射后的VEGF表达和血管生成被抑制,说明Er:YAG激光可以通过上调VEGF分泌、激活TRPV1通路促进血管生成,最终促进牙周组织愈合^[27]。

2. 促进牙周组织细胞增殖和根面黏附:再植牙愈合过程中,成牙骨质细胞参与新牙骨质的形成,同时牙周膜成纤维细胞(periodontal ligament fibroblasts, PDLF)增殖分化形成新的牙周附着,以利于再植牙的长期留存。牙根吸收常发生在牙周膜和牙骨质严重受损的情况下,因此为了在结构和功能上重建良好的PDL附着,实现成功的牙齿再植,必须保留成牙骨质细胞和PDLF等牙周组织细胞的良好活力和功能。

有研究通过功率为0.3 W的连续波二极管激光照射成

牙骨质细胞,明显可见细胞增殖趋势下降减慢,细胞增殖和矿化相关基因如整合素结合唾液蛋白、骨γ羧基谷氨酸蛋白和骨形态发生蛋白的mRNA表达显著增加,且细胞内矿化结节数目增多,提示二极管激光的生物调节效应诱导了成牙骨质细胞增殖和矿化组织相关mRNA的表达,有利于牙周再生中促牙周附着相关组织结构的形成^[28]。还有学者采用3.6~6.3 J/cm²范围内不同能量密度的Er:YAG激光照射PDLF,发现4.2 J/cm²是诱导PDLF增殖、迁移的最适宜能量密度,并且在受照射细胞的上调基因组中发现半乳糖凝集素7(galactin-7, gal-7)的高表达,而后敲除PDLF中的gal-7观察到其消除了Er:YAG激光对细胞增殖、迁移能力的影响,证明了Er:YAG激光可通过上调gal-7增强PDLF增殖和移动活性来加速牙周组织的再生过程^[29]。

激光不仅可以通过激活不同信号通路来改善细胞增殖、迁移、分化能力和生长因子分泌等细胞生物活性,还可以直接改变牙根表面表面形态,从而促进牙根面不同类型的牙周组织细胞黏附,最终改善再植牙的预后。Liu等^[30]对模拟撕脱性损伤再植的离体前磨牙根面采用不同能量密度的Er:YAG激光照射后使其与人牙周膜成纤维细胞(human periodontal ligament fibroblasts, hPDLF)悬浮液共培养,发现25和50 J/cm²能量密度的Er:YAG激光照射组牙根表面都形成不均匀的粗糙面,有大量形态不规则的梭形hPDLF附着,说明Er:YAG激光在诱导形成具有支持软组织附着和再生的更好生物相容性根面的同时,保持了牙骨质结构的完整性,因此可作为一种延期再植牙根面处理的有效方式。

3. 促进牙周纤维蛋白沉积:有学者评估了激光的光生物调节(photobiomodulation, PBM)作用对大鼠撕脱性损伤再植牙牙周修复过程的影响,其课题组在大鼠离体上颌切牙再植前用波长为808 nm的GaAlAs二极管激光处理牙根面和牙槽窝,再植后用波长为660 nm的InGaAlP二极管激光处理含再植牙的牙槽颊腭黏膜根部^[31]。结果发现,激光照射组中牙根表面的I型和III型胶原沉积面积及牙周膜修复长度显著增加,提示激光可以通过加速胶原化的进程、促进牙周胶原纤维的合成与沉积而进一步促进再植牙牙周组织的修复重建;而未照射组中胶原沉积显著降低则可能是由于胶原降解酶(如金属基质蛋白酶)的激活所致,至于激光照射是否抑制了再植牙牙周组织的胶原降解酶表达尚需进一步研究证实。

纤维蛋白在牙根表面的黏附和沉积可以促进牙周组织的再生,如果能够有效去除撕脱性损伤牙牙根表面的玷污层、改变牙根表层形态,将有利于纤维蛋白网络形成及血液成分的黏附。Satish等^[32]研究了Er,Cr:YSGG激光对牙根玷污层去除、血液成分黏附和纤维蛋白网络形成的影响,通过对离体牙进行Er,Cr:YSGG激光照射,并将健康志愿者静脉血放置在处理过的牙根表面,通过扫描电镜观察发现激光处理组玷污层完全消失,致密的纤维蛋白网络形成,且其中包含密集的血细胞,证明了激光照射有利于促进撕脱性损伤牙根表面生物相容性的改善,清除细菌产物,暴露牙本质胶原蛋白以诱导PDLF及血液成分的黏附,进而促进牙周组织再

