

DOI:10.12138/j.issn.1671-9638.20252135

· 综述 ·

根管冲洗与消毒方法对难治性根尖周炎粪肠球菌感染控制研究进展

杨文静^{1,2},格根塔娜^{1,2}

(1. 内蒙古医科大学附属医院口腔科,内蒙古 呼和浩特 010050; 2. 内蒙古医科大学口腔医学院,内蒙古 呼和浩特 010059)

[摘要] 在难治性根尖周炎中,粪肠球菌检出率最高,其生物膜与疾病发生发展密切相关。因此,控制根管内粪肠球菌感染是疾病治疗的关键。常用的根管冲洗与消毒方法包括次氯酸钠、氢氧化钙等药物消毒和超声荡洗消毒。目前,新型药物开发、光动力疗法等技术逐渐应用于临床,并展示出良好前景。因此,本文综述近年国内外控制难治性根尖周炎根管内粪肠球菌感染的冲洗与消毒方法,包括传统方式、新型技术及其联合应用,以期为临床感染控制提供参考。

[关键词] 粪肠球菌; 难治性根尖周炎; 持续性根尖周炎; 根管冲洗与消毒方法; 根管治疗; 感染控制

[中图分类号] R781.3

Advances in the control of *Enterococcus faecalis* infection in refractory apical periodontitis by root canal irrigation and disinfection methods

YANG Wenjing^{1,2}, GE Gentana^{1,2} (1. Department of Stomatology, The Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010050, China; 2. School of Stomatology, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, China)

[Abstract] In refractory apical periodontitis, *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) is most frequently detected, its biofilm is closely related to disease progression. Therefore, controlling *E. faecalis* infection in root canals is crucial for treatment success. The commonly used irrigation and disinfection methods for root canal include agent disinfection such as sodium hypochlorite and calcium hydroxide, as well as ultrasonic irrigation disinfection. At present, technologies such as development of new agents and photodynamic therapy are gradually applied in clinical practice and show promising prospects. This paper reviews the recent irrigation and disinfection methods for controlling *E. faecalis* root canals infection of refractory apical periodontitis both domestically and internationally, including traditional methods, new technologies, and their combined applications, aiming to provide reference for clinical infection control.

[Key words] *Enterococcus faecalis*; refractory apical periodontitis; persistent apical periodontitis; root canal irrigation and disinfection method; root canal treatment; infection control

根管治疗是治疗牙髓根尖周病的有效疗法。由于根管结构复杂且易受多种微生物感染,经多次根管治疗后根尖周病变迁延不愈,即为难治性根尖周炎^[1],现已成为牙体牙髓病学的常见问题。

微生物感染为难治性根尖周炎的始动因子。检测再次感染的根管根尖段的微生物群落发现,粪肠

球菌占 99.6%,其次为放线菌属(占 54.1%)、链球菌属(占 44.7%)^[2]。因此,控制粪肠球菌感染是治疗难治性根尖周炎的关键。常用的根管冲洗与消毒方法包括次氯酸钠(NaClO)、氢氧化钙等药物消毒和超声荡洗消毒。随着新型药物开发与光动力疗法等新技术的应用,传统方式与新技术联用展现出显

[收稿日期] 2025-02-20

[作者简介] 杨文静(1999-),女(汉族),内蒙古赤峰市人,硕士研究生在读,主要从事牙体牙髓病及根管治疗感染控制的相关研究。

[通信作者] 格根塔娜 E-mail: endotana@163.com

著优势。

然而,目前缺乏聚焦于难治性根尖周炎中粪肠球菌感染控制方式的综合分析,故本文就粪肠球菌感染的难治性根尖周炎根管冲洗与消毒方式的作用机制、最佳浓度、优势、局限性及临床建议进行论述,以期为临床感染控制提供参考。

1 粪肠球菌结构及作用机制

粪肠球菌(*Enterococcus faecalis*, *E. faecalis*)为革兰阳性兼性厌氧菌,是口腔及肠道的条件致病菌。粪肠球菌的细胞壁表面存在大量脂磷壁酸和壁磷壁酸,参与细菌黏附宿主细胞及免疫逃逸;细胞膜表面存在多种转运蛋白和外排泵,可主动排出抗菌药物,增强耐药性;细胞质中常携带耐药基因和毒力因子基因^[3]。

粪肠球菌生长过程分为对数期、稳定期、饥饿期三个阶段。在对数期,细菌会侵入牙本质小管,并分泌明胶酶、溶细胞素等多种毒力因子。稳定期,细菌会形成抵抗生物免疫和抗菌药物的生物膜。饥饿期,其耐药性和致病性达到最强^[4]。粪肠球菌与口腔内其他条件致病菌(如白念珠菌、放线菌属等)相互作用,在侵入组织时形成更坚固的生物膜,临床预后差^[5]。

