

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.11.011

· 综述 ·

光动力疗法应用于根管消毒的研究进展

李美美^{1,2}, 黄纹祺^{1,2}, 陈柯², 徐帅妹³, 熊华翠²

1. 暨南大学口腔医学院, 广东 广州(510632); 2. 南方医科大学口腔医院海珠广场院区儿童口腔科, 广东 广州(510120); 3. 南方医科大学口腔医院牙体牙髓科, 广东 广州(510280)

【摘要】 现阶段常规根管消毒未能达到最理想的效果, 近年来很多学者致力于研究光动力疗法对根管消毒的疗效。有一些临床医生在根管消毒中尝试使用光动力疗法, 期望得到比传统根管消毒更佳的效果。本文就光动力疗法运用于根管消毒的作用机制、作用效果及其影响因素、局限性等方面展开综述。目前的研究表明, 细菌种类和状态、光敏剂、光源、操作环境和方法的不同均会影响光动力疗法的根管消毒效果; 大部分研究认为光动力疗法用于根管消毒是有效的, 具有基本无毒性、无刺激性、有利于牙髓再生术和舒适化口腔治疗等优点, 但存在杀菌效果不如次氯酸钠的局限性, 目前不能代替传统的化学冲洗, 但是一种很有前途的辅助性补充方法; 光敏剂的配方设计、光源的能量剂量和照射的最佳时间等还需要进一步的研究, 在根管治疗中的应用也仍需更多的临床验证。

【关键词】 光动力疗法; 根管治疗; 根管消毒; 细菌; 化学冲洗; 光敏剂; 光源

【中图分类号】 R781.3 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2020)11-0739-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

【引用著录格式】 李美美, 黄纹祺, 陈柯, 等. 光动力疗法应用于根管消毒的研究进展[J]. 口腔疾病防治, 2020, 28(11): 739-743.

Advances in the application of photodynamic therapy to root canal disinfection LI Meimei^{1,2}, HUANG Wenqi^{1,2}, CHEN Ke², XU Shuaimei³, XIONG Huacui². 1. School of Stomatology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2. Department of Pediatric Dentistry, Haizhu branch, Stomatological Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510120, China; 3. Department of Dental Pulp, Stomatological Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510280, China

Corresponding author: CHEN Ke, Email: dentchenke@sohu.com, Tel: 86-20-83522124

【Abstract】 In recent years, many researchers have devoted themselves to the application of photodynamic therapy (PDT) in root canal disinfection, as conventional root canal disinfection methods have failed to achieve the optimal effect. Some clinicians have also applied PDT to root canal disinfection. PDT is expected to have a better effect than traditional root canal disinfection. This paper reviews the research progress on the mechanism, effect, influencing factors and limitations of PDT in root canal disinfection. Current research suggests that differences in the type and status of the bacteria, photosensitizers, light sources, operating environment and methods all affect the efficacy of root canal disinfection of PDT. Most of the research into PDT for root canal disinfection finds that it is effective, nontoxic, advantageous to dental pulp regeneration and comfortable for the patient, as well as lacking an excitant; however, its bactericidal effect is inferior to that of sodium hypochlorite. At present, it cannot replace traditional chemical washing but is a promising auxiliary method. The design of the photosensitizer, the energy dose of the light source and the optimal irradiation time need to be determined by further experiments, and more clinical verification is needed before its application in root canal therapy.

【Key words】 photodynamic therapy; root canal therapy; root canal disinfection; bacteria; chemical flushing; photosensitizers; light sources

J Prev Treat Stomatol Dis, 2020, 28(11): 739-743.

【收稿日期】 2019-11-22; **【修回日期】** 2020-06-06

【基金项目】 国家自然科学基金项目(81800957)

【作者简介】 李美美, 住院医师, 硕士, Email: limmei@sohu.com

【通信作者】 陈柯, 主任医师, 硕士, Email: dentchenke@sohu.com, Tel: 86-20-83522124

目前,仍有许多根管治疗病例因为微生物因素导致失败^[1]。次氯酸钠以其高效杀菌、溶解有机组织等突出性能,成为临床最常用的冲洗剂^[2]。次氯酸钠溶液的表面张力限制了药物在根管系统狭窄部位特别是牙本质小管内的扩散和清理能力^[3]。并且,次氯酸钠是有气味的腐蚀性液体,接触会导致软组织损伤甚至气道受损,有很强的细胞毒性^[4]。因此,有效的根管消毒仍是很多学者们研究的目标,光动力疗法(photodynamic therapy, PDT)是其中的方向之一。