生中新附着的建立。

4. 减轻炎症反应以减少牙根吸收:牙根吸收是再植后最常见的并发症。撕脱性损伤牙由于离体时间过长、储存介质不当和外界环境污染等因素导致受损牙周支持组织出现炎症反应,诱导牙根炎症性吸收的形成。近年来有研究采用Er:YAG激光照射来源于牙龈卟啉单胞菌的脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)刺激下的hPDLF,发现细胞增殖率和细胞迁移能力显著提高,白细胞介素(IL)-6、IL-8和单核细胞趋化蛋白1等炎性因子的表达和NOD样受体3(NOD-like receptor 3, NLRP3)的表达明显降低,证明了激光照射可通过有效减少炎性因子释放以减轻牙周组织炎症^[33]。在撕脱性损伤牙再植的炎症模型中,激光照射同样起到抑制炎症反应的作用。Wang等^[34]采用LPS处理PDL细胞以模拟临床上受到损伤暴露于炎症环境中的再植牙的PDL细胞,再以不同能量密度梯度的808 nm波长二极管激光对其进行照射,发现该模型细胞中肿瘤坏死因子 α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、IL-1 β 和IL-6等炎性因子的表达均受到抑制,而PDL细胞的增殖、迁移和成骨分化却明显增强,表明激光照射产生的PBM作用能够有效下调已经受到污染的PDL炎性细胞因子的表达,对炎症刺激状态下牙周膜细胞有着良好的促再生作用。因此,利用激光治疗减轻炎症反应负性影响可以减少牙根吸收,对提高撕脱性损伤牙再植的成功率有潜在的应用前景。

三、不同类型激光应用于撕脱性损伤牙再植根面处理的相关研究

口腔激光治疗可被分为高强度激光疗法(high-level laser therapy, HLLT)与低强度激光疗法(low-level laser therapy, LLLT)^[35]。HLLT主要利用光热效应和光机械效应使组织吸收热量,引起热熔重结晶产生微爆破改变组织表面结构形态,起到消融、汽化、止血、微生物抑制和破坏等物理功能,照射能量在表层被吸收而不会过深穿透或过多散射,常见于CO₂激光、Er:YAG激光、Er,Cr:YSGG激光和Nd:YAG激光等的应用。LLLT主要是使生物组织吸收一定量的光能后表现出的一系列生化级联反应,进而促进愈合、缓解疼痛和减少炎症反应,激光能量可以更深入地穿透和散射到组织中,具有良好的生物学效应,因此也被称为PBM作用,常见于二极管激光等的应用^[36]。不同类型的激光应用于撕脱性损伤牙再植根面处理后发挥不同的作用,与机械化学处理、药物生物制剂处理等其他根面处理方法联合应用更有助于提高再植成功率。

1. HLLT的应用:CO₂激光主要通过光热效应作用于矿化组织,使牙根表面结构发生改变,同时使牙根表面一些作用于PDL附着的胶原纤维等细胞外基质成分暴露,进而使根面对牙周组织细胞具有更好的生物相容性和吸附力。Pant等^[37]应用功率为3 W的CO₂激光距离人离体牙根表面5 cm照射1 s,发现根面牙本质小管管口清晰、玷污层被完全消除,而后将处理过的根面样本与PDLF共培养,观察到在光滑的根表面形成了一层融合的分化良好的附着细胞,随着培养

