四川大学学报（医学版） 2026，57（3）：699－706
J Sichuan Univ（Med Sci） doi: 10.12182/20260560205

在线全文

季铵盐改性生物陶瓷根管封闭剂的封闭及抗菌性能研究*

马金溢，李博磊，程 磊△
口腔疾病防治全国重点实验室 国家口腔疾病临床医学研究中心 四川大学华西口腔医院 牙体牙髓病科（成都 610041）

【摘要】 **目的** 利用季铵盐甲基丙烯酸十二烷基二甲铵（dimethylaminododecyl methacrylate, DMADDM）对不具备抗菌性能的生物陶瓷类根管封闭剂iRoot SP进行改性，制备新型封闭剂。**方法** 通过细胞计数试剂盒-8（cell counting kit-8, CCK-8）评估改性根管封闭剂的细胞毒性，根据国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）的方法测试封闭剂的溶解度和流动性。分别利用显微计算机断层扫描（micro-CT）及共聚焦激光扫描显微镜（confocal laser scanning microscope, CLSM）评估封闭性及渗透性。通过菌落形成单位（colony-forming unit, CFU）计数、结晶紫染色、扫描电镜（scanning electron microscope, SEM）及活死染色评估封闭剂对粪肠球菌生物膜的抗菌性。**结果** DMADDM质量分数为0.625%时，改性封闭剂显示出良好的生物相容性（P>0.0125）。经质量分数0.625%的DMADDM改性封闭剂的流动性（>17 mm）及溶解度（<3%）均符合ISO标准，且与iRoot SP相比差异无统计学意义（P>0.05）。DMADDM改性对封闭剂在牙根不同位置的封闭性及渗透性均无影响（P>0.05）。抗菌实验显示，未老化时改性封闭剂降低了粪肠球菌生物膜的CFU计数（0.518±0.333 vs. 8.156±0.011，P<0.001）及生物膜量（均值差为86.94%，95%可信区间：74.82%～99.07%，P<0.0001），但老化1周（7.327±0.068 vs. 7.422±0.035）或老化4周（7.479±0.065 vs. 7.581±0.071）后改性封闭剂的CFU计数与iRoot SP组无明显差异（P>0.05）。同时，活死染色及SEM显示改性封闭剂可以抑制粪肠球菌的生物膜形成。**结论** 质量分数为0.625%的DMADDM改性后的iRoot SP表现出良好的生物相容性、封闭性和渗透性，显著改善了封闭剂抗粪肠球菌生物膜的能力，为生物陶瓷类根管封闭剂的抗菌改性提供了思路。

【关键词】 根管封闭剂 iRoot SP DMADDM 粪肠球菌

Study of the Sealing and Antibacterial Properties of Bioceramic Root Canal Sealers Modified With Quaternary Ammonium Salt

MA Jinyi, LI Bolei, CHENG Lei△. *State Key Laboratory of Oral Diseases, National Clinical Research Center for Oral Diseases, Department of Conservative Dentistry and Endodontics, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, China*
△ Corresponding author, E-mail: chengleidentist@163.com

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 82301058, No. 32571322, No. 82071106) and Research Fund for Talent Team Development of West China Hospital of Stomatology, Sichuan University (No. RCDWJS2024-[2]).

[**Abstract**] **Objective** To modify the non-antibacterial bioceramic root canal sealant iRoot SP with the quaternary ammonium salt dimethylaminododecyl methacrylate (DMADDM) and to develop a new type of sealant. **Methods** The cytotoxicity of the modified root canal sealant was evaluated using the cell counting kit-8 (CCK-8). The solubility and flowability of the sealant were tested according to International Organization for Standardization (ISO) methods. The sealing ability and penetrability of the sealant were assessed by micro-computed tomography (micro-CT) and confocal laser scanning microscope (CLSM). The antibacterial activity of the sealant against *Enterococcus faecalis* biofilm was evaluated by colony-forming unit (CFU) counting, crystal violet staining, scanning electron microscope (SEM), and live/dead staining. **Results** When the DMADDM mass fraction was 0.625%, the modified sealant demonstrated good biocompatibility (P > 0.0125). The flowability (> 17 mm) and solubility (< 3%) of the sealant modified with 0.625% DMADDM met ISO standards and showed no significant difference compared with iRoot SP. DMADDM modification did not affect the sealing ability or penetrability of the sealant at different positions of the tooth root (P > 0.05). Antibacterial experiments showed that the modified sealant reduced the CFU count (0.518 ± 0.333 vs. 8.156 ± 0.011, P < 0.001) and the amount of biofilm (mean difference of 86.94%, 95% confidence interval: 74.82%-99.07%, P < 0.0001) of *Enterococcus faecalis* biofilm at the unaged stage. However, after 1 week of aging (7.327 ± 0.068 vs. 7.422 ± 0.035) or 4