PDT也被称为光活化消毒技术(photo-activated disinfection, PAD),光敏剂选择性聚集在病理组织中,受到特定波长的光线照射后处于激发状态,将电子、质子或者能量传递给邻近分子,反应产生以单线态氧为代表的一系列毒性活性产物,可以与细胞或微生物的磷脂、核酸和蛋白质等生物大分子反应,破坏生物膜结构或其他功能单位,使细胞或微生物死亡,从而达到治疗效果^[5]。

1 PDT的作用机制

光敏剂分子可在光激发后处于三重态,处于激发三重态的活化光敏剂可通过两种相互竞争的途径诱导相邻分子产生化学变化,称为I型和II型光化学反应。I型光化学反应是指电子(或质子)分别转移到氧或其他邻近分子上,形成一个自由基阴离子或阳离子。II型光化学反应是能量(而不是电子)向分子氧的转移,形成非常活泼的单线态氧。I型和II型光化学反应同时发生,II型光化学反应是大多数光敏剂杀菌的主要过程^[6]。大量研究表明,光源或光敏剂单独使用时对细菌或正常组织没有影响,只有光敏剂和光的结合才能对细菌产生影响^[7]。这是一种冷光化学反应,包含3个基本要素:光敏剂、光源和氧。

1.1 PDT的光敏剂

光敏剂是一种对光敏感但本身无害的药物,具有从光源吸收能量并将这种能量转移到另一个分子上的能力^[6]。光敏剂分子的结构特点使其更易聚集在生长旺盛的细胞中,微生物比正常体细胞对光敏剂亲和性更强,因此,PDT可选择性作用于感染的微生物^[8]。抗菌光敏剂主要分为:合成染料、四吡咯结构化合物、天然光敏剂和纳米结构光敏剂^[9]。理想的光敏剂的特点是:①优异的光物理性质:高三重激发态量子产率、高三重态能量和高的光稳定性;②目标组织的高选择性,具有可调节

的亲水亲脂性;③无暗毒性和致突变性,无副作用,PDT后迅速从体内清除;④合成工艺简单、价格低廉^[9]。

合成染料中应用于根管消毒的主要是吩噻嗪类化合物,如亚甲基蓝(methylene blue, MB)和甲苯胺蓝(toluidine blue O, TBO)^[10]。姜黄素是从姜黄根茎中提取的一种天然光敏剂,作为光敏剂具有很大的潜力,近年来也受到关注^[11]。目前很多学者研究改进光敏剂,期望将PDT与纳米技术结合、改良光敏剂配方等方法来提高光敏剂的对生物膜的渗透能力,提高杀菌效果^[12]。

1.2 PDT的光源

PDT光源的基本要求是它们的激发光波长和光敏剂的吸收光谱匹配,并在该波长产生足够的光强度,PDT才能达到最佳疗效^[6]。临床应用于PDT光源主要有:激光、卤素灯和发光二极管(light emitting diode, LED)。激光具有单色性和高效率的优点,但成本较高,半导体激光器价格较低且方便可靠,大多数研究使用半导体激光器^[10]。卤素灯通过光谱过滤来匹配光敏剂,但是有效输出效能较小,产热较多^[13]。近年来,非激光光源LED开始应用于PDT。LED具有简便易携、成本低廉、安全有效的特点,更有利于PDT的广泛开展^[14]。

1.3 PDT根管消毒的优点

PDT的优点:①操作简单方便,不依赖热效应,不会灼伤周围组织;②可以有效处理机械法难以到达的解剖区域(如侧枝根管、牙本质小管);③作用菌谱广;④能有效杀灭耐药菌,而且不会产生耐药性;⑤仅对病原微生物产生效应,对根尖周正常宿主细胞毒性较小;⑥作用时间短,见效快;⑦舒适、安全、无毒副作用^[15]。文献表明,根尖周炎的牙齿在常规PDT治疗后显示出微生物减少和更好的骨愈合^[16]。

2 影响PDT杀菌效果的因素

从细菌与光敏剂的相互作用来看,PDT的有效性主要与3个方面有关:①光敏剂与细菌膜的相互作用能力;②光敏剂在细菌内的渗透和作用能力;③光敏剂光照下细菌周围的活性单线态氧的形成^[15]。故细菌种类和状态、光敏剂、光源、操作环境和方法的不同,都会影响PDT的杀菌效果。