根管机械预备与化学冲洗消毒是清除粪肠球菌的主要手段,因根管系统结构复杂,仅依靠机械预备难以彻底清除粪肠球菌,常需化学冲洗作为辅助手段控制感染。

2 传统根管冲洗与消毒方式对粪肠球菌的感染控制

2.1 NaClO NaClO 是根管治疗中常用的冲洗消毒剂。根据不同感染阶段,推荐使用不同浓度:初始感染时可用 0.5%~1% NaClO,生物膜形成后建议提高至 2.5%。NaClO 作用机制为在酸性环境中生成次氯酸,并分解出具有强氧化性的新生态氧,破坏粪肠球菌细胞膜氧化磷酸化及 DNA 合成,实现杀菌作用。

NaClO 的抗菌效果与其浓度成正比。Gomes 等^[6]发现,随着浓度增加,NaClO 抑菌能力加强。王珊珊等^[7]使用不同浓度 NaClO 溶液分别作用于三个时期的粪肠球菌生物膜表面,发现初始感染时 1% 的 NaClO 清除率达 90% 以上;形成生物膜后耐药性最强,需要高浓度 NaClO 进行消毒,2.5% 及 5.25%

对细菌清除率基本相同。NaClO 的抗菌效果与温度有关,当 NaClO 溶液处于 37°C 以上时,杀菌效果显著增强^[8]。然而,随着 NaClO 浓度增高,其细胞毒性和组织腐蚀性增加,导致根尖周组织化学烧伤和坏死,牙本质变脆^[9]。此外,NaClO 不慎溢出患牙时,还可能引起组织过敏、灼伤甚至坏死^[10]。

因此,为平衡杀菌效果与安全性,建议选择浓度为 2.5% 的 NaClO 溶液,既能清除粪肠球菌生物膜,又能降低细胞毒性。临床操作时可配合超声活化,并使用侧方冲洗针头冲洗及橡皮障隔离以降低风险。

2.2 乙二胺四乙酸(EDTA) EDTA 是一种辅助根管消毒的无机溶剂,临床常见浓度为 17%。EDTA 与粪肠球菌生物膜和玷污层中的钙、镁等金属离子发生螯合作用,使粪肠球菌暴露,增强抗菌效果,并通过脱矿扩大牙本质小管,提高抗菌药物渗透性^[11]。

EDTA 用于根管封药一般以 10~20 d 为宜,马立亚等^[12]研究发现,EDTA 封药超过 30 d 会导致根管壁硬度显著下降。EDTA 与根管内及周围组织有较好的相容性,不良反应发生率低,还能起到润滑根管的作用。通常,EDTA 与 NaClO 联用,配合超声荡洗可进一步促进生长因子活化,提高治疗质量。然而,EDTA 本身并无杀菌作用,还会导致 NaClO 组织溶解性降低,并与氯己定混合产生白色雾状沉淀^[8],且 EDTA 停留时间 >3 min 时会导致牙本质硬度显著降低^[13]。因此,推荐 17% EDTA 与 NaClO 联用,但不可与 NaClO 及氯己定混合应用,也不可作为终末冲洗,需严格控制使用时间,避免降低根管壁抗折性能。

2.3 氯己定 氯己定溶液用于根管内冲洗,凝胶状态用于根管封药,临床常见浓度为 0.2%~2%。氯己定作为阳离子表面活性剂,具有广谱抗菌、低毒、持效长的特点,通过静电作用破坏细菌细胞膜,干扰其代谢,还能长期附着根管壁,持续抗菌长达 12 周^[14]。

氯己定浓度需严格控制。Bayatipour 等^[15]发现,当氯己定达到有效浓度时,可完全抑制生物膜生长,但浓度低于最低抑菌浓度时,则可能导致生物膜显著增加。

氯己定凝胶是一种活性载体,可与氢氧化钙联用封药,建立物理化学双重屏障,增强抗菌效果。研究^[16]证实,2% 的氯己定凝胶和氢氧化钙联用可提高消毒效果,促进根尖周组织愈合,减轻疼痛。然而,氯己定对粪肠球菌反复消毒易导致细菌

耐药^[17];其仅能降低粪肠球菌的数量,不具有溶解坏死组织及去除玷污层的能力;与 NaClO 混合产生橘红色沉淀(氯苯胺),导致牙齿变色和牙本质小管堵塞^[18]。

因此,使用氯己定需严格控制浓度(0.2%~2%),推荐与氢氧化钙联合封药,避免反复消毒或单独应用。与 NaClO 联用需间隙冲洗,以防两者混合造成牙齿变色及牙本质小管堵塞等并发症。