* 国家自然科学基金（No. 82301058、No. 32571322、No. 82071106）和四川大学华西口腔医（学）院人才队伍建设科研经费资助项目〔No. RCDWJS2024-（2）〕资助
△ 通信作者，E-mail: chengleidentist@163.com
出版日期：2026-05-20

weeks of aging (7.479 ± 0.065 vs. 7.581 ± 0.071), the CFU count of the modified sealant showed no significant difference from the iRoot SP group ($P > 0.05$). Live/dead staining and SEM also showed that the modified sealant could inhibit the formation of *Enterococcus faecalis* biofilm. **Conclusion** iRoot SP modified with 0.625% DMADDM exhibited good biocompatibility, sealing ability, and penetrability, and significantly improved resistance to *Enterococcus faecalis* biofilm, providing a new approach for the antibacterial modification of bioceramic root canal sealants.

[Key words] Root canal sealers iRoot SP DMADDM *Enterococcus faecalis*

牙髓根尖周疾病(如牙髓炎和根尖周炎)是最常见的口腔感染性疾病之一,主要由细菌入侵牙髓及根尖周围组织所引起[1]。若未得到及时治疗,这些感染可能进展为慢性炎症、根尖脓肿,甚至引发全身性并发症[2]。根管治疗是标准的治疗方法,其目的在于通过有效的根管清理、成形和充填,消除根管内的病原体并防止再次感染[3]。成功的根管治疗在很大程度上依赖于对根管系统的彻底消毒以及对细菌再次入侵的有效阻断[4]。

根管封闭剂在实现根管系统严密封闭方面发挥着关键作用,它能够填充根管核心充填材料与牙本质壁之间的间隙[5]。在为此目的开发的众多封闭剂中,生物陶瓷类封闭剂(如iRoot SP, Innovative Bioceramix, 加拿大)因其优异的封闭性、良好的生物相容性、化学稳定性以及在凝固过程中形成羟基磷灰石的能力而受到广泛关注[6-7]。尽管具有这些优势,传统的iRoot SP并不具备内在的、长期的抗菌特性,这在根管治疗中是一项重要的局限性,尤其是在面对如粪肠球菌(*Enterococcus faecalis*, *E. faecalis*)等耐药菌株所引起的残留或复发性感染威胁时[8-9]。研究表明,根管治疗失败与根尖周炎复发在很大程度上与残留或再次定植的细菌生物膜有关,尤其是器械与冲洗难以彻底清除的侧支根管、峡部及牙本质小管等部位[10]。因此,理想的根管封闭剂不仅应实现三维严密封闭,还应形成持久的抗菌屏障,抑制细菌黏附与生物膜再建,从而提高长期疗效。这一局限性促使研究者关注到如何在不损害材料理化性能的前提下,通过改性赋予根管封闭剂抗菌功能。

季铵盐类化合物(quaternary ammonium salts),如甲基丙烯酸十二烷基二甲铵(dimethylaminododecyl methacrylate, DMADDM),被认为是为牙科材料赋予强效接触杀菌活性的理想候选物[11]。DMADDM通过其带正电荷的季铵基团破坏细菌细胞膜,从而展现广谱抗菌作用,同时其长链烷基结构增强了脂溶性和穿膜能力[12]。此外,研究表明,将DMADDM引入树脂基材料中能够在不引起显著细胞毒性或损害机械性能的情况下,显著改善材料的抗菌性能[13]。

迄今为止,关于将季铵盐类化合物用于生物陶瓷类封闭剂改性的研究仍然有限。因此,本研究旨在探讨将DMADDM用于改性iRoot SP时对其物理性能及抗菌性能的影响。深入理解这种改性对材料性能的作用,为开发兼具有效密封性与抗菌能力的新一代根管封闭剂提供思路。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究选择iRoot SP根管封闭剂(Innovative Bioceramix Inc., 加拿大)作为基础材料。DMADDM的合成与验证参考既往文献完成[14]。本研究经四川大学华西口腔医院医学伦理委员会审查批准,批准号WCHSIRB-D-2023-032。

1.2 生物相容性及物理性能

1.2.1 生物相容性

将含有对应质量分数DMADDM的封闭剂置入圆柱形硅胶模具(内径5 mm, 高度2.5 mm)中,在37 ℃、相对湿度100%的条件下静置7 d,确保样品完全固化后对样品进行环氧乙烷灭菌。将每个样品分别浸泡于10 mL含体积分数10% 胎牛血清、体积分数1%青霉素和链霉素的DMEM(Gibco, 美国)中于37 ℃、体积分数5%CO_2培养箱中静置24 h后,以0.22 μm滤器(Merck Millipore, 美国)过滤得到封闭剂浸提液。将小鼠L929细胞系以5×10^3/孔的密度接种于96孔板中并在37 ℃、体积分数5%CO_2培养箱中培养24 h后,加入对应浸提液后再次培养24 h,通过细胞计数试剂盒-8(cell counting kit-8, CCK-8)(Dojindo, 日本)评估封闭剂的生物相容性。

