

冲洗剂联合使用在根管治疗中的问题与策略

张宇凡 麦穗

中山大学附属口腔医院, 光华口腔医学院, 广东省口腔医学重点实验室, 广东省口腔疾病临床医学研究中心, 广州 510055

通信作者: 麦穗, Email: maisui@mail.sysu.edu.cn

【摘要】 根管冲洗在根管治疗中发挥着至关重要的作用。由于根管系统的复杂性, 单纯依赖机械预备无法彻底清除所有感染, 因此有效的根管冲洗是根管治疗成功的关键因素之一。临床上常通过冲洗剂的联合使用以清除根管系统内的残余牙髓组织、玷污层和残留微生物, 提高根管冲洗的清洁效果。本文对联合冲洗剂间的相互作用和常见问题进行了综述, 为根管冲洗剂的联合使用策略提出建议。

【关键词】 根管冲洗; 联合使用; 根管治疗

基金项目: 广东省临床教学基地教学改革研究项目(2021JD022); 广州地区临床高新、重大和特色技术项目(2023P-ZD07); 中山大学2024年教学质量工程项目(87000-12220011); 中山大学2025年大学生创新创业训练计划项目(20250609)

引用著录格式: 张宇凡, 麦穗. 冲洗剂联合使用在根管治疗中的问题与策略[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2026, 20(1): 74-82.

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2026.01.011

Problems and strategies of combined use of irrigation solution in root canal therapy

Zhang Yufan, Mai Sui

Hospital of Stomatology, Guanghua School of Stomatology, Sun Yat-sen University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Stomatology, Guangdong Provincial Clinical Research Center of Oral Diseases, Guangzhou 510055, China

Corresponding author: Mai Sui, Email: maisui@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 Root canal irrigation plays a vital role in root canal therapy. Due to the complexity of the root canal system, mechanical preparation alone cannot eradicate infections, so effective root canal irrigation is the critical factor for the success of root canal therapy. In clinical practice, a combination of irrigants is commonly employed to remove residual pulp tissue, the smear layer and residual microorganisms in the root canal system, so as to improve the cleaning effect of root canal irrigation. This article reviews the interaction and common problems between combined irrigants, and puts forward suggestions for the combined use strategy of root canal irrigants.

【Key words】 Root canal irrigation; Combined use;

Root canal therapy

Fund programs: Research on the Undergraduate Teaching Reform of Guangdong Clinical Teaching (2021JD022); Key Clinical Technique Program of Guangzhou (2023P-ZD07); Teaching Quality Project of Sun Yat-sen University in 2024 (87000-12220011); Sun Yat-sen University 2025 College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Program (20250609)

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2026.01.011

根管治疗是牙髓病和根尖周病的有效治疗手段, 其关键是控制感染。根管的机械预备扩大了根管空间, 减少了根管中微生物的存在并为冲洗剂的输送提供通道, 但不能完全实现根管清创^[1]。根管冲洗可以润滑管壁、去除碎屑及玷污层, 进一步清理微生物以控制感染, 但由于根管复杂的解剖结构及根管内微生物的多样性, 目前尚且没有哪一种冲洗剂单独使用可以完全满足理想的根管冲洗要求^[2]。常用的冲洗剂有次氯酸钠(sodium hypochlorite, NaClO)、螯合剂和氯己定(chlorhexidine, CHX)等。NaClO是临床主要根管冲洗剂, 具有广谱杀菌及溶解有机物的能力, 但无法溶解无机成分和牙体组织碎屑; 螯合剂具有玷污层去除能力, 却没有直接抗菌作用; CHX以其长效抗菌特性而被关注, 但却不能溶解坏死组织。活化冲洗技术包括声波活化冲洗、超声活化冲洗和激光激活冲洗等, 可提高冲洗剂渗透能力, 增强根管冲洗效果。因此, 临床上常联合使用多种根管冲洗剂或采用混合成分冲洗剂并搭配多种活化冲洗技术, 从而发挥不同冲洗剂优势, 弥补不足以提高根管冲洗的清洁和消毒效果。本文旨在阐述多种冲洗剂联合使用的优势及存在的问题, 以期提供更合理的临床应用策略。

一、次氯酸钠与螯合剂的联合使用

1. NaClO与螯合剂联合使用的优势: NaClO具有对生物膜细菌的抑制作用和溶解生物膜及牙髓组织残留物的能力, 是临床首选的主要根管冲洗剂。但是, NaClO不能溶解牙本质中的无机成分及机械预备过程中产生的牙体组织碎屑, 在根管治疗中时常发生根管通路受阻的现象, 同时玷污层的存在会阻碍根管冲洗剂及消毒剂渗透入牙本质小管, 降低其抗菌效果^[3]。乙二胺四乙酸(ethylenediamine tetraacetate, EDTA)是一种具有螯合金属离子能力的氨基酸衍生物, 可以与羟基

磷灰石中的钙离子形成复合物,溶解牙本质碎屑等无机成分,清洁根管壁,是有效的玷污层去除冲洗剂。生物膜基质保证细菌生物膜的结构完整性,能够抵抗抗生素渗透到生物膜中。EDTA可通过螯合维持生物膜稳定性所必需的二价阳离子以降低生物膜基质的强度,破坏膜稳定性,促进其解离,从而间接增强其他药物的抗菌活性^[4-5]。研究也证实了与单独使用NaClO相比,联合使用NaClO和EDTA能够更有效地抑制细菌并防止生物膜再生^[6]。因此,常用的螯合剂如EDTA和柠檬酸等常被推荐作为根管治疗冲洗的辅助剂。临床常联合使用NaClO与EDTA以增强根管冲洗效果,NaClO溶解牙髓残留有机成分与生物膜,EDTA则去除玷污层并加速细菌细胞与生物膜的分离,便于NaClO渗入牙本质小管进一步发挥抗菌作用。

2. NaClO与螯合剂联合使用的浓度:一般认为,NaClO的抑菌效果及组织溶解能力随浓度增加而增强^[7],但是考虑到NaClO的腐蚀性及刺激性,以及其浓度可能与临床疼痛有关,有学者研究观察到1%的NaClO即可溶解几乎全部牙髓组织^[8]。因此,溶液的浓度并不是决定根管冲洗效果的单一因素,根管冲洗时常用NaClO浓度为1%~5.25%。

目前,临床上最常用的冲洗组合之一是NaClO+17%EDTA,它结合了NaClO的抗菌和组织溶解能力及EDTA的螯合作用。

3. NaClO与螯合剂联合使用的问题:NaClO溶液中的有效氯可以破坏细菌细胞壁和细胞内的蛋白质等物质从而杀死细菌,其浓度正是决定NaClO杀菌作用强弱的关键,NaClO溶液中有效氯的含量高达80%~88%。研究发现NaClO与EDTA混合会使溶液pH值随作用时间的延长而降低,pH值降低会促使NaClO分解生成氯气,溶液中有效氯含量迅速下降,降低根管冲洗效果^[8-9]。

4. NaClO与螯合剂联合使用的临床策略

(1)交替冲洗:NaClO与EDTA混合使用会减弱冲洗剂抑菌效果。研究发现,当NaClO和EDTA分别添加到细菌悬浮液中而不进行预混合时,NaClO能够发挥其全部杀菌作用^[10]。因此,建议按照NaClO、EDTA和NaClO的顺序依次进行冲洗,即交替冲洗,同时每次更换冲洗剂时使用0.9%氯化钠溶液或蒸馏水完全置换前一冲洗剂,避免两种溶液接触降低有效氯含量。欧洲牙髓病学学会关于牙髓病和根尖周病治疗的S3级临床实践指南中认为,对于无症状的根尖周炎恒牙,可以考虑使用1%~5.25%NaClO、17%EDTA和1%~5.25%NaClO依次冲洗^[11]。