时间的延长,CO₂激光处理过的附着细胞增殖和分化较柠檬酸或乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)单纯处理更加明显,说明在促进PDLF附着于牙根表面方面,CO₂激光照射与常规化学处理方式相比更有优势。Er:YAG激光和Er,Cr:YSGG激光更容易被水吸收,可有效消融含水的硬组织,在适当的能量密度下有最小的热副作用,通过光机械效应改变牙根表面结构而不会显著增加牙髓温度。Tunar等^[38]应用50 mJ能量,30 Hz脉冲频率的Er:YAG激光照射离体的人牙根表面,通过表面粗糙度测试仪发现不规则粗糙根面形成,在扫描电镜下观察到牙本质小管和胶原纤维暴露,同时玷污层完全去除。结合前期有关牙本质胶原纤维暴露有利于建立新的结缔组织附着^[39]的研究发现,有理由相信Er:YAG激光可以改变牙根表面结构,进而促进后期牙根表面上胶原纤维的黏附和形成,有助于PDLF的迁移附着以及牙周的生理性愈合。还有研究应用Nd:YAG激光对人离体牙根表面进行照射后植入大鼠皮下组织,观察到牙根表面牙本质小管的融合和再固化,后期牙根表面结缔组织的附着增加,炎症细胞浸润减少,从而证明了Nd:YAG激光可以提高牙根表面的生物相容性,减少炎症反应,并可能改善牙齿重新植入后的成功率^[40]。

2. LLLT的应用:LLLT主要通过红光和近红外光照射向细胞和组织传递能量,对照射区域和组织细胞施加PBM效应,并通过生物刺激促进细胞募集和迁移,引导生物组织发挥再生潜能,对组织修复、减少炎性细胞、降低牙根吸收率起到积极作用。Görür等^[41]在对患者完成脱位再植牙的常规固定和抗生素治疗同时,还应用GaAlAs二极管激光对患牙颊侧根尖水平进行25次接触式照射,每次照射100 s,发现牙周组织愈合加速,且后续2年的临床随访和影像学检查未发现牙根或牙槽骨结构吸收。还有学者采用Er:YAG激光联合波长为810 nm的二极管激光对患者再植牙进行照射,不仅实现牙根表面的良好消毒,同时也促进牙周组织内源性再生,患者术后没有疼痛,临床随访显示牙周愈合良好、骨再生良好^[42]。除了上述临床研究,还有动物实验针对大鼠再植前牙的牙根表面及牙槽窝进行GaAlAs二极管激光照射,结果观察到激光照射组破骨细胞数目明显少于对照组,并且没有出现明显的炎症性吸收或替代性吸收^[43]。但也有研究者认为,LLLT对牙根表面和牙槽窝的照射后牙根炎性吸收及替代性吸收面积无明显改善,且没有促进大鼠即刻再植和延迟再植牙的愈合过程^[44],这可能是由于实验设计、激光参数设置不同所致。

四、总结与展望

牙齿撕脱性损伤多伴随牙根表面污染,随着患牙口外干燥时间延长、牙根表面水分减少和胶原纤维逐渐变性,PDL细胞通常会出现广泛坏死,牙根表面出现炎症反应,最终导致再植牙牙根吸收、牙齿脱落。因此,再植前要进行适当的牙根表面处理,降低牙根吸收的发生率和严重程度,促进新的PDL细胞和胶原纤维根面附着,提高撕脱性损伤牙再植的成功率。近年来,激光治疗作为一种口腔临床治疗新技术被

应用于多种口腔疾病的治疗,许多研究也已证实激光治疗在减轻或延迟再植牙牙根吸收中具有积极作用,其中HLLT通过产生光热和光机械效应,改变牙根表面形态,从而促进纤维结缔组织和细胞的黏附及新牙骨质的形成,而LLLTT作用于牙根表面对组织细胞产生一定的PBM效应,不仅促进牙周组织血管形成、牙周愈合相关细胞的增殖迁移和纤维蛋白的附着,还减轻牙根表面炎症反应、减少牙根吸收。