1.2.2 溶解度

根据ISO 6876/2012指南测试样品溶解度(S)[15]。制备同1.2.1中所述的样品,待环氧乙烷灭菌后将所有样品称重3次,记录平均值为初始质量$W1$。将每个样品分别浸泡于10 mL 蒸馏水中静置14 d后,轻轻擦干表面水分并将于干燥环境中静置14 d。干燥后称重3次,记录平均值为最终质量$W2$。$W1$、$W2$单位均为克。溶解度计算公式: $S=(W1-W2)/W1\times100\%$。

1.2.3 流动性

根据ISO 6876/2012指南测试样品流动性[15]。在一块水平的光滑的玻璃板中央放置(0.05±0.005) mL的封闭剂,用另一块玻璃板覆盖封闭剂。通过添加重物使封闭剂上方玻璃板与重物的总重量为(120±2) g,以确保所有

封闭剂受力一致。10 min后去除封闭剂上方玻璃板和重物,使用电子游标卡尺测量受压后封闭剂的直径。

1.2.4 离体牙预备

收集离体人类单根牙齿10颗(无龋、根尖孔发育完全、无根折、无牙根吸收)采用随机数字表法分为两组: iRoot SP 组(质量分数0%DMADDM, n=5)与质量分数0.625%DMADDM改性iRoot SP 组(n=5)。从距离牙根根尖12 mm处切除牙冠,使用10号K锉疏通根管至其在根尖孔处可见,记录长度,工作长度为该长度减去0.5 mm。使用ProTaper Next(Dentsply Maillefer, 瑞士)镍钛器械预备根管至#40/06,预备期间使用质量分数1%NaClO冲洗。纸尖干燥后,采用单尖法进行根管充填。封闭剂加入0.1%质量分数罗丹明B(Solarbio, 中国)以便CLSM分析。充填完毕后树脂封闭冠部根管口,在37 ℃、100%相对湿度静置7 d固化。所有预备及充填均由同一位实验人员进行。

1.2.5 显微计算机断层扫描(micro-computed tomography, micro-CT)检测封闭性

通过micro-CT(SkyScan 1275, Bruker, 比利时)在65 kVp和80 μA下扫描样品。扫描分辨率为12 μm,旋转步长为0.1°。使用CT-Analyser(CTAn)1.18.4.0软件(Bruker microCT, 比利时)重建并分析所得图像。将每个样品分为根尖、中部、冠部三个部分,对空隙体积进行量化,并计算空隙百分比,反映封闭性。

1.2.6 共聚焦激光扫描显微镜(confocal laser scanning microscope, CLSM)检测渗透性

通过DTQ-5低速精密切割机(蔚仪, 中国)将完成预备后的离体牙水平切片,获得根尖、中部、冠部的水平切片,抛光机(Struers, 丹麦)将样品切片抛光至(1.0±0.1) mm厚度。使用激发波长为543 nm的CLSM(OLYMPUS, 日本)扫描每个样品。使用Digimizer 5.4.4软件(MedCalc Software Ltd., 比利时)分析捕获的图像,测量可见封闭剂渗透的根管壁长度,再将该长度除以根管壁周长以计算渗透百分比。

1.3 抗菌性

1.3.1 样品制备

通过48孔板的板盖制备树脂片,在树脂片上均匀涂布约35 mg的封闭剂,在37 ℃、100%相对湿度下静置7 d,固化后环氧乙烷灭菌。将样品随机分为未老化、老化1周和老化4周三组,按照分组进行老化处理后,分别浸泡于1.7 mL含质量分数1%蔗糖的脑心浸液肉汤(brain heart infusion broth, BHI)培养基(Difco, 美国)中48 h制备浸提液。为测试老化的影响,将灭菌后的样品于含质量分数1%蔗糖的BHI培养基中浸泡1周或4周完成老化。

1.3.2 生物膜构建

将粪肠球菌 ATCC 29212在厌氧条件(体积分数: 90% N_2, 5%CO_2, 5%H_2)下于BHI 培养基中培养至对数生长期后,用1.5 mL对应浸提液重悬粪肠球菌使浸提液内粪肠球菌终浓度为1×10^6 CFU/mL,在24孔板中厌氧条件下培养72 h以形成生物膜。为便于获取生物膜图像,在进行SEM及活死染色实验时于24孔板中置入细胞爬片以形成生物膜。在进行后续各项实验前,使用无菌PBS缓冲液轻柔冲洗2次以洗去浮游菌。1 mL BHI培养基重悬孔内生物膜,连续稀释后将悬液涂布于BHI琼脂平板,厌氧条件下培养24 h后计数菌落形成单位(colony-forming unit, CFU)。