(2)更换螯合剂:使用其他螯合剂或可降低以上不良现象的发生率。依替膦酸(etidronic acid, HEDP)是一种温和的弱螯合剂,可以与NaClO混合而不会在短期内消耗其游离有效氯^[12]。有研究表明,HEDP不会降低NaClO的抗菌效果且能够改善NaClO在根管存在玷污层情况下的抗菌效果^[13]。因此,目前最常用的是新鲜混合的2%NaClO和9%HEDP^[14]。马来酸(maleic acid, MA)是一种温和的有机酸,7%MA相比于17%EDTA具有更强的脱矿效果和更好的去除玷污层效

果^[15],尽管MA与NaClO接触也会消耗有效氯,但MA相比EDTA能够杀死生物膜中的细菌^[16],也是常与NaClO联合使用的螯合剂之一。

(3)活化冲洗剂:将物理动能应用于根管冲洗可以改变冲洗剂流态,增强冲洗强度,激活冲洗剂化学成分,促使冲洗剂渗透到常规冲洗无法到达的区域,从而增强根管冲洗效果^[17]。这些物理动能包括超声波、声波和激光等,应用不同物理动能的活化冲洗技术可以通过不同原理活化冲洗剂,增强根管冲洗效果。

超声活化冲洗通过空化效应等作用使冲洗剂能够抵达常规冲洗不能到达的根管结构,提高冲洗剂的渗透能力,进而增强根管冲洗效果,是最常用的冲洗剂活化方式^[18-19]。其中被动超声冲洗(passive ultrasonic irrigation, PUI)的穿透能力强于常规注射器冲洗和声波冲洗^[20]。使用PUI进行冲洗过程中,流体围绕振动锉快速运动形成涡流,进而将碎屑和细菌从根管壁吸引到涡流中;PUI还会产生空化效应,即气泡的形成、扩大与破裂,气泡在靠近根管壁的地方破裂时可以产生高速射流直接射向根管壁,清除玷污层,从而增强根管冲洗的清洁效果^[21]。有研究将PUI与冲洗剂搭配进行根管冲洗,用超声工作尖对5 mL 17%EDTA溶液进行超声激活,持续1 min,吸除该溶液并经蒸馏水冲洗后,再取5 mL 5.25%NaOCl溶液,继续超声激活1 min,结果显示活化冲洗技术有良好的玷污层去除效果^[22]。

声波冲洗技术与超声活化冲洗原理相似,通过工作尖在冲洗剂中的振动传递能量,提高冲洗效率。声波冲洗设备工作尖的振动频率为20~20 000 Hz,低于超声冲洗工作尖的振动频率,其工作原理主要为声流作用、空穴效应(与PUI空穴效应相同)和热效应。声流作用是指冲洗剂围绕工作尖做圆周或旋涡状的运动,形成剪切方向的分流,进而产生剪切应力以清除根管壁上的碎屑、细菌及生物膜。热效应则是指冲洗剂吸收声波能量从而使冲洗剂温度升高的现象^[17]。在清除根管内碎屑能力方面,低频声波冲洗设备EndoActivator的能力与超声冲洗相近^[23];在清除生物膜及抑菌能力方面,声波冲洗技术效果有一定提升,不同类型的声波冲洗抑菌能力有所差异。高频声波冲洗EDDY系统的抑菌能力优于PUI^[24],而低频声波冲洗设备EndoActivator的抑菌能力有一定提升,但仍弱于PUI^[25]。

激光激活冲洗(laser-activated irrigation, LAI)通常是使用激光源快速加热根管中的冲洗剂进而产生光空化效应以提高冲洗效率、增强根管冲洗效果,其中激光源主要为2 780 nm波长的钕、铬:钇-钪-镱-石榴石(Er, Cr: YSGG)激光和2 940 nm波长的掺钕钇铝石榴石(Er: YAG)激光^[26]。研究表明,当激光探针放置在根管工作长度附近时,其去除生物膜与根管内碎屑的能力优于超声活化冲洗技术^[2,27]。但是,目前仍旧没有任何一种激光激活方式能够完全清除根管中的碎屑^[28-29]。由于设备价格昂贵、技术敏感性高等原因,LAI的临床应用有待进一步发展。

有学者通过场发射扫描电子显微镜(field emission

scanning electron microscope, FESEM)评估不同冲洗剂激活技术在根管预备过程中去除玷污层的有效性,该研究使用5.25% NaClO、17% EDTA和5.25% NaClO进行终末交替冲洗,并配合使用不同活化冲洗技术如两种Er:YAG激光激活冲洗技术——光子诱导光声流(photon-initiated photoacoustic streaming, PIPS)和冲击波增强发射光声流(shock wave-enhanced emission photoacoustic streaming, SWEEPS)、PUI和EndoActivator 4种冲洗技术或不使用活化冲洗技术,之后使用FESEM观察距根尖不同距离处的根管壁玷污层去除效果,结果显示在距根尖1 mm处,只有PIPS和SWEEPS去除玷污层效果优于对照组;在距根尖3、5和8 mm处,4种技术都有显著的玷污层去除效果;4种冲洗剂活化技术中,PIPS的根管清洁效果最好,其次为PUI、SWEEPS和EndoActivator^[30]。

(4)NaClO与螯合剂联合使用的时机与顺序:机械预备完成后,使用EDTA冲洗去除玷污层后再将NaClO注入根管,NaClO可以进一步渗透到暴露牙本质小管中从而增强清洁效果。有研究发现,NaClO与EDTA联合使用可导致牙本质显微硬度降低^[31-32],当用EDTA去除牙本质中的钙离子后,NaClO会通过渗入裸露胶原纤维网攻击暴露的胶原蛋白来快速破坏有机基质从而使牙本质结构的完整性和力学性能遭到破坏,腐蚀根管壁^[33-34]。然而,以往试验多采用单一高浓度NaClO溶液及较长暴露时间,冲洗剂浓度与冲洗时间对结果的影响仍有待进一步研究,目前尚且没有证据表明在EDTA冲洗后使用NaClO会增加牙根折裂的风险,因此仍推荐在终末冲洗时按照1%~5.25% NaClO、17% EDTA和1%~5.25% NaClO的顺序进行单次交替冲洗,并且在每次更换冲洗剂时使用0.9%氯化钠溶液或蒸馏水完全置换前一冲洗剂以避免两种溶液接触。除此之外,由于EDTA去除玷污层的特性,细小钙化根管疏通时多联合使用EDTA与NaClO。关于冲洗剂的使用剂量,有学者提出整个机械预备过程中,每个根管总共使用10~20 mL冲洗剂;在机械预备完成后,终末冲洗量应大于5 mL/根管^[7]。

二、次氯酸钠与氯己定的联合使用

1. NaClO与CHX联合使用的优势:CHX具有广泛的抗菌活性,相比NaClO具有更低的细胞毒性,因而被广泛使用。作为一种阳离子表面活性剂,CHX还能与根管壁上的钙离子形成螯合物,同时具备结合蛋白质的能力^[34]。这意味着CHX易于吸附在牙本质中的羟基磷灰石晶体上,并能持续释放到环境中,从而保持长期的抗菌活性,这一特性对于清除根管内的残留细菌至关重要。当CHX附着于根管壁后,它能够在长达12周的时间内维持其抑菌活性,显著减少细菌繁殖机会^[35]。因此,CHX尤其适用于感染严重的根管和再治疗根管的终末冲洗,通过在根管壁上形成缓释层来延长抑菌时间,达到防止根管再感染的目的。