2.4 氢氧化钙 氢氧化钙是一种常用的封药消毒剂,具有抗菌、诱导硬组织再生和缓解炎症等多重作用。氢氧化钙能破坏粪肠球菌的 DNA 和蛋白质结构;其强碱环境可促进非活化转化生长因子-β1 分泌,刺激根尖干细胞增殖和矿化组织形成^[19]。

氢氧化钙抗菌谱广,对多种根管细菌的混合感染有持续抑制作用;微溶于水,药效持久,可减少换药次数^[20];在低浓度下诱导根尖周干细胞存活^[21];强碱环境可中和炎性物质,减轻疼痛^[22]。然而,氢氧化钙易被炎性组织吸收,形成不规则钙化并诱发根折,且不易彻底清除,影响根管充填后的封闭性。

氢氧化钙适用于常规封药,起到长效的抗菌效果,减轻患者炎性疼痛,诱导根尖周硬组织形成。但其清除困难,需配合注射器冲洗及超声荡洗^[23]。

2.5 超声荡洗消毒 超声荡洗利用超声波的空穴效应、声流效应和热效应冲洗根管,是国际公认的根管最佳物理清洁方法之一,与 NaClO 联用效果更为明显、安全和可靠。

超声荡洗使冲洗剂循环,减少冲洗剂、感染物质及牙本质碎屑超出根尖孔,减轻由此引起的疼痛和肿胀。与 NaClO 及 EDTA 联用能激活 NaClO,避免 EDTA 长时间接触牙本质壁导致严重脱矿。然而,当超声工作尖接触根管壁时移动受限,可能不受控制地去除牙本质,削弱牙根抗力甚至产生新的玷污层^[24]。故应用超声荡洗时,可与 NaClO 等冲洗剂联用,提高根管冲洗消毒的质量。但根管内需间断操作,避免连续超声振动导致局部温度过高或牙本质微裂,操作中避免接触根管壁,保持距离根尖 1~2 mm。

3 新型根管冲洗及消毒方式对粪肠球菌的感染控制

3.1 新型药物冲洗及消毒

3.1.1 三联抗生素糊剂(triple antibiotic paste, TAP)和二联抗生素糊剂(double antibiotic paste, DAP)中,TAP 由环丙沙星、甲硝唑、米诺环素组成,

而 DAP 仅含环丙沙星和甲硝唑。封药消毒推荐使用浓度为 0.1%。TAP 易导致牙体变色,可能是因为其中的米诺环素与牙齿硬组织中的钙螯合,形成稳固的四环素钙正磷酸盐复合物沉积于牙本质中,从而引起牙体变色^[25]。此外,TAP 还存在降低牙本质硬度、清除困难、可产生耐药性、药物过敏、抗菌效果有限等并发症^[26]。

与 TAP 相比,DAP 使牙齿变色的可能性较小,并具有优于氢氧化钙的抗菌特性。然而,DAP 细胞毒性与浓度正相关。研究^[27]表明,0.1%、0.5%、1.0% 的 DAP 均可对粪肠球菌产生显著抗菌作用,但浓度为 0.1% 时不影响组织再生。

因此,美学敏感区推荐使用 DAP;应用时按需由低到高选取浓度,以减少细胞毒性;封药后彻底冲洗,避免药物残留。

3.1.2 纳米银溶液 纳米银溶液用于根管内冲洗消毒及封药,浓度 0.1% 即可有效抑制浮游态和生物膜态粪肠球菌。其作用机制为:纯银纳米粒子通过改变细胞膜通透性,损伤细菌的呼吸链和 ATP 转化,产生的活性氧抑制蛋白质功能并破坏 DNA,最终导致细菌死亡。

纳米银溶液杀菌作用强,封药后易清理。张富华等^[28]发现,纳米银对多菌种生物膜中的粪肠球菌有较强的杀菌作用。姚丽萍等^[29]研究表明,0.1% 纳米银溶液不仅能够达到根管内消毒的作用,且作为液体,去除较容易,避免了氢氧化钙封药后难以清除的缺点。纳米银溶液具有广谱抗菌活性,直径较小,杀菌作用较强^[28]。由于其纳米尺度可深入到复杂的根管系统和牙本质小管中,增强了根管冲洗剂和封闭剂的抗菌性能。纳米银溶液能同时作用于细菌的多个靶标从而减少耐药^[30]。

然而,纳米银溶液细胞毒性与浓度正相关,过量会导致银纳米粒子在肝脏、脾脏及脑等器官中蓄积,破坏线粒体功能,清除通常需 8 周^[31]。

因此,使用纳米银溶液封药后较易彻底清理,浓度 0.1% 可减少细胞毒性,避免药物蓄积损伤器官。

3.1.3 QMix QMix 为复合根管冲洗剂,简化了传统多步骤交替冲洗过程。QMix 由氯己定-EDTA-西曲氯铵组成,氯己定与 EDTA 协同具有较强的抗菌活性,西曲氯铵帮助氯己定渗透牙本质小管,持续杀菌达 12 h,同时减少 EDTA 引起的脱矿。