1.3.3 结晶紫染色评估生物膜量

生物膜经99%质量分数甲醇固定后采用0.1%结晶紫染色,95%体积分数乙醇解离结合染料。取200 μL混合液至96孔板中,用Thermo Scientific Multiskan GO读数器(Thermo Fisher Scientific Inc., 美国)在OD 595 nm处记录吸光度读数,以评估生物膜量。

1.3.4 扫描电镜(scanning electron microscope, SEM)

将爬片转移至新的24孔板中,并用2 mL 2.5%戊二醛固定过夜。随后用乙醇溶液(体积分数50%、60%、70%、80%、90%、95%)进行梯度脱水,干燥后喷金,用SEM(FEI, 美国)获取生物膜图像。

1.3.5 活死染色

使用Syto9/PI活/死细菌双染试剂盒(懋康, 中国)对生物膜进行染色,并用配备60×油镜的CLSM(OLYMPUS, 日本)获取生物膜图像。

1.4 统计学方法

所有数据以$\bar{x}\pm s$表示。统计分析采用SPSS软件版本25.0 (SPSS Inc., 美国)进行。本研究以CFU计数作为主要评价指标,采用Levene检验评估方差齐性,随后采用单因素方差分析(one-way ANOVA)或Welch校正的单因素方差分析统计组间的差异。其余指标中,多组比较采用ANOVA结合Tukey事后检验进行,两组比较采用独立样本t检验进行。涉及多重比较的部分采用Bonferroni法校正以控制Ⅰ类错误风险。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 生物相容性、溶解度及流动性

CCK-8结果显示,DMADDM质量分数可影响细胞存活率,总体差异有统计学意义(F=22.515, P<0.001)。经Bonferroni 校正后,0.312 5%组(均值差=−2.36%, 95%可信区间: −21.99% ~ 17.27%)和0.625%组(均值差=−8.02%, 95%可信区间: −24.88% ~ 8.85%)与对照组的

差异无统计学意义(P>0.012 5),提示当DMADDM质量分数≤0.625% 时,改性封闭剂对小鼠成纤维细胞L929细胞系的生物相容性良好。见图1。同时,质量分数0.625% DMADDM并不影响iRoot SP的溶解度及流动性(P>0.05),且均符合ISO标准(溶解度<3% 或流动性>17 mm)。

2.2 封闭性

充填后离体牙3D重建模型如图2所示。计算离体牙内无封闭剂充填的区域体积与根管总体积的比例,结果显示改性前后封闭剂充填后的空隙率在牙根的各个区域的差异均无统计学意义(P>0.05),表明质量分数

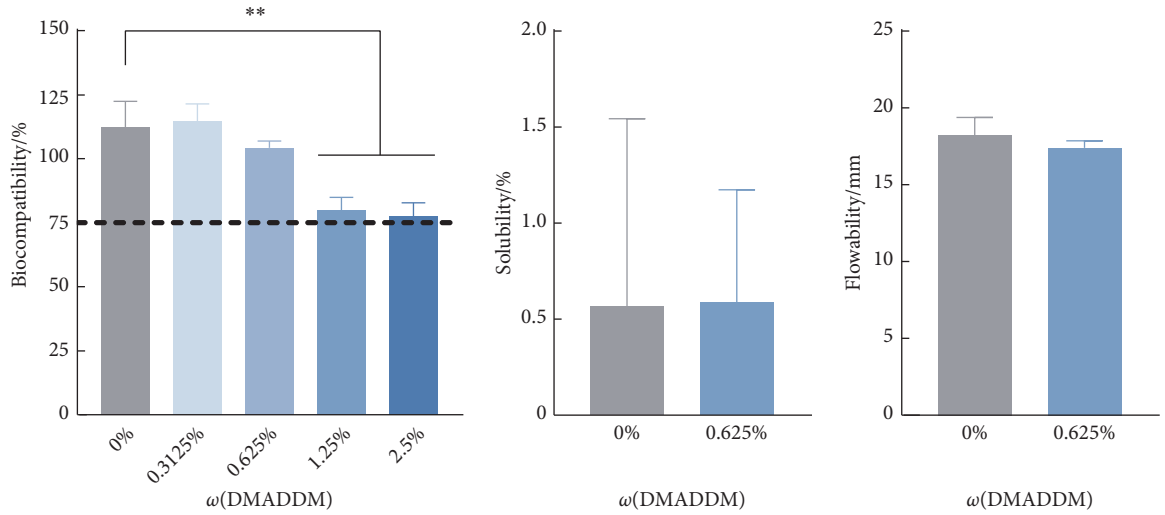

图 1 DMADDM对iRoot SP生物相容性、溶解度及流动性的影响

Fig 1 The effects of DMADDM on the biocompatibility, solubility, and flowability of iRoot SP

Dash line: criteria for evaluating material-related biocompatibility. ** P < 0.000 5; n = 3 per group.