然而,激光照射撕脱性损伤再植患牙的相关机制探究仍缺乏深度,再植后的具体信号调控通路、牙周组织及细胞中蛋白和基因变化趋势等仍需探索。另外,目前绝大多数研究仍局限于细胞和动物实验,后期需要开展更多临床试验和随访研究以验证其有效性与安全性。再者,从临床实际应用角度来看,激光的过度照射可能会破坏牙根表面或造成牙周组织热损伤而影响再植牙牙周愈合过程,因此激光的类型、工作模式、参数设置也亟须进一步研究明确。总之,激光治疗技术的发展为撕脱性损伤牙再植的有效治疗提供了可能,未来通过进一步的相关机制研究、临床疗效评估、激光功效明确和临床指南制定,激光治疗应用于撕脱性损伤牙再植根面处理会具有更为广阔的临床应用前景。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Levin L, Day PF, Hicks L, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: General introduction[J]. Dent Traumatol, 2020, 36(4):309-313. DOI:10.1111/edt.12574.
- [2] Roskamp L, Silva Neto UX, Carneiro E, et al. Influence of atopy in the outcome of avulsed and replanted teeth during 5 years of follow-up[J]. J Endod, 2017, 43(1):25-28. DOI:10.1016/j.joen.2016.09.020.
- [3] Andreasen JO, Borum MK, Jacobsen HL, et al. Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 4. Factors related to periodontal ligament healing[J]. Endod Dent Traumatol, 1995, 11(2):76-89. DOI:10.1111/j.1600-9657.1995.tb00464.x.
- [4] Bonvicini JFS, de Souza GL, Basso FG, et al. Specific parameters of infrared LED irradiation promote the inhibition of oxidative stress in dental pulp cells[J]. Arch Oral Biol, 2021, 131:105273. DOI:10.1016/j.archoralbio.2021.105273.
- [5] D'Amario M, di Carlo M, Jahjah A, et al. Ozone and laser effects on dentin hypersensitivity treatment: A randomized clinical study[J]. J Endod, 2024, 50(5):554-561 DOI:10.1016/j.joen.2024.02.007.
- [6] Aoki A, Mizutani K, Taniguchi Y, et al. Current status of Er:YAG laser in periodontal surgery[J]. Jpn Dent Sci Rev, 2024, 60:1-14. DOI:10.1016/j.jdsr.2023.11.002.
- [7] Cheng YO, Veettil SK, Syeed MS, et al. Comparative efficacy of therapeutic interventions for the management of recurrent aphthous ulcers: A systematic review and network meta-analysis[J]. J Evid Based Dent Pract, 2023, 23(4):101918. DOI:10.1016/j.jebdp.2023.101918.
- [8] Alam M, Karami S, Mohammadikhah M, et al. The effect of photobiomodulation therapy in common maxillofacial injuries: Current status[J]. Cell Biochem Funct, 2024, 42(2):e3951. DOI:10.1002/cbf.3951.
- [9] Yu L, Xu Z, Zhu G, et al. High-performance photodynamic therapy of tongue squamous cell carcinoma with multifunctional nano-verteporfin[J]. Int J Nanomedicine, 2024, 19:2611-2623. DOI:10.2147/IJN.S452060.
- [10] Fouad AF, Abbott PV, Tsilingaridis G, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth[J]. Dent Traumatol, 2020, 36(4):331-342. DOI:10.1111/edt.12573.
- [11] 邸天凯,陈宇江,汪璐璐,等.促进撕脱性损伤牙延期再植后牙周愈合的研究进展[J].中国实用口腔科杂志,2021,14(6):728-733. DOI:10.19538/j.kq.2021.06.019.
- [12] Najeeb S, Al-Quraini AAA, Almusallam HAA, et al. Effect of laser treatment on outcomes of tooth replantation: A systematic review[J]. J Taibah Univ Med Sci, 2020, 15(3):169-176. DOI:10.1016/j.jtumed.2020.03.008.
- [13] Abbott PV, Lin S. Tooth resorption-Part 2: A clinical classification[J]. Dent Traumatol, 2022, 38(4):267-285. DOI:10.1111/edt.12762.
- [14] Finucane D, Kinirons MJ. External inflammatory and replacement resorption of luxated, and avulsed replanted permanent incisors: A review and case presentation[J]. Dent Traumatol, 2003, 19(3):170-174. DOI:10.1034/j.1600-9657.2003.00154.x.
- [15] 龚怡. 牙外伤[M]. 2版.北京:人民卫生出版社,2017:41.
- [16] de Brier N, O D, Borra V, et al. Storage of an avulsed tooth prior to replantation: A systematic review and meta-analysis[J]. Dent Traumatol, 2020, 36(5):453-476. DOI:10.1111/edt.12564.
- [17] Zhang N, Cheng Y, Li F, et al. Network meta-analysis of 10 storage mediums for preserving avulsed teeth[J]. Front Med (Lausanne), 2021, 8:749278. DOI:10.3389/fmed.2021.749278.
- [18] Zervas P, Lambrianidis T, Karabouta - Vulgaropoulou I. The effect of citric acid treatment on periodontal healing after replantation of permanent teeth[J]. Int Endod J, 1991, 24(6):317-325. DOI:10.1111/j.1365-2591.1991.tb00142.x.
- [19] Lee JS, Kim SK, Gruber R, et al. Periodontal healing by periodontal ligament fiber with or without cells: A preclinical study of the decellularized periodontal ligament in a tooth replantation model[J]. J Periodontol, 2020, 91(1):110-119. DOI:10.1002/JPER.19-0126.
- [20] Panzarini SR, Gulinelli JL, Poi WR, et al. Treatment of root surface in delayed tooth replantation: A review of literature[J]. Dent Traumatol, 2008, 24(3):277-282. DOI:10.1111/j.1600-9657.2008.00555.x.
- [21] Mohamed RN, Basha S, Al-Thomali Y, et al. Enamel matrix derivative (Emdogain) in treatment of replanted teeth: A systematic review[J]. Acta Odontol Scand, 2019, 77(3):168-172. DOI:10.1080/00016357.2018.1519197.
- [22] Tuna EB, Arai K, Tekkesin MS, et al. Effect of fibroblast growth