然而,CHX不能溶解坏死组织,建议将CHX和NaClO联合使用从而有效清理根管内感染物质,提高治疗效率,减少不良反应。目前,在临床上对于感染严重的根管可在机械预备完成后使用CHX作为终末冲洗剂。

2. NaClO与CHX联合使用的浓度:CHX能够有效穿透细菌胞壁或细胞外膜,破坏胞质膜或内膜,从而达到消灭生物膜内细菌的效果,其不仅在高浓度下具有杀菌作用,在低浓度时也能发挥抑菌功能,并对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌以及酵母菌均有广泛抗菌活性^[36-37]。低浓度(0.2%)CHX溶液可通过与细胞膜表面磷脂相互作用进入细胞,增加细胞壁的通透性以改变渗透平衡;高浓度(2.0%)CHX则直接作用于细胞质以达到杀菌目的^[7]。2.0% CHX是实验研究中常用的浓度,临床常用的CHX浓度为0.2%~2.0%。

3. NaClO与CHX联合使用的问题

(1)NaClO与CHX相互作用:研究报道,NaClO和CHX相互混合反应产生橙红色沉淀——对氯苯胺(para-chloraniline, PCA)^[38],是一种致癌物质,研究表明用PCA饲喂雄性大鼠会提高肝细胞肿瘤及肝脏、脾脏部位血管肉瘤的发病率^[39]。NaClO与CHX混合产生的PCA会阻塞牙本质小管且难以去除,影响根管冲洗效果和根管充填的密封性;除此以外,PCA还会导致牙体变色。因此,在使用NaClO冲洗后,若将CHX作为终末冲洗剂或根管内药物使用,必须先清除根管内残留的NaClO。

(2)CHX与0.9%氯化钠溶液相互作用:使用CHX作为终末冲洗剂前,必须先用缓冲液彻底清除根管内残留的NaClO,临床常用0.9%氯化钠溶液。然而过往研究发现,CHX和0.9%氯化钠溶液混合时会产生白色沉淀,这可能归因于盐析反应^[40],即盐溶液的引入增加了盐的浓度从而使CHX盐沉淀出来。本研究进而对CHX与0.9%氯化钠溶液混合产生的沉淀进行了X射线光电子能谱(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)测试,精细谱分析相应元素特征峰提示该沉淀化学组成及结构特征与CHX一致(图1);接着进行X射线衍射(X-ray diffraction, XRD)测试,对应图谱(图2)显示其特征峰型与CHX晶面高度吻合且未发现氯化钠特征峰,提示析出物为单一CHX晶相,结合两种测试结果来看,该沉淀的化学组成及结构特征与CHX具有高度一致性,由此更进一步验证了盐析反应的发生。值得注意的是,在完成机械预备后随机分组,分别使用5 mL CHX/5 mL 0.9%氯化钠溶液、5 mL CHX/5 mL 无菌水、10 mL 0.9%氯化钠溶液、10 mL 无菌水进行了体外根管冲洗,并使用扫描电镜观察了体外CHX与0.9%氯化钠溶液混合产生的沉淀以及联合使用不同冲洗剂进行体外根管冲洗后的根管内壁,发现机械预备后使用CHX与0.9%氯化钠溶液进行体外根管交替冲洗并未产生明显沉淀(图3),或可推测CHX与0.9%氯化钠溶液交替冲洗时接触产生的相互作用对根管冲洗不会有明显影响。

4. NaClO与CHX联合使用的临床策略

(1)增加中间冲洗剂:使用CHX进行根管终末冲洗前,需使用0.9%氯化钠溶液或蒸馏水将根管内残留的NaClO彻底置换出来。除此以外,为避免PCA的生成,也可在NaClO和CHX交替冲洗之间增加中间冲洗剂如柠檬酸、5% 硫代硫酸钠等弱螯合剂以避免两者相互作用^[41]。值得注意的是,有关增加中间冲洗剂避免PCA生成的实验较少,且中间冲洗剂

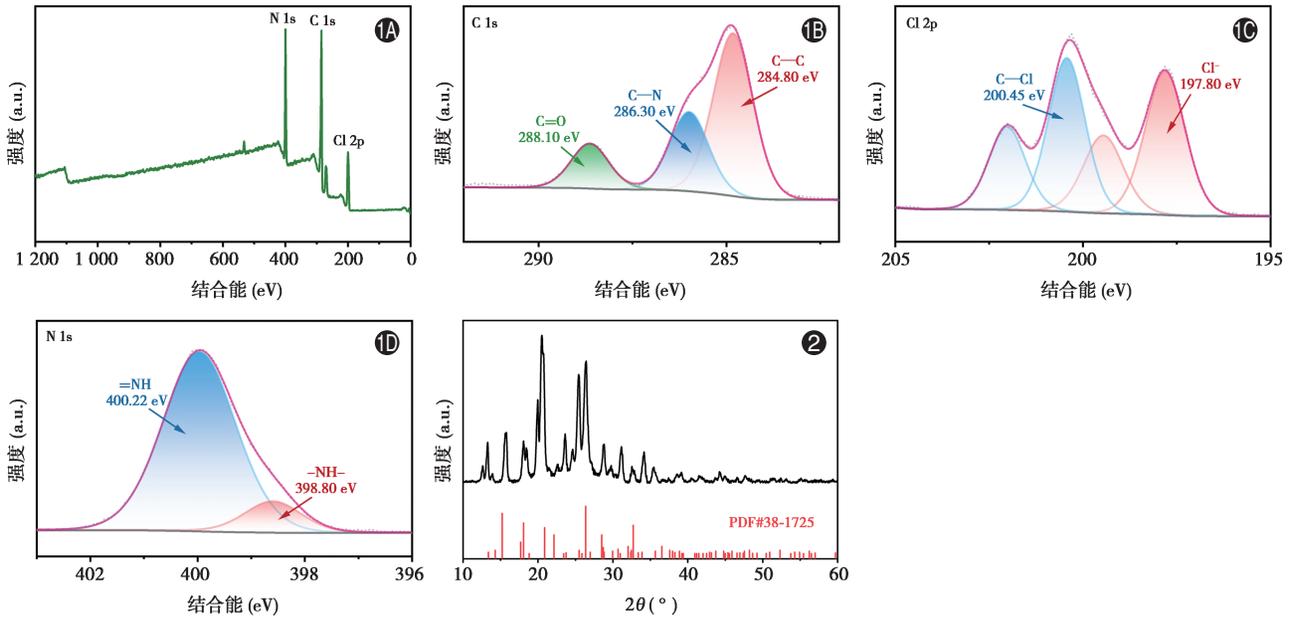


图1 氯己定(CHX)与0.9%氯化钠溶液混合生成沉淀的X射线光电子能谱(XPS)图谱 1A:XPS全谱图,谱图中分别出现C 1s、N 1s、Cl 2p的特征峰,表明该沉淀表面主要含C、N、Cl元素;1B:C 1s高分辨XPS图谱,C 1s谱在284.80、286.30及288.10 eV处的特征峰分别对应C—C/C—H、C—N及表面吸附的含氧官能团(C=O),与CHX碳骨架结构匹配;1C:Cl 2p高分辨XPS图谱,Cl 2p谱在197.80和200.45 eV处呈现特征峰,分别对应Cl⁻与有机C—Cl键的2p_{3/2}特征轨道,与CHX分子中氯的化学环境相符;1D:N 1s高分辨XPS图谱,N 1s谱在398.80和400.22 eV处出现分峰,可归属为伯胺(—NH—)和亚胺(=NH)氮物种,与CHX分子内氢键网络导致的电荷分布变化一致。 **图2** 氯己定(CHX)与0.9%氯化钠溶液混合生成沉淀的X射线衍射(XRD)图谱 XRD图谱在12.7°、17.3°、22.9°及25.4°等特征衍射角处呈现尖锐峰形,与CHX标准卡片(PDF#38-1725)的晶面高度吻合,未观察到氯化钠立方晶系(2θ=31.8°,45.5°)的特征峰,证实析出物为单一CHX晶相。