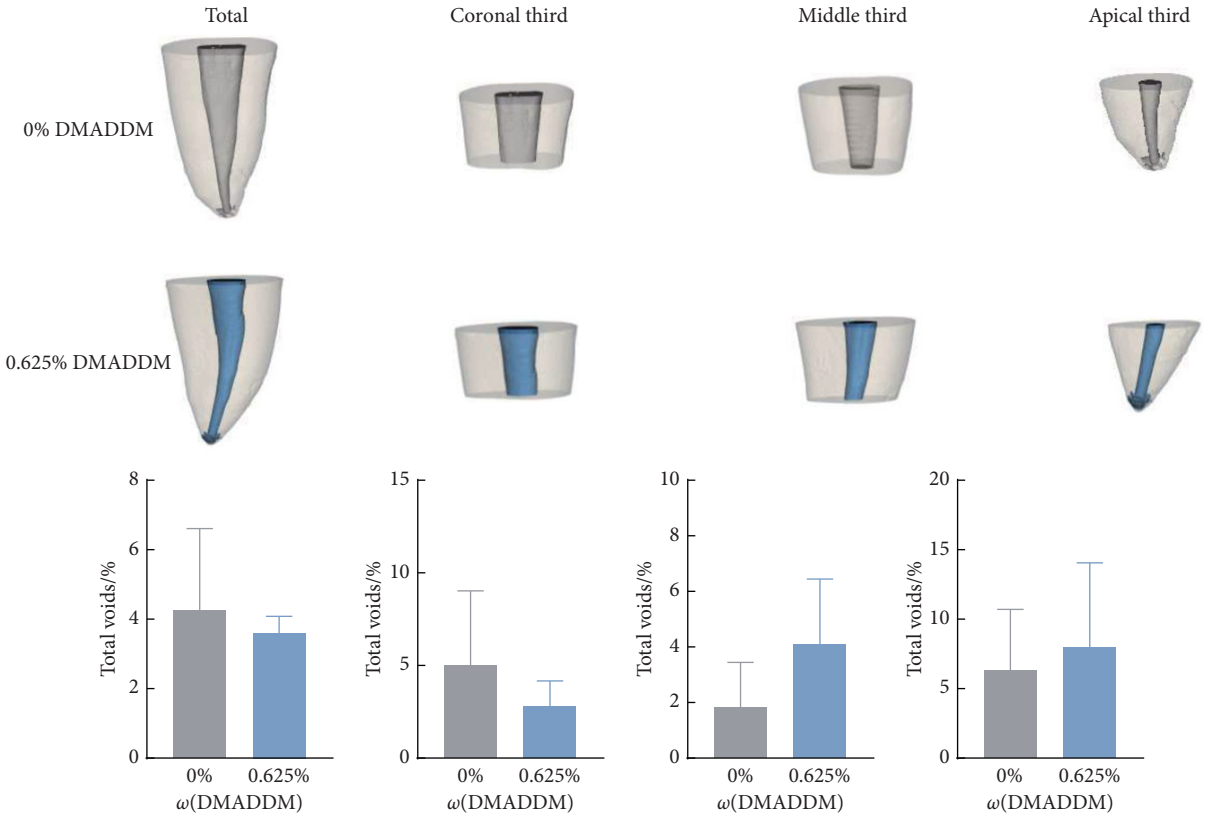

图 2 3D重建模型显示DMADDM对iRoot SP封闭性的影响

Fig 2 The 3D reconstruction model shows the effect of DMADDM on the sealing properties of iRoot SP

n = 5 per group.

0.625% DMADDM对iRoot SP的封闭性无明显影响。

2.3 渗透性

离体牙切片代表图像如图3所示。通过计算封闭剂渗透的根管壁长度占根管壁周长的百分比发现，改性前后封闭剂的渗透性差异无统计学意义（P>0.05）。改性前后封闭剂均在冠部显示良好的渗透率，中部次之，根尖三分之一的渗透率最低。