2.1 细菌的种类

PDT对抗生素敏感或耐药的微生物均有效^[17]。一般来说,与革兰氏阴性菌相比,PDT对革

兰氏阳性菌的杀菌效果更好。这种差异可通过其细胞壁的结构、光敏剂的疏水性和电荷效应来解释。革兰氏阳性菌细胞壁结构是较简单多孔的结构,由肽聚糖和磷壁酸形成,有较好的渗透性。革兰氏阴性菌的细胞壁更复杂,由脂多糖、磷脂等若干蛋白质形成,形成物理屏障和功能屏障。这一特性使得一般光敏剂更容易扩散到革兰氏阳性细菌中,从而起到更好的杀菌作用。革兰氏阳性菌由于细胞壁中氨基酸和糖的存在,亲水性成分容易穿透。革兰氏阴性细菌细胞壁呈现脂蛋白特性,疏水性组分比亲水性组分更容易穿透。因此亲水性光敏剂在革兰氏阳性菌中具有较高的渗透性,而疏水性染料在革兰氏阴性菌中具有更高的渗透性。中性或阴离子化合物如玫瑰红、赤藓红、曙红、卟啉衍生物等能有效结合和杀灭革兰氏阳性细菌,但在照射后不能有效灭活革兰氏阴性菌。带正电荷的染料可能与外膜的多磷酸盐结合,并对脂类和蛋白质产生分子损伤,或者直接损伤带负电荷的线粒体^[13]。因此对于革兰氏阳性菌,阳离子和阴离子染料都可使用,对于革兰氏阴性菌,阳离子染料更有效。MB和TBO是具有两亲性(疏水性和亲水性)的阳离子光敏剂,能够有效灭活革兰氏阳性和革兰氏阴性细菌。

2.2 细菌的状态

生物膜中的细菌被细菌外大分子包裹,对抗生素和宿主免疫防御机制的抗性很强。故微生物以生物膜形式存在时比浮游状态更难被PDT杀灭^[18]。感染根管内存在多物种生物膜,根管系统复杂,其消毒极具挑战性。光敏剂对生物膜的渗透性较低,使生物膜对PDT的敏感性降低。光敏剂配方的改进可以提高PDT对生物膜的抗菌效果^[12]。

2.3 光敏剂

光敏剂的种类、浓度、不同的配方设计均会影响对细菌的渗透、作用能力及光照射后活性单线态氧的形成量,从而影响PDT对根管消毒的效果。对比MB和TBO,吡啶菁绿、姜黄素介导的PDT对粪肠球菌的杀菌效果更好^[19]。Stojicic等^[18]实验显示,30 $\mu\text{mol/L}$ 的MB比150 $\mu\text{mol/L}$ 的PDT杀菌效果好。光敏剂增加碘化物^[20]、EDTA、柠檬酸、联合超声^[21]等对粪肠球菌的杀菌效果增强,这可能与光敏剂的渗透性增大、分解生物膜、去除玷污层等有关。目前,光敏剂的种类、浓度、配方的设计还未有统一的指南^[15]。

2.4 光源

光源的种类、能量剂量会影响光照射后活性单线态氧的形成量,从而影响PDT对根管消毒的效果。低强度光源的能量不能直接杀死细菌,但可以激活光敏剂产生毒性活性产物。当光源输出功率非常低时,光敏剂需要很长时间的激发。PDT杀菌效果随着光源能量密度的增加而增加,但产热随之增高,温度过高会导致根尖周组织的损伤。实验证明,功率为1 W的半导体激光工作30 s,髓腔内温度低于牙髓损伤的临界阈值5.5 $^{\circ}\text{C}$ ^[22]。有研究显示,低成本的LED能起到与半导体激光相似甚至更好的PDT杀菌效果^[14]。现研究应用于根管消毒的PDT光源输出功率为40~220 mw ^[10]。实验证明,在相同光敏剂的情况下随着激光能量剂量增加,杀菌效果增强^[23]。