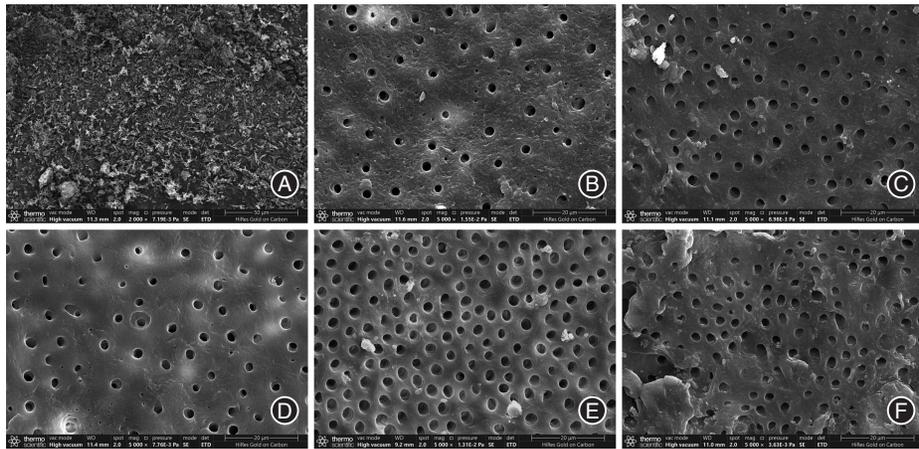


图3 氯己定(CHX)与0.9%氯化钠溶液体外混合生成的沉淀及不同冲洗剂联合使用进行体外根管终末冲洗后的根管内壁扫描电镜图像 A:CHX与0.9%氯化钠溶液混合生成的沉淀;B:使用0.9%氯化钠溶液和CHX交替终末冲洗后的根管内壁;C:使用无菌水和CHX交替终末冲洗后的根管内壁;D:单独使用0.9%氯化钠溶液终末冲洗后的根管内壁;E:单独使用无菌水交替终末冲洗后的根管内壁;F:未进行终末冲洗的根管内壁。

对人体损伤的阈值尚未完全明确,因此临床上对于如何增加中间冲洗剂仍有待进一步研究。

(2)活化冲洗剂:在NaClO与CHX联合使用时活化冲洗剂同样也可以提高根管冲洗效果。

因此,对于感染严重根管及再治疗根管,可联合使用NaClO和CHX并使用PUI活化冲洗剂以提高根管冲洗的清洁与消毒效果。

三、氯己定与螯合剂的联合使用

1. CHX与螯合剂联合使用的优势:EDTA具有明显的去除玷污层效果,其与抗菌剂CHX联合用于根管终末冲洗被证明效果良好。2015年有学者研究发现,作为终末冲洗方案,EDTA与CHX联合使用抑制粪肠球菌的效果明显比EDTA和NaClO联合使用更有效^[42]。

2. CHX与螯合剂联合使用的问题:CHX与EDTA混合会

产生白色雾状沉淀^[43]。有学者分析了不同浓度 CHX 与 EDTA 混合产生的沉淀物,结果表明超过 90% 的沉淀物由 EDTA 或 CHX 组成,且沉淀物中 CHX 与 EDTA 的摩尔比为 1.6:1,而沉淀物中潜在分解产物 PCA 含量小于 1%,由此认为在正常条件下 CHX 不会被 EDTA 化学降解,沉淀物很可能是阴离子 EDTA 对阳离子 CHX 进行静电中和形成的盐 $(\text{HEDTA})_2(\text{H}_2\text{CHX})_3$ ^[43-44]。因此,尽管有研究表明两者联用在终末冲洗中效果良好,但 CHX 与 EDTA 的联合使用仍不常见。

3. CHX 与螯合剂联合使用的临床策略

(1)交替冲洗:CHX 与 EDTA 联合使用时,应当避免两者直接接触产生沉淀。因此,两者联用时需采用 CHX 与 EDTA 交替冲洗的方式,并在每次冲洗剂冲洗后使用 0.9% 氯化钠溶液或蒸馏水彻底置换残留在根管中的冲洗剂以避免两者接触产生不良影响。

(2)更换螯合剂:使用一些弱螯合剂可能会降低上述不良现象对根管冲洗效果的影响。有研究发现,当 MA 与 CHX 结合时,没有观察到不良相互作用或沉淀物形成^[45]。研究显示,7% MA 与 2% CHX 联合使用相比于两者单独使用可有效改善根管冲洗效果^[46]。除此以外,CHX 也很容易与柠檬酸混合而并不会改变其脱矿能力或形成沉淀^[44]。

(3)活化冲洗剂:根管冲洗时搭配活化冲洗技术可以提高 CHX 与螯合剂联合使用的根管冲洗效果。有研究分析认为最合适的冲洗方案包括使用 2.5% NaClO 超声激活,然后用 7% MA 与 2% CHX 交替进行终末冲洗,这种方案或可最大程度地清除根管内的感染物质^[47]。然而,目前有关 CHX 与螯合剂联合使用进行终末冲洗的研究较少,其临床抗菌效果仍有待进一步探索。

鉴于 CHX 与 EDTA 用于终末冲洗时的良好效果及两者相互作用产生沉淀的问题,两者联合使用时推荐进行交替冲洗且每次冲洗前后需使用蒸馏水或 0.9% 氯化钠溶液彻底置换根管内的前一冲洗剂,并且可将 EDTA 替换为 MA 等弱螯合剂,同时搭配活化冲洗技术以提高根管冲洗效果。以下为不同根管冲洗组合方案在根管冲洗效果、存在的风险、适应证及推荐改进策略方面的对比(表 1)。

四、混合成分冲洗剂

除去多种冲洗剂的联合使用,目前还有一些新型混合冲洗剂,如 MTAD(mixture of tetracycline, acid, and detergent)、QMix 等,它们将抗菌剂、螯合剂及表面活性剂混合在一起以