2.4 抗菌性

未老化时，质量分数0.625%DMADDM改性封闭剂组的粪肠球菌生物膜CFU计数低于对照组（0.518±0.333 vs. 8.156±0.011）（Welch校正P<0.001）。老化1周（7.327±0.068 vs. 7.422±0.035）或老化4周（7.479±0.065 vs. 7.581±0.071）后，改性前后的CFU计数差异无统计学意义（P>0.05）（图4A）。此外，在未老化时，结晶紫染色结果显示改性组的生物膜量低于对照组（均值差=86.94%，95%可信区间：74.82% ~ 99.07%，P<0.000 1）（图4B）。活死染色及SEM图像显示未老化时改性封闭剂能有效抑制粪肠球菌生物膜形成（图4C、4E），活死染色定量分析显示，改性组活菌/死菌比值下降（均值差=0.791，95%可信区间：0.478 ~ 1.104，P<0.01）（图4D）。上述结果均表明质量分数0.625% DMADDM显著增强了iRoot SP对粪肠球菌的抗菌性。

3 讨论

根管微生物常以生物膜形式存在于根管系统中，宿主自身防御系统或全身抗感染治疗对牙髓感染均无有效抑制作用[16-17]。同时根管系统本身解剖结构复杂多变，如牙本质小管、侧根管等的复杂解剖区域常成为根充材料的“盲区”及微生物的“庇护所”[18]。要达成对这些区域的完全封闭十分困难，因此如何有效抑制根管微生物也就成为了根管治疗中的一项关键。本研究围绕“在维持材料物理性能与生物学安全性稳定的同时，实现高效抗菌活性”这一核心问题展开。结果显示，当DMADDM质量分数为0.625%时，改性iRoot SP保持了良好的生物相容性以及符合ISO 6876/2012的溶解度与流动性，同时显著抑制了粪肠球菌生物膜的形成与活性；而在离体牙模型中，DMADDM的加入对封闭性与渗透性未造成不利影响。上述结果证实通过季铵盐改性以增强生物陶瓷封闭剂的抗菌能力是一种可行路径。

根管封闭剂的核心作用即充填牙胶尖与根管壁间的微间隙，限制细菌与其代谢产物的微渗漏[19]。大量研究

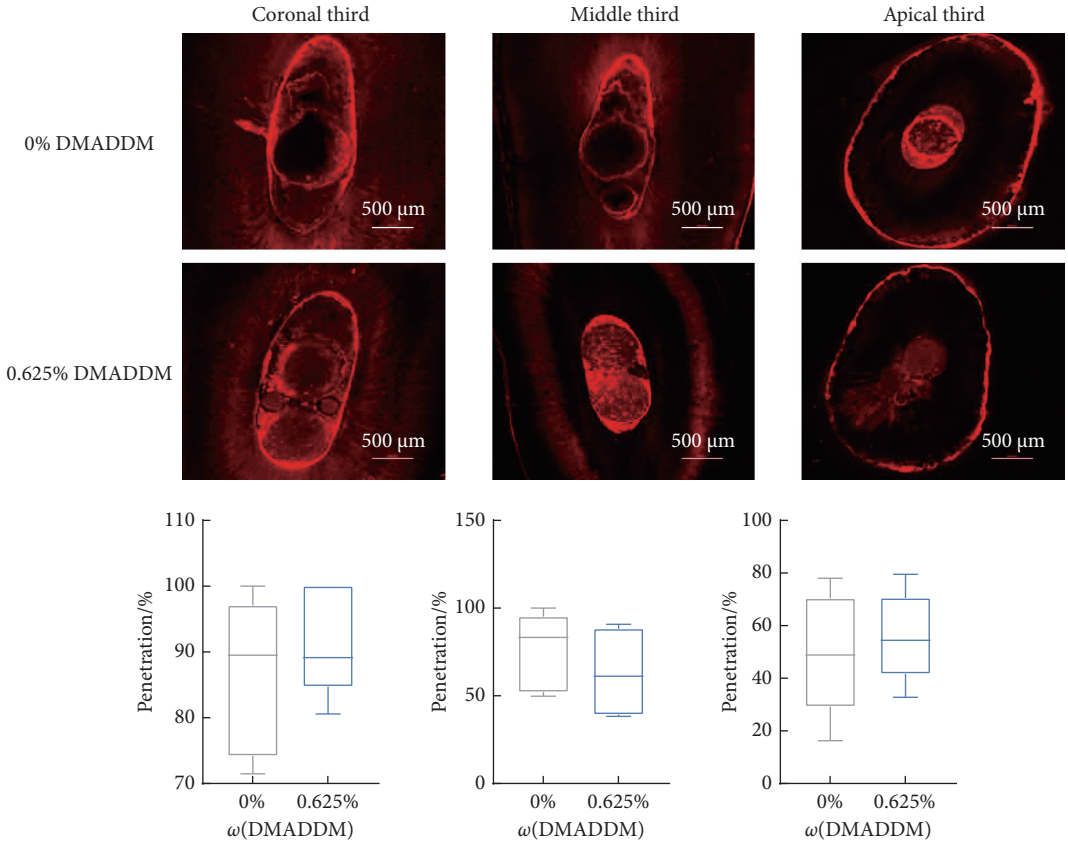

图 3 CLSM 图片显示DMADDM对iRoot SP渗透性的影响

Fig 3 CLSM images show the effect of DMADDM on the penetrability of iRoot SP

n = 5 per group.