QMix 结合氯己定与 EDTA 杀菌能力强、抗菌作用久、细胞毒性低、生物相容性好。Mirza 等^[32]发现,QMix 可以作为传统冲洗剂的替代品或辅助剂,

具有降低细胞毒性和增强抗菌功效等优点。但目前关于 QMix 长期临床效果的研究相对较少,仍处于基础试验阶段,需进一步临床试验。

3.1.4 MTAD MTAD 是复合根管冲洗剂,可实现一步法终末冲洗,与 NaClO 联用对粪肠球菌感染根管尤其适用。MTAD 由多西环素 - 枸橼酸 - 聚山梨醇酯组成。多西环素可干扰粪肠球菌的蛋白质合成,进而抑制其生长繁殖,枸橼酸为整合剂,聚山梨醇酯可降低溶液张力增强渗透,提高清洁效率,扩大清洁范围。

MTAD 较 NaClO 等传统冲洗液消毒效果更佳、细胞毒性更弱。Sonisha 等^[33]体外研究洗必泰、MTAD 和壳聚糖对根管内粪肠球菌的残留吸附性,发现 MTAD 效果最好。MTAD 与 NaClO 联用也可提高溶液抗菌性,有效抑制粪肠球菌感染。但 MTAD 对细菌生物膜的溶解作用较差,多西环素还可能引起牙齿变色。目前 MTAD 的临床应用较少,仍需大量体外试验及临床研究证实其作用。

3.2 新型技术辅助冲洗及消毒

3.2.1 激光治疗 激光治疗有利于临床中复杂根管及难治性根尖周炎的治疗,其工作端可顺应根管方向弯曲,以进入根管深部直至根尖。常用的激光类型包括 Er:YAG、Nd:YAG、Cr:YSGG 及半导体激光等^[25]。激光的光热效应产生高温,光化学效应产生活性氧如羟基自由基,光机械效应导致水蒸气产生小爆炸,以清除根管内生物膜及细菌^[34]。

与其他高功率激光器械相比,Nd:YAG 激光减轻疼痛更佳,Nammour 等^[35]发现,使用 Nd:YAG 激光堵塞牙本质小管可以止痛,适用于根尖周炎患者。激光的光热效应将牙本质碎屑和残留牙髓气化后熔融并再结晶,形成严密的牙本质小管封闭,阻断机械难以到达的侧支根管逆行性感染。但激光器要求严格规范操作,尽量减少激光对周围组织的灼烧。此外,如何区分不同种类激光的适用范围,规范激光治疗参数,仍有待进一步研究。

3.2.2 光动力疗法(photodynamic therapy, PDT) PDT 通过结合光敏剂(如甲苯胺蓝、亚甲蓝、吲哚菁绿等)、特定波长的激光和分子氧产生活性氧物质,破坏细菌细胞膜与细菌内生物大分子的相互作用实现杀菌。PDT 的多靶点抗菌可减少耐药,低毒微创

可提高临床治疗的精确性和安全性^[36]。Li 等^[37]研究 PDT 治疗粪肠球菌的体外抗菌作用发现,NaClO 与 PDT 联用效果优于单独使用 PDT 治疗。但 PDT 可引起周围组织无特异性热损伤,应用时应选取适宜参数,根管中氧气含量低也可能影响疗效。PDT 用于根管内消毒多为体外研究,仍需临床实践。

3.2.3 光热治疗(photothermal therapy, PTT) PTT 利用光热材料(如金或银纳米颗粒、氧化石墨烯、吲哚菁绿等)将光能转化为热能,对感染根管进行局部加热以控制粪肠球菌,对根尖周组织损伤较小,适用于难治性根尖周炎。与激光治疗及 PDT 不同,PTT 依赖于材料的光热转换效率,而激光治疗利用激光特性,PDT 则是通过光照激活光敏剂产生活性氧。

PTT 的热量能抑制粪肠球菌生物膜,促进干细胞成骨分化,抑制巨噬细胞破骨分化,调节骨代谢恢复平衡,促进根尖周骨组织修复,与 NaClO 联合使用增强冲洗效果^[10]。但其产生的热量可能损伤周围组织,故根管消毒时温度不宜过高,需精确控制温度和时间(5~10 min)以确保安全。

4 不同方式联合应用对粪肠球菌的感染控制

目前增强根管冲洗与消毒效率的思路有三种:(1)新型根管冲洗与消毒剂替代传统根管冲洗与消毒剂;(2)开发新型根管消毒方法;(3)联用临床常用药物及新型根管冲洗与消毒技术。见表 1。