2.5 PDT操作环境和方法

PDT的应用方法是在根管预备完成后,根管内注射光敏剂,光敏剂留在根管内预照射然后将光源放入根管中照射。预照射时间指光敏剂注入根管系统至开始光激活的时间间隔,使光敏剂与细菌充分接触、作用。预辐照时间为1~15 min ^[15]。牙本质、牙髓组织等会显著降低PDT的抗菌效果,这可能是因为这些物质抑制了光敏剂对细菌细胞的作用和降低单重态氧的半衰期^[24]。故PDT在作用于根管前,充分的机械预备和冲洗有利于发挥PDT杀菌效果。PDT冠方的杀菌能力高于根尖区,MB在冠方的穿透深度大于根尖区,这可能与牙本质小管的通畅程度有关^[25]。光的照射时间是PDT杀灭微生物的重要因素。实验证明,随着激光照射时间的增加,细菌死亡率增加^[18]。PDT使用或不使用光纤进入根管内均起到杀菌作用,这意味着光输送可能不会严重影响其抗菌作用^[26]。Garcez等^[27]建议在用于牙髓治疗时使用光纤,因为光纤可使光沿着根管的分布更加均匀,根尖附近可以得到更好的照射。PDT运用于根管消毒的光纤直径是200~1 000 μm ,照射时间是10~360 s ^[10]。超声激活光敏剂可使光敏剂渗透深度增大,使生物膜中的细菌分离成浮游细菌,加强PDT杀菌效果^[25]。

3 PDT的局限性

3.1 粘接

光敏剂是一种粘性物质,可形成化学玷污层,导致牙本质小管的闭塞,这可能导致填充材料与根管牙本质之间粘接强度降低^[28]。Souza等^[29]认

为使用 PDT 根管消毒后,再使用 17% EDTA 和 QMix 均可提高 PDT 治疗后根充填材料的粘接强度。Albino 等^[30]使用 0.01% MB 作为光敏剂, PDT 完成后用 AH-plus 糊剂辅助牙胶冷侧方加压充填,发现 PDT 不影响粘接强度,可用于根管的最终消毒。Menezes 等^[31]使用 15 $\mu\text{g/mL}$ MB 为光敏剂,发现 PDT 对 AH-plus 辅助牙胶冷侧方加压充填根管的黏附力和封闭性有影响。姜黄素作为光敏剂, PDT 通常导致机械性能的改善,并且不会改变玻璃纤维桩的粘接强度^[32]。

3.2 牙变色

当使用 MB 作为光敏剂时,牙变色可能是 PDT 用于根管治疗后的一种不良影响^[33]。比较 0.01% 的光敏剂 MB、TBO、孔雀绿对离体根管的影响,发现三者均可导致牙齿变色,MB 和 TBO 颜色变化较小^[34]。目前,还没有方法能完全去除由 MB 光敏剂引起的根管染色,相对于 17% EDTA 和生理盐水, 2.5% 次氯酸钠清除根管染色效果最好^[33]。

4 PDT 应用于根管消毒的杀菌效果

大量的粪肠球菌感染根管模型实验证明单独使用 PDT 可使粪肠球菌计数有效减少,但杀菌效果弱于次氯酸钠, PDT 联合次氯酸钠可提高抗菌效果^[15]。也有实验认为, PDT 可达到与次氯酸钠相当的杀菌效果,甚至超过次氯酸钠^[35]。有实验则认为, PDT 杀菌效果不明显,在传统化学机械的基础上增加 PDT 作为辅助,杀菌效果无明显改善^[36]。PDT 在体内的研究比较少。Okamoto 等^[37]在临床中对 5 例乳前牙进行传统根管治疗的基础上, PDT 辅助根管消毒,细菌总数减少了 75.87%,认为 PDT 是对儿童牙科传统根管治疗的一种可行的、非创伤性的补充。Asnaashari 等^[38]在 20 例根尖周炎病例中,证明 PDT 和氢氧化钙作为常规根管治疗的辅助方法均有效, PDT 组比氢氧化钙组的杀菌率更高。Borsatto 等^[39]在 60 例犬根尖周炎模型中证明,传统化学机械联合 PDT 一次性根管治疗与传统化学机械一次性根管治疗效果无差异,运用氢氧化钙进行两次根管治疗效果最佳。上述实验结果有时存在矛盾,原因可能是光敏剂、光源、实验方法等不同。

5 小结

PDT 在体外根管消毒实验中的有效性已被证实,虽然有研究认为 PDT 杀菌效果不如次氯酸钠,

但 PDT 对细胞基本无毒性、无刺激性,有利于牙髓再生术和舒适化口腔治疗。光敏剂配方设计、光源能量剂量和照射最佳时间等还需要进一步实验, PDT 在体内根管治疗中的应用也需更进一步研究。