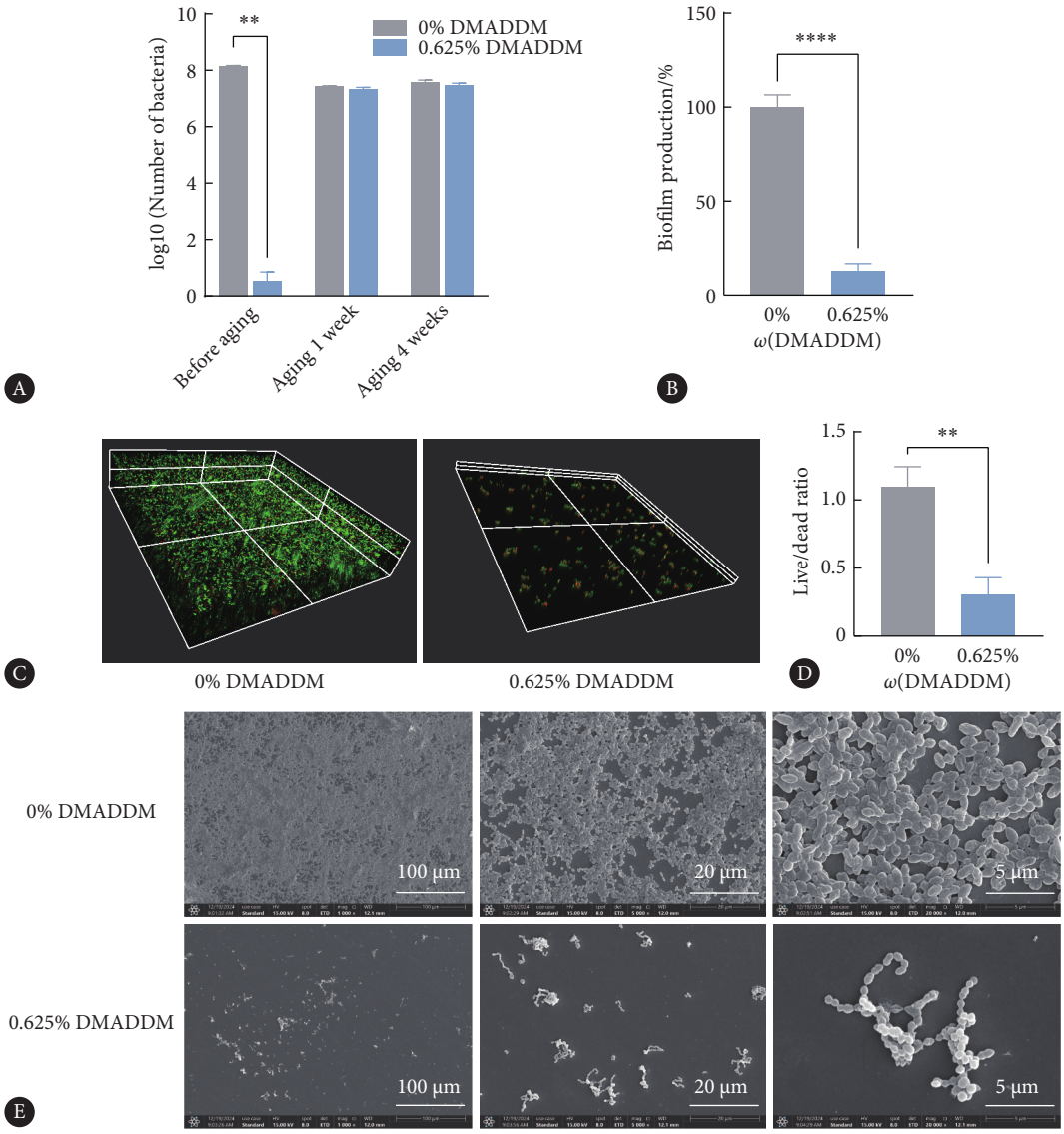

图 4 DMADDM对iRoot SP抗菌性的影响

Fig 4 The effect of DMADDM on the antibacterial properties of iRoot SP

A, CFU counts (n = 3); B, biomass tested by crystal violet assay (n = 3); C, representative live/dead staining CLSM images of *E. faecalis* biofilm; D, the statistical analysis of live/dead staining (n = 3); E, representative SEM images of *E. faecalis* biofilm. $^{****}P < 0.0001$, $^{**}P < 0.01$.