联合方案中,NaClO 与 PDT 联合效果最佳。郭志华^[38]通过网状 Meta 分析发现,与传统注射器冲洗相比,联合 NaClO 辅助冲洗更显著地减少粪肠球菌数量,其中 PDT 辅助 NaClO 冲洗效果最佳。Pourhajibagher 等^[39]通过比较 PDT 和传统根管冲洗与消毒方法发现,PDT 在消除粪肠球菌方面潜力巨大,几乎等同于 NaClO 和氯己定,可作为传统冲洗的辅助手段。Asnaashari 等^[40]通过体外试验评估 NaClO 联合两种不同的 PDT 方案对粪肠球菌的抗菌效果,发现吲哚菁绿介导的 PDT 可提高 NaClO 的抗菌效果。

表 1 不同根管冲洗与消毒方法联合应用清除粪肠球菌效果汇总

作者	年份(年)	国家	研究类型	研究分组	结论
Dixit 等 ^[41]	2024	印度	RCT	组 1: 氢氧化钙; 组 2: TAP; 组 3: 益生菌; 均 n = 10	TAP 与益生菌抗菌功效相当, 均大于氢氧化钙糊剂
Zeng 等 ^[42]	2024	中国	RCT	组 1: 2% NaClO; 组 2: 超声 + 2% NaClO; 均 n = 8	超声激活 NaClO 可显著减少细菌
Rajan 等 ^[43]	2023	澳大利亚	RCT	组 1: 4% NaClO; 组 2: PDT; 均 n = 3	4% NaClO 和 PDT 联用为金标准
Asnaashari 等 ^[40]	2023	伊朗	RCT	组 1: 2.5% NaClO; 组 2: 2.5% NaClO + PDT-甲苯胺蓝; 组 3: 2.5% NaClO + PDT-吲哚菁绿; 均 n = 15	吲哚菁绿作为光敏剂的 PDT 能显著提高 NaClO 对粪肠球菌的抗菌作用
Moradi 等 ^[44]	2022	伊朗	RCT	组 1: 5.25% NaClO; 组 2: PDT; 均 n = 3	PDT 可作为常规根管消毒的辅助手段
Yamamoto 等 ^[45]	2021	巴西	RCT	组 1: 2.5% NaClO; 组 2: PDT-吲哚菁绿; 组 3: PDT-吲哚菁绿 + 半导体激光消融; 均 n = 7	PDT-吲哚菁绿结合半导体激光消融, 有效减少粪肠球菌生物膜
Olivi 等 ^[46]	2021	意大利	RCT	组 1: 5% NaClO; 组 2: 5% NaClO + EDTA + 激光活化; 组 3: PDT-甲苯胺蓝 + 激光激活; 均 n = 3	不同方式进行激光活化均可提高粪肠球菌清除率
Mozayeni 等 ^[47]	2020	伊朗	RCT	组 1: 2.5% NaClO; 组 2: 2.5% NaClO + PDT-甲苯胺蓝; 组 3: 2.5% NaClO + PDT-亚甲蓝; 组 4: 2.5% NaClO + PDT-姜黄素; 均 n = 8	PDT-甲苯胺蓝通过发光二极管与 NaClO 冲洗结合, 提高对粪肠球菌的抗菌功效
Aydin 等 ^[48]	2020	土耳其	RCT	组 1: 2.5% NaClO; 组 2: PDT-甲苯胺蓝; 组 3: 纳米银溶液; 组 4: PDT-甲苯胺蓝 + 纳米银溶液; 均 n = 10	NaClO 对粪肠球菌的清除率最高; 甲苯胺蓝结合纳米银溶液的光活化可增强 PDT 的作用效果
Asnaashari 等 ^[49]	2020	伊朗	RCT	组 1: 2.5% NaClO; 组 2: PDT; 组 3: 2.5% NaClO + PDT; 均 n = 14	PDT 与 NaClO 结合可改善根管消毒效果