参考文献

- [1] Prada I, Micó-Muñoz P, Giner-Lluesma T, et al. Influence of microbiology on endodontic failure. Literature review[J]. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 2019, 24(3): e364-e372.
- [2] Chubb DWR. A review of the prognostic value of irrigation on root canal treatment success[J]. *Aust Endod J*, 2019, 45(1): 5-11.
- [3] Giardino L, Cavani F, Generali L. Sodium hypochlorite solution penetration into human dentine: a histochemical evaluation[J]. *Int Endod J*, 2017, 50(5): 492-498.
- [4] Guivarc'h M, Ordioni U, Ahmed HM, et al. Sodium hypochlorite accident: a systematic review[J]. *J Endod*, 2017, 43(1): 16-24.
- [5] Kwiatkowski S, Knap B, Przystupski D, et al. Photodynamic therapy - mechanisms, photosensitizers and combinations[J]. *Biomed Pharmacother*, 2018, 106: 1098-1107.
- [6] Plaetzer K, Krammer B, Berlanda J, et al. Photophysics and photochemistry of photodynamic therapy: fundamental aspects[J]. *Lasers Med Sci*, 2009, 24(2): 259-268.
- [7] Briggs T, Blunn G, Hislop S, et al. Antimicrobial photodynamic therapy-a promising treatment for prosthetic joint infections[J]. *Lasers Med Sci*, 2018, 33(3): 523-532.
- [8] Miyata S, Miyaji H, Kawasaki H, et al. Antimicrobial photodynamic activity and cytocompatibility of Au(25)(Capt)(18) clusters photoexcited by blue LED light irradiation[J]. *Int J Nanomedicine*, 2017, 12: 2703-2716.
- [9] Ghorbani J, Rahban D, Aghamiri S, et al. Photosensitizers in antibacterial photodynamic therapy: an overview[J]. *Laser Ther*, 2018, 27(4): 293-302.
- [10] Pourhajibagher M, Bahador A. Adjunctive antimicrobial photodynamic therapy to conventional chemo-mechanical debridement of infected root canal systems: a systematic review and meta-analysis [J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2019, 26: 19-26.
- [11] Santezi C, Reina BD, Dovigo LN. Curcumin - mediated photodynamic therapy for the treatment of oral infections-A review[J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2018, 21: 409-415.
- [12] Dong X, Bond AE, Pan N, et al. Synergistic photoactivated antimicrobial effects of Carbon dots combined with dye photosensitizers [J]. *Int J Nanomedicine*, 2018, 13: 8025-8035.
- [13] Nagata JY, Hioka N, Kimura E, et al. Antibacterial photodynamic therapy for dental caries: evaluation of the photosensitizers used and light source properties[J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2012, 9(2): 122-131.
- [14] Asnaashari M, Mojahedi SM, Asadi Z, et al. A comparison of the antibacterial activity of the two methods of photodynamic therapy (using diode laser 810 nm and LED lamp 630 nm) against *Enterococcus faecalis* in extracted human anterior teeth[J]. *Photodiagno-*