更好地发挥多种冲洗剂的性能。

1. QMix

(1)优势:QMix 是一种新型根管冲洗剂,可用于去除玷污层,其中含有 EDTA、CHX 和表面活性剂,无须椅旁混合即可使用,并通过化学设计避免了 EDTA 与 CHX 产生沉淀^[48]。相比于传统根管冲洗剂,QMix 的细胞毒性小、生物相容性好、杀菌性强,并且能够在根管治疗后保持持续抑菌作用,因此 QMix 适合作为终末冲洗剂与 NaClO 联合使用^[49]。在联合使用 NaClO 的基础上,QMix 去除玷污层的效果与单一冲洗剂 EDTA、CHX 等相似甚至更佳^[50]。NaClO 能够溶解有机组织成分,一些含有螯合剂或酸成分的冲洗剂能够分解无机成分,联合使用两种冲洗剂可以有效去除玷污层,其中 QMix 在这些冲洗剂中具有更大优势^[49,51]。除此之外,使用 QMix 进行根管冲洗在对牙体组织的影响方面也表现出优势。QMix 对牙本质的着色浅,并且对牙本质微硬度和根管治疗牙抗折裂性的损害相对其他终末冲洗剂更小。另外,在临床应用方面,使用 QMix 终末冲洗后相比 NaClO 显著提高了根管中部和冠部的根管封闭剂渗透率^[52];激光激活 QMix 后能够提高封闭剂与根管内牙本质结合的能力进而提高根管封闭性^[53];QMix 还可能对根管封闭剂的根尖封闭作用产生积极影响,对此学者建议进一步研究;除此以外,QMix 冲洗根管后也可显著提高纤维桩的粘接强度,便于根管治疗后续操作^[50,54]。

(2)问题与发展趋势:QMix 中含有 CHX,而 CHX 可与 NaClO 反应产生 PCA。目前有多项研究证实了 QMix 与 NaClO 也会相互作用产生橘红色沉淀,但有研究对该沉淀进行定性分析后却并未发现 PCA^[56-57],这也有可能是 QMix 中 CHX 的浓度太低以至于无法检测到。迄今为止,QMix 与 NaClO 混合反应产生的沉淀物成分尚有争议,两者联合使用时仍需避免相互接触。QMix 在抗菌特性和对牙体组织的影响上相比传统冲洗剂具有更大优势,但其临床效果尚有争论。有临床研究发现 QMix 相比 EDTA 与 CHX 可更好地降低术后 24 h 的疼痛程度,适合在牙体治疗中作为终末冲洗剂使用^[57];但也有临床研究认为有或没有使用 QMix 进行终末冲洗的根管治疗其最终根尖周愈合的结果无明显差异^[48]。目前,国内外对 QMix 的临床研究较少,其临床效果仍需通过临床试验来验证。

2. MTAD

(1)优势:MTAD 是 Torabinejad 等开发的一种兼具螯合作用和抗菌特性的冲洗剂,由 3% 多西环素、4.25% 柠檬酸和

表 1 不同根管冲洗组合方案对比

冲洗组合方案	根管冲洗效果		混合风险	适应证	改进策略
	抗菌效果	清洁效果			
NaClO+EDTA	清除生物膜	溶解组织残留物;去除玷污层	有效氯含量下降	细小钙化根管机械预备时;常规终末冲洗	交替冲洗;更换弱螯合剂;活化冲洗剂
NaClO+CHX	长期抗菌性 清除生物膜	溶解组织残留物;玷污层去除效果差	产生 PCA	感染严重根管和再治疗根管的终末冲洗	中间冲洗剂;活化冲洗剂
EDTA+CHX	长期抗菌性	去除玷污层;残留组织溶解能力差	产生白色沉淀	终末冲洗;临床应用较少	交替冲洗;更换弱螯合剂;活化冲洗剂

注:NaClO 为次氯酸钠;EDTA 为乙二胺四乙酸;CHX 为氯己定;PCA 为氯苯胺。

洗涤剂(Tween-80)组成^[58]。在MTAD制剂中,柠檬酸可用于去除玷污层,使多西环素进入牙本质小管并发挥抗菌作用^[59]。考虑到根管冲洗的清洁效果及根管冲洗剂对牙本质结构的影响,学者建议在机械预备过程中使用1.3% NaClO溶液冲洗,机械预备完成后使用MTAD持续冲洗2 min^[60]。MTAD中的多西环素成分可以发挥持续抗菌作用,抗菌时间长达28 d^[61];而Tween-80成分则能增强其渗透能力,并且具有一定的抗菌活性^[62];同时MTAD因其含有柠檬酸而能够溶解牙本质的无机物成分^[63-64]。然而,有学者用牛牙髓组织模拟实验发现MTAD的组织溶解能力与0.9%氯化钠溶液相似,因此建议使用MTAD作为终末冲洗剂时应联合使用NaClO以清除牙髓残留组织^[65]。

在临床应用方面,有研究将1.5% NaClO/MTAD联合使用进行终末冲洗后发现纤维桩与牙根牙本质的推出粘接强度同对照组2.5% NaClO冲洗及17% EDTA冲洗类似^[66],提示MTAD冲洗在临床应用方面具有潜力;除此以外,使用MTAD进行终末冲洗后对根管封闭剂的根尖封闭性能相比NaClO冲洗有积极影响,发生微生物渗漏的时间显著延长^[67]。

(2)问题与发展趋势:目前对于MTAD抗菌性能的研究结果各有不同。有研究认为MTAD具有良好的抗真菌活性^[68],关于其抗粪肠球菌的效果尚未得到统一结论^[58],有学者认为NaClO/MTAD联合使用与NaClO/EDTA联用的抗菌效果相似^[68],但也有报道显示NaClO/MTAD联用的抗菌效果持续性弱于NaClO/EDTA联用^[69]。此外,研究认为使用MTAD作为终末冲洗剂前使用低浓度NaClO进行冲洗可以增强去除玷污层的效果,建议NaClO与MTAD联合使用^[61];但有学者认为NaClO可能会降低MTAD的抗菌效果,其研究发现两者体外联合使用后的抑菌环直径反而小于单独使用MTAD,这可能是NaClO氧化了MTAD,进而使抑菌效果减弱^[70]。

MTAD作为新型混合成分冲洗剂,兼具了持续抗菌性、渗透性增强及清洁能力提高的特点,但近期有研究发现在终末冲洗方案中使用MTAD并未明显改善患根尖周炎的单根牙根管治疗后2年的治愈效果^[62],因此MTAD的临床使用效果仍有待进一步研究改善。

五、根管冲洗剂联合使用的推荐临床方案

由于根管冲洗的重要作用及根管冲洗剂联合使用的优势,本课题组提出了以下根管冲洗临床方案(图4)。

1. 开髓及机械预备期间的冲洗

(1)建议开髓后先注入NaClO充盈髓腔,再定位根管口、疏通根管^[7]。

(2)机械预备期间使用NaClO溶液大量冲洗至预备完成,且每更换1次器械,应用1%~5.25% NaClO溶液充分冲洗。

(3)对于细小钙化根管的疏通,可用EDTA螯合钙离子以溶解钙化组织,建议在机械预备时用锉蘸取少量17% EDTA凝胶后小幅度捻转、疏通根管,并且每次换锉时使用1%~5.25% NaClO进行冲洗^[73-74]。