注: RCT 表示临床对照试验。

5 总结与展望

粪肠球菌的感染控制是影响根管治疗疗效的关键因素。目前 NaClO、EDTA 和氢氧化钙等药物结合激光治疗、PDT 及 PTT 等技术, 可有效提高根管消毒效果。未来研究应进一步探索这些方法的最佳组合与应用时机, 以期更高效彻底地控制粪肠球菌感染。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] Khuda F, Jayusman PA, Baharin B, et al. Oral inoculation of *Enterococcus faecalis*, DNA quantification and histopathological evaluation of gingival, heart and kidney tissue samples in rats[J]. Iran J Microbiol, 2024, 16(3): 337–341.
- [2] 胡涛, 雷蕾, 周学东. 顽固感染根管内粪肠球菌的致病机制及其控制方法进展[J]. 中华口腔医学杂志, 2022, 57(1): 10–15.
- Hu T, Lei L, Zhou XD. Research progress in pathogenesis and control of *Enterococcus faecalis* with persistent infection in root canals[J]. Chinese Journal of Stomatology, 2022, 57(1): 10–15.
- [3] Siqueira JF Jr, Antunes HS, Pérez AR, et al. The apical root canal system of teeth with posttreatment apical periodontitis: correlating microbiologic, tomographic, and histopathologic findings[J]. J Endod, 2020, 46(9): 1195–1203.
- [4] Portenier I, Waltimo T, Ørstavik D, et al. The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments[J]. J Endod, 2005, 31(5): 380–386.
- [5] Hahn CL, Hanford K. An *in vitro* model to study the colonization and tubular invasion of *Enterococcus faecalis* [J]. J Endod, 2021, 47(3): 451–457.
- [6] Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, et al. *In vitro* antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*[J]. Int Endod J, 2001, 34(6): 424–428.
- [7] 王珊珊, 董明, 王丽娜, 等. 次氯酸钠溶液对不同时期粪肠球菌生物膜的药物作用[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(52): 8509–8514.
- Wang SS, Dong M, Wang LN, et al. Antibacterial effect of sodium hypochlorite on *in vitro* biofilm formation of *Enterococcus faecalis* in different phases[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2014, 18(52): 8509–8514.
- [8] 梁宇红, 岳林. 根管治疗技术之根管的化学预备和消毒[J]. 中华口腔医学杂志, 2019(11): 788–792.
- Liang YH, Yue L. Root canal treatment: key steps in root canal irrigation and medicaments[J]. Chinese Journal of Stomatology, 2019(11): 788–792.