- sis Photodyn Ther, 2016, 13: 233-237.
- [15] Plotino G, Grande NM, Mercade M. Photodynamic therapy in endodontics[J]. Int Endod J, 2019, 52(6): 760-774.
- [16] De Miranda RG, Colombo AP. Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial[J]. Clin Oral Investig, 2018, 22(4): 1751-1761.
- [17] Vimaladevi M, Divya KC, Girigoswami A. Liposomal nanoformulations of rhodamine for targeted photodynamic inactivation of multi-drug resistant gram negative bacteria in sewage treatment plant[J]. J Photochem Photobiol B, 2016, 162: 146-152.
- [18] Stojicic S, Amorim H, Shen Y, et al. Ex vivo killing of *Enterococcus faecalis* and mixed plaque bacteria in planktonic and biofilm culture by modified photoactivated disinfection[J]. Int Endod J, 2013, 46(7): 649-659.
- [19] 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.
- [20] Vieira C, Gomes ATPC, Mesquita MQ, et al. An insight into the potentiation effect of Potassium iodide on aPDT efficacy[J]. Front Microbiol, 2018, 9: 2665.
- [21] Tennert C, Drews AM, Walther V, et al. Ultrasonic activation and chemical modification of photosensitizers enhances the effects of photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* root-canal isolates[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2015, 12(2): 244-251.
- [22] Mirzaie M, Yassini E, Ashnagar S, et al. Evaluation of temperature change during antimicrobial photodynamic therapy with two different photosensitizers in dental caries[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2016, 14: 115-118.
- [23] Soares JA, Soares SMCS, de Jesus Tavares RR, et al. Exploring different photodynamic therapy parameters to optimize elimination of *Enterococcus faecalis* in planktonic form[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2018, 22: 127-131.
- [24] Shrestha A, Kishen A. The effect of tissue inhibitors on the antibacterial activity of chitosan nanoparticles and photodynamic therapy[J]. J Endod, 2012, 38(9): 1275-1278.
- [25] Niavarzi S, Pourhajibagher M, Khedmat S, et al. Effect of ultrasonic activation on the efficacy of antimicrobial photodynamic therapy: evaluation of penetration depth of photosensitizer and elimination of *Enterococcus faecalis* biofilms[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2019, 27: 362-366.
- [26] Rödiger T, Endres S, Konietschke F, et al. Effect of fiber insertion depth on antibacterial efficacy of photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* in rootcanals[J]. Clin Oral Investig, 2017, 21(5): 1753-1759.
- [27] Garcez AS, Fregnani ER, Rodriguez HM, et al. The use of optical fiber in endodontic photodynamic therapy. Is it really relevant?[J]. Lasers Med Sci, 2013, 28(1): 79-85.
- [28] Souza MA, Pazinato B, Bischoff KF, et al. Influence of ultrasonic activation over final irrigants in the removal of photosensitizer from root canal walls after photodynamic therapy[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2017, 17: 216-220.
- [29] Souza MA, Padilha Rauber MG, Zuchi N, et al. Influence of final irrigation protocols and endodontic sealer on bond strength of root filling material with root dentin previously treated with photodynamic therapy[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2019, 26: 137-141.
- [30] Albino Souza M, Dalla Lana D, Gabrielli E, et al. Effectiveness of final decontamination protocols against *Enterococcus faecalis* and its influence on bond strength of filling material to root canal dentin[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2017, 17: 92-97.
- [31] Menezes M, Prado M, Gomes B, et al. Effect of photodynamic therapy and non-thermal plasma on root canal filling: analysis of adhesion and sealer penetration[J]. J Appl Oral Sci, 2017, 25(4): 396-403.
- [32] Strazzi Sahyon HB, Silva PPD, Oliveira MS, et al. Influence of curcumin photosensitizer in photodynamic therapy on the mechanical properties and push-out bond strength of glass-fiber posts to intraradicular dentin[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2019, 25: 376-381.
- [33] Ramalho KM, Cunha SR, Mayer-Santos E, et al. *In vitro* evaluation of methylene blue removal from root canal after photodynamic therapy[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2017, 20: 248-252.
- [34] Costa LM, Matos Fde S, Correia AM, et al. Tooth color change caused by photosensitizers after photodynamic therapy: an *in vitro* study[J]. J Photochem Photobiol B, 2016, 160: 225-228.
- [35] Neelakantan P, Cheng CQ, Ravichandran V, et al. Photoactivation of curcumin and Sodium hypochlorite to enhance antibiofilm efficacy in root canal dentin[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2015, 12(1): 108-114.
- [36] Rödiger T, Endres S, Konietschke F, et al. Comparison of final disinfection protocols using antimicrobial photodynamic therapy and different irrigants after single-file reciprocating instrumentation against intracanal bacterial biofilm - an *in vitro* study[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2018, 24: 153-157.
- [37] Okamoto CB, Motta LJ, Prates RA, et al. Antimicrobial photodynamic therapy as a co-adjuvant in endodontic treatment of deciduous teeth: case series[J]. Photochem Photobiol, 2018, 94(4): 760-764.
- [38] Asnaashari M, Ashraf H, Rahmati A, et al. A comparison between effect of photodynamic therapy by LED and Calcium hydroxide therapy for root canal disinfection against *Enterococcus faecalis*: a randomized controlled trial[J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2017, 17: 226-232.
- [39] Borsatto MC, Correa-Afonso AM, Lucisano MP, et al. One-session root canal treatment with antimicrobial photodynamic therapy (aPDT): an *in vivo* study[J]. Int Endod J, 2016, 49(6): 511-518.

(编辑 罗燕鸿)



官网



公众号