2. 预备完成后的终末冲洗方案

(1)预备完成,根管封药和充填前应冲洗根管,推荐的

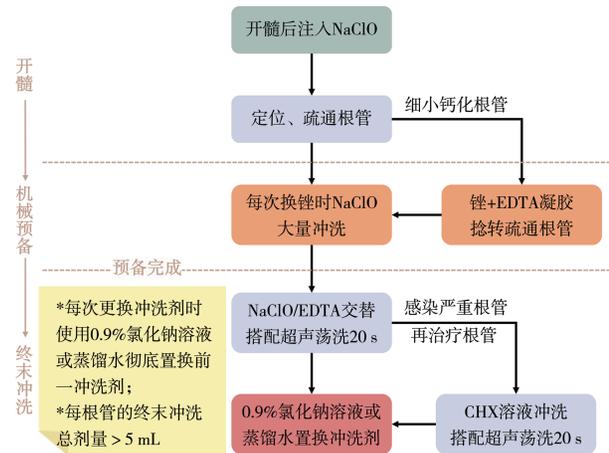


图4 根管冲洗临床操作决策图 NaClO:次氯酸钠;CHX:氯己定;EDTA:乙二胺四乙酸。

末冲洗方案为按照1%~5.25% NaClO、17% EDTA和1%~5.25% NaClO的顺序依次冲洗。为确保冲洗剂渗透根管壁,建议活化冲洗剂。目前,临床常用方法为每次注入冲洗液充满根管和髓腔后,搭配超声荡洗20 s;每次更换冲洗剂时使用0.9%氯化钠溶液或蒸馏水冲洗彻底置换残留冲洗剂。

(2)根管预备完成后,每个根管的终末冲洗总剂量应超过5 mL。

3. 感染严重或再治疗根管的冲洗方案:对于感染严重根管或者再治疗根管,2% CHX溶液可作为终末冲洗剂,推荐流程为在机械预备期间每次换锉时使用1%~5.25% NaClO冲洗,机械预备完成后按照1%~5.25% NaClO、17% EDTA和1%~5.25% NaClO顺序交替冲洗,接着使用0.9%氯化钠溶液或蒸馏水彻底置换根管内残留的NaClO,之后使用2% CHX溶液进行终末冲洗,并可搭配超声荡洗。

六、总结与展望

根管冲洗是根管治疗过程中的重要步骤,临床推荐在根管冲洗中联合使用多种根管冲洗剂以满足理想的根管冲洗要求。根管冲洗可以润滑管壁、去除碎屑及玷污层,进一步清理微生物以控制感染,但由于根管复杂的解剖结构以及根管内微生物的多样性,目前尚且没有哪一种单独冲洗剂可以完全满足理想的根管冲洗要求,因此推荐根管冲洗剂的联合使用。

推荐的冲洗方式为机械预备每次换锉时使用1%~5.25% NaClO大量冲洗,预备完成后终末冲洗顺序为NaClO→EDTA→NaClO,每次更换冲洗剂时应使用0.9%氯化钠溶液或蒸馏水彻底置换前一冲洗剂;为避免有效氯的消耗,也可考虑将EDTA替换为HEDP等一些相对温和的弱螯合剂;对于感染严重及再治疗根管,则可以使用CHX进行终末冲洗。在根管冲洗剂联合使用时搭配活化冲洗技术以改善根管冲洗效果也是临床常用的根管冲洗策略。

目前,根管冲洗剂的联合使用方案中,CHX与螯合剂联合使用以及新型混合成分冲洗剂的使用得到关注,但其临床具体根管冲洗效果仍需进一步临床试验验证。一些避免冲洗剂联合使用时相互作用的中间冲洗剂如硫代硫酸钠、柠檬

酸等虽也被提出,但这些中间冲洗剂对人体损害的阈值仍需进一步探索。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 张宇凡:资料收集、文献查阅和文章撰写;麦穗:文章审校、修改指导

参 考 文 献

- [1] Peters OA, Rossi-Fedele G, George R, et al. Guidelines for non-surgical root canal treatment [J]. Aust Endod J, 2024, 50(2): 202-214. DOI:10.1111/aej.12848.
- [2] Boutsoukis C, Arias - Moliz MT. Present status and future directions: Irrigants and irrigation methods [J]. Int Endod J, 2022, 55(Suppl 3):588-612. DOI:10.1111/iej.13739.
- [3] Gómez-Delgado M, Camps-Font O, Luz L, et al. Update on citric acid use in endodontic treatment: A systematic review [J]. Odontology, 2023, 111(1): 1-19. DOI: 10.1007/s10266-022-00744-2.
- [4] 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. DOI:10.3390/antibiotics10091141.
- [5] Cavaliere R, Ball JL, Turnbull L, et al. The biofilm matrix destabilizers, EDTA and DNaseI, enhance the susceptibility of nontypeable *Hemophilus influenzae* biofilms to treatment with ampicillin and ciprofloxacin [J]. MicrobiologyOpen, 2014, 3(4): 557-567. DOI:10.1002/mbo3.187.
- [6] Alshanta OA, Alqahtani S, Shaban S, et al. Comparison of three endodontic irrigant regimens against dual - species interkingdom biofilms: Considerations for maintaining the status quo [J]. Antibiotics (Basel), 2020, 9(9): 634. DOI:10.3390/antibiotics9090634.
- [7] Zou X, Zheng X, Liang Y, et al. Expert consensus on irrigation and intracanal medication in root canal therapy [J]. Int J Oral Sci, 2024, 16(1):23. DOI:10.1038/s41368-024-00280-5.
- [8] Gomes BPPA, Aveiro E, Kishen A. Irrigants and irrigation activation systems in endodontics [J]. Braz Dent J, 2023, 34(4): 1-33. DOI:10.1590/0103-6440202305577.
- [9] Krishnan U, Saji S, Clarkson R, et al. Free active chlorine in sodium hypochlorite solutions admixed with octenidine, SmearOFF, chlorhexidine, and EDTA [J]. J Endod, 2017, 43(8):1354-1359. DOI:10.1016/j.joen.2017.03.034.
- [10] Senna RA, Spohr AR, Gastmann AH, et al. The effect of EDTA on the antibacterial activity of sodium hypochlorite [J]. Gen Dent, 2018, 66(1):74-78.
- [11] Duncan HF, Kirkevang LL, Peters OA, et al. Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3 - level clinical practice guideline [J]. Int Endod J, 2023, 56(Suppl 3):238-295. DOI:10.1111/iej.13974.
- [12] Fortea L, Sanz-Serrano D, Luz LB, et al. Update on chelating agents in endodontic treatment: A systematic review [J]. J Clin Exp Dent, 2024, 16(4): e516-e538. DOI:10.4317/jced.60989.
- [13] Borges MMB, Dijkstra RJB, de Andrade FB, et al. The response of dual-species bacterial biofilm to 2% and 5% NaOCl mixed with etidronic acid: A laboratory real - time evaluation using optical coherence tomography [J]. Int Endod J, 2022, 55(7): 758-771. DOI:10.1111/iej.13754.
- [14] Zollinger A, Mohn D, Zeltner M, et al. Short - term storage stability of NaOCl solutions when combined with dual rinse HEDP [J]. Int Endod J, 2018, 51(6): 691-696. DOI: 10.1111/iej.12875.
- [15] Shekhar S, Mallya PL, Ballal V, et al. To evaluate and compare the effect of 17% EDTA, 10% citric acid, 7% maleic acid on the dentinal tubule penetration depth of bio ceramic root canal sealer using confocal laser scanning microscopy: An *in vitro* study [J]. F1000Res, 2023, 11: 1561. DOI: 10.12688/f1000research.127091.2.
- [16] Ferrer-Luque CM, Arias-Moliz MT, González-Rodríguez MP, et al. Antimicrobial activity of maleic acid and combinations of cetrinide with chelating agents against *Enterococcus faecalis* biofilm [J]. J Endod, 2010, 36(10): 1673-1675. DOI:10.1016/j.joen.2010.06.009.
- [17] 霍帆远, 岳林, 邹晓英. 声波根管冲洗的研究进展 [J]. 国际口腔医学杂志, 2023, 50(1):91-99. DOI:10.7518/gjkq.2023004.
- [18] Liu C, 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. DOI:10.1590/1678-7757-2022-0199.
- [19] Pereira TC, Dijkstra RJB, Petridis X, et al. Chemical and mechanical influence of root canal irrigation on biofilm removal from lateral morphological features of simulated root canals, dentine discs and dentinal tubules [J]. Int Endod J, 2021, 54(1):112-129. DOI:10.1111/iej.13399.
- [20] Salas H, Castrejon A, Fuentes D, et al. Evaluation of the penetration of CHX 2% on dentinal tubules using conventional irrigation, sonic irrigation (EDDY) and passive ultrasonic irrigation (PUI) techniques: An *in vitro* study [J]. J Clin Exp Dent, 2021, 13(1): e37-e42. DOI:10.4317/jced.57065.
- [21] Akkol E, Özlek E. Effectiveness of XP - Endo Finisher, Endoactivator, and PUI agitation in the penetration of intracanal medicaments into dentinal tubules: A confocal laser scanning microscope analysis [J]. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects, 2024, 18(3):196-203. DOI:10.34172/joddd.41123.
- [22] Atav A, Zanza A, Gunes A, et al. Recent innovations in endodontic irrigation and effects on smear layer removal: An *ex-vivo* study [J]. Clin Oral Investig, 2025, 29(6): 309. DOI:10.1007/s00784-025-06387-1.
- [23] Haupt F, Meinel M, Gunawardana A, et al. Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: A SEM evaluation [J]. Aust Endod J, 2020, 46(1):40-46. DOI:10.1111/aej.12342.
- [24] Bao P, Liu H, Yang L, et al. *In vitro* efficacy of Er: YAG laser-activated irrigation versus passive ultrasonic irrigation and sonic-