- factor and enamel matrix derivative treatment on root resorption after delayed replantation[J]. *Dent Traumatol*, 2015, 31(1):49-56. DOI:10.1111/edt.12141.
- [23] Yang Y, Liu YL, Jia LN, et al. Rescuing "hopeless" avulsed teeth using autologous platelet - rich fibrin following delayed reimplantation: Two case reports[J]. *World J Clin Cases*, 2023, 11(3):635-644. DOI:10.12998/wjcc.v11.i3.635.
- [24] Andersson L, Blomlöf L, Lindskog S, et al. Tooth ankylosis. Clinical, radiographic and histological assessments[J]. *Int J Oral Surg*, 1984, 13(5):423-431. DOI: 10.1016/s0300-9785(84)80069-1.
- [25] Chew JRJ, Tan BL, Lu JX, et al. Cell-based therapy for tooth replantation following avulsion: A systematic review[J]. *Tissue Eng Part B Rev*, 2022, 28(2):351-363. DOI:10.1089/ten.TEB.2021.0016.
- [26] Matos FS, Godolphim FJ, Albuquerque-Júnior RL, et al. Laser phototherapy induces angiogenesis in the periodontal tissue after delayed tooth replantation in rats[J]. *J Clin Exp Dent*, 2018, 10(4):e335-e340. DOI:10.4317/jced.54499.
- [27] Takemura S, Mizutani K, Mikami R, et al. Enhanced periodontal tissue healing via vascular endothelial growth factor expression following low - level erbium - doped: Yttrium, aluminum, and garnet laser irradiation: *In vitro* and *in vivo* studies[J]. *J Periodontol*, 2023. DOI:10.1002/JPER.23-0458.
- [28] 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.
- [29] Lin T, Yu CC, Liu CM, et al. Er: YAG laser promotes proliferation and wound healing capacity of human periodontal ligament fibroblasts through Galectin-7 induction[J]. *J Formos Med Assoc*, 2021, 120(1 Pt 2):388-394. DOI:10.1016/j.jfma.2020.06.005.
- [30] Liu J, Zhou Z, Zhang S. Effects of Er: YAG laser on the attachment of human periodontal ligament fibroblasts to denuded root surfaces simulating delayed replantation cases: An *in vitro* study[J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2020, 38(3):145-150. DOI:10.1089/photob.2019.4699.
- [31] Matos Fde S, Godolphim Fde J, Correia AM, et al. Effect of laser photobiomodulation on the periodontal repair process of replanted teeth[J]. *Dent Traumatol*, 2016, 32(5):402-408. DOI:10.1111/edt.12276.
- [32] Satish RL, Peter MR, Bhaskar A, et al. Comparative evaluation of fibrin network formation after root conditioning using erbium, chromium - doped yttrium scandium gallium and garnet laser, ethylene-diamine-tetra-acetic acid, and tetracycline on dentin: A scanning electron microscopic study[J]. *Contemp Clin Dent*, 2023, 14(1):72-78. DOI:10.4103/ccd.ccd_626_21.
- [33] Ng MY, Lin T, Chen SH, et al. Er: YAG laser suppresses pro-inflammatory cytokines expression and inflammasome in human periodontal ligament fibroblasts with Porphyromonas gingivalis - lipopolysaccharide stimulation[J]. *J Dent Sci*, 2024, 19(2):1135-1142. DOI:10.1016/j.jds.2023.12.011.