- [9] Coaguila-Llerena H, Denegri-Hacking A, Lucano-Tinoco L, et al. Accidental extrusion of sodium hypochlorite in a patient taking alendronate: a case report with an 8-year follow-up[J]. *J Endod*, 2021, 47(12): 1947–1952.
- [10] 赖思锐, 李博磊, 程磊. 光热治疗辅助根管冲洗治疗根尖周炎的研究进展[J]. 国际口腔医学杂志, 2024, 51(5): 565–571.
- Lai SY, Li BL, Cheng L. Research progress on photothermal therapy-assisted root canal irrigation in the treatment of apical periodontitis[J]. *International Journal of Stomatology*, 2024, 51(5): 565–571.
- [11] Fahim SZ, Ghali RM, Hashem AA, et al. The efficacy of 2780 nm Er, Cr; YSGG and 940 nm diode laser in root canal disinfection: a randomized clinical trial[J]. *Clin Oral Investig*, 2024, 28(3): 175.
- [12] 马立亚, 马秀云, 冯子英, 等. EDTA 不同作用时间对根管壁显微硬度的影响[J]. 临床合理用药杂志, 2015, 8(17): 111–111.
- Ma LY, Ma XY, Feng ZY, et al. Effects of various application times of EDTA on the microhardness of root canal walls [J]. *Chinese Journal of Clinical Rational Drug Use*, 2015, 8(17): 111–111.
- [13] Pinheiro ET, Karygianni L, Attin T, et al. Antibacterial effect of sodium hypochlorite and EDTA in combination with high-purity nisin on an endodontic-like biofilm model[J]. *Antibiotics (Basel)*, 2021, 10(9): 1141.
- [14] Rosenthal S, Spängberg L, Safavi K. Chlorhexidine substantivity in root canal dentin[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2004, 98(4): 488–492.
- [15] Bayatipour Z, Sadeghfard N, Ghafourian S, et al. Effect of chlorhexidine (CHX) and hydrogen peroxide (H_2O_2) on the biofilm formation of *Enterococcus faecalis* [J]. *Clin Lab*, 2022, 68(4): 210458.
- [16] 舍玉秀, 王娜, 齐鲁, 等. 氢氧化钙及氯己定联合用于根管消毒的临床疗效观察[J]. 口腔医学, 2019, 39(4): 339–342.
- She YX, Wang N, Qi L, et al. Clinical efficacy observation of the combination of chlorhexidine gel and calcium hydroxide in root canal therapy[J]. *Stomatology*, 2019, 39(4): 339–342.
- [17] Kitagawa H, Izutani N, Kitagawa R, et al. Evolution of resistance to cationic biocides in *Streptococcus mutans* and *Enterococcus faecalis*[J]. *J Dent*, 2016, 47: 18–22.
- [18] Shabbir J, Najmi N, Zehra T, et al. 2-Intracanal medicaments [M]//Khurshid Z, Zafar MS, Najeeb S. *Biomaterials in Endodontics*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2022: 5–81.
- [19] Chang HH, Chen IL, Wang YL, et al. Regulation of the regenerative activity of dental pulp stem cells from exfoliated deciduous teeth (SHED) of children by TGF- β 1 is associated with ALK5/Smad2, TAK1, p38 and MEK/ERK signaling [J]. *Aging (Albany NY)*, 2020, 12(21): 21253–21272.
- [20] 何毅文. 不同根管冲洗液对根管内氢氧化钙的清除效果及对牙本质显微硬度的影响研究[J]. 医学理论与实践, 2022, 35(19): 3319–3322.
- He YW. Study on the effect of different root canal irrigation solutions on the removal of calcium hydroxide inside the root canal and their impact on the microhardness of dentin[J]. *The Journal of Medical Theory and Practice*, 2022, 35(19): 3319–3322.
- [21] Ribeiro JS, Münchow EA, Ferreira Bordini EA, et al. Antimicrobial therapeutics in regenerative endodontics: a scoping review[J]. *J Endod*, 2020, 46(9s): S115–S127.
- [22] 宋阳. 根管治疗中不同冲洗消毒药物对牙周牙髓联合病变的疗效评价[J]. 中国现代药物应用, 2020, 14(1): 182–183.
- Song Y. Evaluation of the efficacy of different irrigation and disinfection drugs in root canal treatment for combined periodontal-endodontic lesions[J]. *Chinese Journal of Modern Drug Application*, 2020, 14(1): 182–183.
- [23] Li CJ, Liu L, Li YF, et al. Preventing nickel-titanium rotary instrument from breakage by continuous irrigation with different fluids during root canal preparation[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(3): e23865.
- [24] Kanaan CG, Pelegrine RA, da Silveira Bueno CE, et al. Can irrigant agitation lead to the formation of a smear layer?[J]. *J Endod*, 2020, 46(8): 1120–1124.
- [25] Liu X, Sun Q, Li Q, et al. Effects of an Nd:YAP laser used for root canal disinfection in pulp regenerative therapy: a pilot study[J]. *J Clin Pediatr Dent*, 2023, 47(2): 23–29.
- [26] 李转转, 格根塔娜. 牙髓血运重建术根管冲洗消毒药物的研究进展[J]. 国际口腔医学杂志, 2022, 49(5): 569–577.
- Li ZZ, Ge GTN. Research progress on root canal irrigation and disinfection drugs for pulp revascularization[J]. *International Journal of Stomatology*, 2022, 49(5): 569–577.
- [27] McIntyre PW, Wu JL, Kolte R, et al. The antimicrobial properties, cytotoxicity, and differentiation potential of double antibiotic intracanal medicaments loaded into hydrogel system [J]. *Clin Oral Investig*, 2019, 23(3): 1051–1059.
- [28] 张富华, 李矛, 韦智君, 等. 纳米银对多菌种生物膜中粪肠球菌的杀菌作用[J]. 实用口腔医学杂志, 2017, 33(3): 397–400.
- Zhang FH, Li M, Wei ZJ, et al. Bactericidal effect of nano-silver against *E. faecalis* growing in multi-species biofilm[J]. *Journal of Practical Stomatology*, 2017, 33(3): 397–400.
- [29] 姚丽萍, 原小慧, 刘杰, 等. 0.1% 纳米银溶液作为根管封药对犬慢性根尖周炎愈合的影响[J]. 实用口腔医学杂志, 2020, 36(4): 586–590.
- Yao LP, Yuan XH, Liu J, et al. The effects of 0.1% nanosilver solution used as an intracanal medication on the repair of periradicular tissue of dog teeth with chronic apical periodontitis[J]. *Journal of Practical Stomatology*, 2020, 36(4): 586–590.
- [30] Capuano N, Amato A, Dell'Annunziata F, et al. Nanoparticles and their antibacterial application in endodontics[J]. *Antibiotics (Basel)*, 2023, 12(12): 1690.
- [31] Vanlalveni C, Ralte V, Zohmingiana H, et al. A review of microbes mediated biosynthesis of silver nanoparticles and