- powered irrigation for treating multispecies biofilms in artificial grooves and dentinal tubules: An SEM and CLSM study[J]. BMC Oral Health, 2024, 24(1): 261. DOI: 10.1186/s12903-024-04042-x.
- [25] Zeng C, Everett J, Sidow S, et al. *In vitro* evaluation of efficacy of two endodontic sonic - powered irrigant agitation systems in killing single-species intracanal biofilms[J]. J Dent, 2021, 115: 103859. DOI:10.1016/j.jdent.2021.103859.
- [26] Jezeršek M, Lukač N, Lukač M, et al. Measurement of pressures generated in root canal during Er: YAG laser-activated irrigation [J]. Photobiomodul Photomed Laser Surg, 2020, 38(10): 625-631. DOI:10.1089/photob.2019.4776.
- [27] de Meyer S, Meire MA, Coenye T, et al. Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals [J]. Int Endod J, 2017, 50(5): 472-479. DOI: 10.1111/iej.12643.
- [28] Wen C, Kong Y, Zhao J, et al. Effectiveness of photon-initiated photoacoustic streaming in root canal models with different diameters or tapers [J]. BMC Oral Health, 2021, 21(1): 307. DOI:10.1186/s12903-021-01671-4.
- [29] Tong J, Liu L, Du J, et al. Effect of photon-induced photoacoustic streaming and shock - wave enhanced emission photoacoustic streaming technique on the removal of the smear layer after root canal preparation in curved root canals [J]. J Dent Sci, 2023, 18(1): 157-164. DOI:10.1016/j.jds.2022.06.019.
- [30] Mancini M, Cerroni L, Palopoli P, et al. FESEM evaluation of smear layer removal from conservatively shaped canals: Laser activated irrigation (PIPS and SWEEPS) compared to sonic and passive ultrasonic activation: An *ex vivo* study [J]. BMC Oral Health, 2021, 21(1): 81. DOI: 10.1186/s12903-021-01427-0.
- [31] Sayin TC, Serper A, Cehreli ZC, et al. The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin [J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007, 104(3): 418-424. DOI: 10.1016/j.tripleo.2007.03.021.
- [32] Wang Z, Maezono H, Shen Y, et al. Evaluation of root canal dentin erosion after different irrigation methods using energy - dispersive X-ray spectroscopy [J]. J Endod, 2016, 42(12): 1834-1839. DOI: 10.1016/j.joen.2016.07.024.
- [33] 宛朵, 史瑞棠. 根管治疗对牙根纵裂影响的研究进展 [J]. 中华口腔医学杂志, 2025, 60(8): 921-927. DOI: 10.3760/cma.j.cn112144-20241218-00498.
- [34] Yan Y, Zhou P, Lu H, et al. Potential apply of hydrogel-carried chlorhexidine and metronidazole in root canal disinfection [J]. Dent Mater J, 2021, 40(4): 986-993. DOI: 10.4012/dmj.2020-299.
- [35] Rosenthal S, Spångberg L, Safavi K. Chlorhexidine substantivity in root canal dentin [J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2004, 98(4): 488-492. DOI: 10.1016/j.tripleo.2003.07.005.
- [36] Zhou X, Nanayakkara S. Chlorhexidine and sodium hypochlorite provide similar antimicrobial effect in root canal disinfection [J]. J Evid Based Dent Pract, 2021, 21(3): 101577. DOI: 10.1016/j.jebdp.2021.101577.
- [37] Hajihassani N, Alavi O, Karamshahi M, et al. Antibacterial effect of nano-chlorhexidine on Enterococcus faecalis biofilm in root canal system: An *in vitro* study [J]. Dent Res J, 2022, 19: 80.
- [38] Cintra LTA, Watanabe S, Samuel RO, et al. The use of NaOCl in combination with CHX produces cytotoxic product [J]. Clin Oral Investig, 2014, 18(3): 935-940. DOI: 10.1007/s00784-013-1049-5.
- [39] Chhabra RS, Huff JE, Haseman JK, et al. Carcinogenicity of p-chloroaniline in rats and mice [J]. Food Chem Toxicol, 1991, 29(2): 119-124. DOI: 10.1016/0278-6915(91)90166-5.
- [40] Prado M, Santos Júnior HM, Rezende CM, et al. Interactions between irrigants commonly used in endodontic practice: A chemical analysis [J]. J Endod, 2013, 39(4): 505-510. DOI: 10.1016/j.joen.2012.11.050.
- [41] Alberto APL, da Silva Oliveira D, Oliveira HE, et al. Does sodium thiosulphate avoid the formation of the brown - coloured precipitate as an intermediate irrigant between NaOCl and chlorhexidine? [J]. Aust Endod J, 2022, 48(1): 72-76. DOI: 10.1111/aej.12562.
- [42] Liu Y, Guo L, Li Y, et al. *In vitro* comparison of antimicrobial effectiveness of QMix and other final irrigants in human root canals [J]. Sci Rep, 2015, 5: 17823. DOI: 10.1038/srep17823.
- [43] Rasimick BJ, Nekich M, Hladek MM, et al. Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA [J]. J Endod, 2008, 34(12): 1521-1523. DOI: 10.1016/j.joen.2008.08.039.
- [44] Rossi-Fedele G, Doğramacı EJ, Guastalli AR, et al. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid [J]. J Endod, 2012, 38(4): 426-431. DOI: 10.1016/j.joen.2012.01.006.
- [45] Ballal NV, Moorkoth S, Mala K, et al. Evaluation of chemical interactions of maleic acid with sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate [J]. J Endod, 2011, 37(10): 1402-1405. DOI: 10.1016/j.joen.2011.06.027.
- [46] Ferrer-Luque CM, González-Castillo S, Ruiz-Linares M, et al. Antimicrobial residual effects of irrigation regimens with maleic acid in infected root canals [J]. J Biol Res (Thessalon), 2015, 22(1): 1. DOI: 10.1186/s40709-015-0025-4.
- [47] Prada I, Micó-Muñoz P, Giner-Lluesma T, et al. Update of the therapeutic planning of irrigation and intracanal medication in root canal treatment. A literature review [J]. J Clin Exp Dent, 2019, 11(2): e185-e193. DOI: 10.4317/jced.55560.
- [48] Sapmaz Ucan C, Dumani A, Unal I, et al. Effect of QMix as final irrigation protocol on periapical healing after single - visit root canal treatment: A randomised controlled clinical trial [J]. Aust Endod J, 2023, 49(Suppl 1): 113-121. DOI: 10.1111/aej.12701.
- [49] Chia MSY, Parolia A, Lim BSH, et al. Effect of QMix irrigant in removal of smear layer in root canal system: A systematic review of *in vitro* studies [J]. Restor Dent Endod, 2020, 45(3): e28. DOI: 10.5395/rde.2020.45.e28.
- [50] Shalavi S, Mohammadi Z. An overview on a promising root canal