- [34] Wang G, Yuan L, Zhang L, et al. Effect of photobiomodulation on periodontal ligament cells under inflamed and nutrient - deficient conditions simulating damaged cells of avulsed teeth: An *in vitro* study[J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2021, 39(11):696-704. DOI:10.1089/photob.2021.0045.
- [35] Hanna R, Pawelczyk-Madalińska M, Sălăgean T, et al. A novel concept of combined high - level - laser treatment and transcutaneous photobiomodulation therapy utilisation in orthodontic periodontal interface management [J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(6):2263. DOI:10.3390/s22062263.
- [36] Zhang F, Li Q, Qin W, et al. A study of the biological effects of low-level light[J]. *Lasers Med Sci*, 2024, 39(1):74. DOI:10.1007/s10103-024-04018-x.
- [37] Pant V, Dixit J, Agrawal AK, et al. Behavior of human periodontal ligament cells on CO₂ laser irradiated dentinal root surfaces: An *in vitro* study[J]. *J Periodontal Res*, 2004, 39(6):373-379. DOI:10.1111/j.1600-0765.2004.00751.x.
- [38] Tunar OL, Gursoy H, Ozkan Karaca E, et al. A comparative evaluation of root surface biomodification with erbium - doped yttrium aluminum garnet laser, ethylenediaminetetraacetic acid gel, and titanium nitride curette: *In vitro* scanning electron microscope and profilometry analyses [J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2021, 39(12):766-773. DOI:10.1089/photob.2021.0037.
- [39] Leite FR, Sampaio JE, Zandim DL, et al. Influence of root - surface conditioning with acid and chelating agents on clot stabilization[J]. *Quintessence Int*, 2010, 41(4):341-349. DOI:10.1016/j.tripleo.2009.12.001.
- [40] Hamaoka L, Moura-Netto C, Marques MM, et al. Nd: YAG laser improves biocompatibility of human dental root surfaces [J]. *Photomed Laser Surg*, 2009, 27(5):715-720. DOI:10.1089/pho.2008.2288.
- [41] Görür I, Orhan K, Can-Karabulut DC, et al. Low-level laser therapy effects in traumatized permanent teeth with extrusive luxation in an orthodontic patient[J]. *Angle Orthod*, 2010, 80(5):968-974. DOI:10.2319/110109-612.1.
- [42] Lu CH, Lu HC, Ke JH, et al. Laser assisted tooth replantation case report [J]. *Laser Ther*, 2011, 20(4):273-277. DOI:10.5978/islm.11-or-04.
- [43] de Carvalho FB, Andrade AS, Barbosa AF, et al. Evaluation of laser phototherapy (λ 780 nm) after dental replantation in rats [J]. *Dent Traumatol*, 2016, 32(6):488-494. DOI:10.1111/edt.12289.
- [44] Saito CT, Gulinelli JL, Panzarini SR, et al. Effect of low-level laser therapy on the healing process after tooth replantation: A histomorphometrical and immunohistochemical analysis[J]. *Dent Traumatol*, 2011, 27(1):30-39. DOI:10.1111/j.1600-9657.2010.00946.x.

(收稿日期:2024-05-14)

(本文编辑:王嫚)