- their enhanced antimicrobial activities[J]. *Heliyon*, 2024, 10(11): e32333.
- [32] Mirza MB, Sharma K, Shetty C, et al. Comparative analysis of various irrigation solutions in root canal treatment[J]. *J Pharm Bioallied Sci*, 2024, 16(S3): S2740 – S2742.
- [33] Sonisha S, Gaffoor FM, Gopakumar R, et al. Comparative evaluation of residual antibacterial substantivity of chlorhexidine, MTAD and chitosan against *Enterococcus faecalis* in human root dentin – an *in vitro* study[J]. *J Pharm Bioallied Sci*, 2024, 16(Suppl 2): S1400 – S1403.
- [34] Liu CH, Li Q, Yue L, et al. Evaluation of sonic, ultrasonic, and laser irrigation activation systems to eliminate bacteria from the dentinal tubules of the root canal system[J]. *J Appl Oral Sci*, 2022, 30: e20220199.
- [35] Nammour S, El Mobadder M, Namour M, et al. Twelve-month follow-up of different dentinal hypersensitivity treatments by photobiomodulation therapy, Nd: YAG and Nd: YAP lasers[J]. *Life (Basel)*, 2022, 12(12): 1996.
- [36] de Martinez Gerbi MEM, Soares IV, Miranda JM, et al. Evaluation of the antimicrobial effect of photodynamic therapy and Er: YAG laser irradiation on root canals infected with *Enterococcus faecalis* [J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2022, 40(8): 559 – 564.
- [37] Li MM, Wong W, Xiong HC, et al. *In vitro* antibacterial effects of photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* in root canals of deciduous teeth[J]. *BMC Oral Health*, 2022, 22(1): 554.
- [38] 郭志华. 不同冲洗消毒方式对感染根管内粪肠球菌清除效果的网状 Meta 分析[D]. 郑州: 河南大学, 2024.
- Guo ZH. A network Meta-analysis of efficacy of different irrigation protocols against *Enterococcus faecalis* in infected root canals[D]. Zhengzhou: Henan University, 2024.
- [39] Pourhajibagher M, Chiniforush N, Shahabi S, et al. Antibacterial and antibiofilm efficacy of antimicrobial photodynamic therapy against intracanal *Enterococcus faecalis*: an *in vitro* comparative study with traditional endodontic irrigation solutions[J]. *J Dent (Tehran)*, 2018, 15(4): 197 – 204.
- [40] Asnaashari M, Veshveshadi O, Aslani F, et al. Evaluation the antibacterial efficacy of sodium hypochlorite in combination with two different photodynamic therapy protocols against *Enterococcus faecalis* in Infected root canals: an *in vitro* experiment[J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2023, 43: 103722.
- [41] Dixit A, Kapoor R, Doneria D, et al. Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of various intracanal medicament in young permanent teeth: an *in vivo* study[J]. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 2024, 42(3): 203 – 210.
- [42] Zeng C, Hu P, Egan CP, et al. Bacteria debridement efficacy of two sonic root canal irrigant activation systems[J]. *J Dent*, 2024, 140: 104770.
- [43] Rajan SM, Shrestha B, Aati S, et al. Evaluation of antibacterial efficacy of high-intensity focused ultrasound versus photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis*-infected root canals[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2023, 49(8): 1875 – 1881.
- [44] Moradi M, Fazlyab M, Pourhajibagher M, et al. Antimicrobial action of photodynamic therapy on *Enterococcus faecalis* biofilm using curing light, curcumin and riboflavin[J]. *Aust Endod J*, 2022, 48(2): 274 – 282.
- [45] Yamamoto LY, Loureiro C, Cintra LTA, et al. Antibiofilm activity of laser ablation with indocyanine green activated by different power laser parameters compared with photodynamic therapy on root canals infected with *Enterococcus faecalis*[J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2021, 35: 102377.
- [46] Olivi M, Raponi G, Palaia G, et al. Disinfection of root canals with laser-activated irrigation, photoactivated disinfection, and combined laser techniques: an *ex vivo* preliminary study[J]. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*, 2021, 39(1): 62 – 69.
- [47] Mozayeni MA, Vatandoost F, Asnaashari M, et al. Comparing the efficacy of toluidine blue, methylene blue and curcumin in photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* [J]. *J Lasers Med Sci*, 2020, 11(Suppl 1): S49 – S54.
- [48] Aydin H, Er K, Küstarcı A, et al. Antibacterial activity of silver nanoparticles activated by photodynamic therapy in infected root canals[J]. *Dent Med Probl*, 2020, 57(4): 393 – 400.
- [49] Asnaashari M, Kooshki N, Salehi MM, et al. Comparison of antibacterial effects of photodynamic therapy and an irrigation activation system on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: an *in vitro* study[J]. *J Lasers Med Sci*, 2020, 11(3): 243 – 248.

(本文编辑:翟若南)

本文引用格式:杨文静,格根塔娜. 根管冲洗与消毒方法对难治性根尖周炎粪肠球菌感染控制研究进展[J]. 中国感染控制杂志, 2025, 24(10): 1504 – 1510. DOI: 10.12138/j.issn.1671 – 9638. 20252135.

Cite this article as: YANG Wenjing, GE Gentana. Advances in the control of *Enterococcus faecalis* infection in refractory apical periodontitis by root canal irrigation and disinfection methods[J]. Chin J Infect Control, 2025, 24(10): 1504 – 1510. DOI: 10.12138/j.issn.1671 – 9638. 20252135.