- irrigation solution: QMix[J]. Iran Endod J, 2021, 16(2): 71-77. DOI:10.22037/iej.v16i2.27912.
- [51] 吴佳益, 黄睿洁. 根管冲洗剂 QMix 冲洗性能的研究进展[J]. 华西口腔医学杂志, 2017, 35(5): 543-548. DOI: 10.7518/hxkq.2017.05.019.
- [52] Kara Tuncer A. Effect of QMix 2in1 on sealer penetration into the dentinal tubules [J]. J Endod, 2015, 41(2): 257-260. DOI: 10.1016/j.joen.2014.10.014.
- [53] Saricam E, Küçük M, Akyol M. Evaluation of EDTA, QMix, and Irritrol solutions activated with Er, Cr: YSGG and diode lasers on the push-out bond strength of filling material [J]. Microsc Res Tech, 2021, 84(4): 584-591. DOI: 10.1002/jemt.23616.
- [54] Shalavi S, Mohammadi Z. An overview on a promising root canal irrigation solution: QMix[J]. Iran Endod J, 2021, 16(2): 71-77. DOI: 10.22037/iej.v16i2.27912.
- [55] Afkhami F, Sadegh M, Sooragar A, et al. Comparison of the effect of QMix and conventional root canal irrigants on push-out bond strength of fiber post to root dentin [J]. Clin Exp Dent Res, 2022, 8(1): 464-469. DOI: 10.1002/cre2.500.
- [56] Arslan H, Uygun AD, Keskin A, et al. Evaluation of orange-brown precipitate formed in root canals after irrigation with chlorhexidine and QMix and spectroscopic analysis of precipitates produced by a mixture of chlorhexidine/NaOCl and QMix/NaOCl [J]. Int Endod J, 2015, 48(12): 1199-1203. DOI: 10.1111/iej.12427.
- [57] Kolosowski KP, Sodhi RNS, Kishen A, et al. Qualitative analysis of precipitate formation on the surface and in the tubules of dentin irrigated with sodium hypochlorite and a final rinse of chlorhexidine or QMix [J]. J Endod, 2014, 40(12): 2036-2040. DOI: 10.1016/j.joen.2014.08.017.
- [58] İnce Yusufoglu S, Olcay K. Effect of Qmix 2in1, chlorhexidine gluconate, and ethylenediaminetetraacetic acid on postoperative pain after root canal treatment: A double-blind randomized clinical trial [J]. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects, 2022, 16(1): 70-75. DOI: 10.34172/joddd.2022.011.
- [59] Meyappan N, Mahadevan M, Manimaran ND, et al. Scanning electron microscopy analysis of smear layer removal ability of conventional endodontic irrigation regimen, MTAD, and QMix™ versus a mixture of azadirachta indica and citrus limon: An *in vitro* study [J]. Cureus, 2023, 15(8): e42877. DOI: 10.7759/cureus.42877.
- [60] Torabinejad M, Cho Y, Khademi AA, et al. The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer [J]. J Endod, 2003, 29(4): 233-239. DOI: 10.1097/00004770-200304000-00001.
- [61] Tonini R, Salvadori M, Audino E, et al. Irrigating solutions and activation methods used in clinical endodontics: A systematic review [J]. Front Oral Health, 2022, 3: 838043. DOI: 10.3389/froh.2022.838043.
- [62] Yildiz B, Dumani A, Isci AS, et al. Outcome of single-visit root canal treatment with or without MTAD: A randomized controlled clinical trial [J]. Int Endod J, 2024, 57(1): 2-11. DOI: 10.1111/iej.13986.
- [63] Nanda Z, Singh R, Kamble PP, et al. Efficacy of different root canal irrigating solutions in removing smear layer: A scanning electron microscopic study [J]. Cureus, 2023, 15(9): e44618. DOI: 10.7759/cureus.44618.
- [64] Rao PD, Sandeep AH, Madhubala MM, et al. Comparative evaluation of effect of nisin-incorporated ethylenediamine tetraacetic acid and MTAD on endodontic biofilm eradication, smear layer removal, and depth of sealer penetration [J]. Clin Oral Investig, 2023, 27(12): 7247-7259. DOI: 10.1007/s00784-023-05285-8.
- [65] Khademi A, Usefian E, Feizianfar M. Tissue dissolving ability of several endodontic irrigants on bovine pulp tissue [J]. Iran Endod J, 2007, 2(2): 65-68. DOI: 10.1177/039463200702000219.
- [66] Aljamhan AS, Alrefeai MH, Alhabdan A, et al. Push out bond strength of glass fiber post to radicular dentin irrigated with Nisin and MTAD compared to methylene blue photodynamic therapy [J]. Photodiagnosis Photodyn Ther, 2021, 34: 102304. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2021.102304.
- [67] Ghoddsi J, Rohani A, Rashed T, et al. An evaluation of microbial leakage after using MTAD as a final irrigation [J]. J Endod, 2007, 33(2): 173-176. DOI: 10.1016/j.joen.2006.10.006.
- [68] Kho P, Baumgartner JC. A comparison of the antimicrobial efficacy of NaOCl/biopure MTAD versus NaOCl/EDTA against enterococcus faecalis [J]. J Endod, 2006, 32(7): 652-655. DOI: 10.1016/j.joen.2005.11.004.
- [69] Johal S, Baumgartner JC, Marshall JG. Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation [J]. J Endod, 2007, 33(1): 48-51. DOI: 10.1016/j.joen.2006.08.007.
- [70] Tay FR, Hiraishi N, Schuster GS, et al. Reduction in antimicrobial substantivity of MTAD after initial sodium hypochlorite irrigation [J]. J Endod, 2006, 32(10): 970-975. DOI: 10.1016/j.joen.2006.03.016.
- [71] 黄昕, 许晓杰, 张荣华, 等. 牙髓钙化及其治疗方法的研究进展 [J]. 国际口腔医学杂志, 2024, 51(1): 82-90. DOI: 10.7518/gjkq.2024008.
- [72] Takenori S, Ryuji F, Jiro S, et al. Bactericidal effect of a novel alkaline EDTA root canal cleaning solution [J]. Eur J Dent, 2021, 15(3): 546-550. DOI: 10.1055/s-0041-1723067.

(收稿日期: 2025-08-22)

(本文编辑: 王嫚)