提示，即便在规范操作下，充填体系仍不可避免存在空隙，这些空隙可能成为微渗漏的通道，影响远期疗效[20-22]。我们的micro-CT量化结果表明，质量分数0.625% DMADDM并未改变iRoot SP在不同根段的空隙率，提示该改性策略在维持既有封闭性的同时显著增强了iRoot SP的抗菌性。

牙本质小管是根管系统的重要组成部分，研究表明根管微生物可以进入牙本质小管并滞留其中[23]。良好的渗透性有助于根管封闭剂进入牙本质小管，对小管进行封闭，形成更加完善且立体的充填[24]。在封闭剂中加入荧光染料罗丹明B进行标记，再通过CLSM即可直观呈现根管壁上封闭剂的渗出比例，但在生物陶瓷体系中可能存在“亲水染料高估渗透”的潜在偏倚[25]。尽管本研究未见异常偏高的渗透读数，但需要指出的是，我们采用的是“渗透根管壁百分比”而非“渗透深度”作为主要指标，在渗透性的评估上还有待优化。与之前的研究一致，封闭剂从根尖至冠部的渗透性逐渐增强，而在根尖三分之一的区域显示较差的渗透性，提示封闭剂仍存在改进的潜力[26]。最近的研究将磁性纳米颗粒加入树脂基根管封闭剂中，通过外部磁场的引导显著增强了封闭剂的渗透性[27]。这为增强iRoot SP的渗透性提供了方向。

DMADDM是接触杀菌型季铵盐，通过带正电的季铵基团破坏细菌膜结构并抑制生物膜成熟。与以前的研究一致，iRoot SP本身的抗菌能力较弱[8]。我们的CFU计

数、结晶紫染色与活/死染色、SEM观察等多指标一致显示: 低剂量DMADDM即可显著削弱粪肠球菌生物膜负荷。然而, 老化后改性组与对照组的CFU计数无明显差异。这提示DMADDM赋予的抗菌优势在水相老化后显著减弱, 这可能是DMADDM未与生物陶瓷基体形成稳定化学锚定, 在老化过程中发生淋洗所致。未来还需要考虑如何实现季铵基团的化学固定。尽管本研究显示改性封闭剂的长期抗菌能力欠缺, 但该改性策略即刻的显著抑菌效应可覆盖在冲洗剂作用衰减、侧枝根管或牙本质小管等区域易再定植的术后阶段, 降低初始生物膜负荷, 有望减少复发风险。需要指出的是, 临床感染多呈多菌种、生物膜共生形态, 粪肠球菌常占据重要生态位[28]。基于接触杀菌的机理推断, DMADDM对多物种生物膜亦具潜在效应, 但程度与持续性仍待多菌种模型验证。

本研究为离体与体外证据, 对于封闭性及渗透性的评估仅涵盖根管充填后1周, 观察周期有限; 渗透性未量化深度; 抗菌评价采用单菌种生物膜模型, 尚需多菌种的验证, 长期抗菌性也仍待改善。此外, 还需在动物模型中进行体内验证, 综合评估其对抗菌能力改性的真实效果。

综上所述, 本研究将DMADDM用于改性生物陶瓷类封闭剂iRoot SP, 对改性前后封闭剂的多种性能进行了综合评估。通过离体牙模型及体外抗菌实验发现, 质量分数0.625%DMADDM改性iRoot SP在维持良好物理性能与生物安全性的同时显著增强了对粪肠球菌生物膜的抑制能力。该改性策略为生物陶瓷封闭剂的功能化升级提供了可行路径, 后续还需多菌种模型及体内实验继续优化与验证。

*　*　*

作者贡献声明　马金溢负责数据审编、正式分析、调查研究、研究方法、研究项目管理、软件、验证、可视化和初稿写作, 李博磊负责经费获取、研究项目管理、提供资源、监督指导和审读与编辑写作, 程磊负责论文构思、经费获取、研究项目管理、提供资源、监督指导和审读与编辑写作。所有作者已经同意将文章提交给本刊, 且对将要发表的版本进行最终定稿, 并同意对工作的所有方面负责。

Author Contribution　MA Jinyi is responsible for data curation, formal analysis, investigation, methodology, project administration, software, validation, visualization, and writing--original draft. LI Bolei is responsible for funding acquisition, project administration, resources, supervision, and writing--review and editing. CHENG Lei is responsible for conceptualization, funding acquisition, project administration, resources, supervision, and writing--review and editing. All authors consented to the submission of the article to the Journal. All authors approved the final version to be published and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

利益冲突　本文作者程磊是本刊编委会青年编委。该文在编辑评审过程中所有流程严格按照期刊政策进行, 且未经其本人经手处理。除此之外, 所有作者均声明不存在利益冲突。

Declaration of Conflicting Interests　CHENG Lei is a member of the Junior Editorial Board of the journal. All processes involved in the editing and reviewing of this article were carried out in strict compliance with the journal's policies and there was no inappropriate personal involvement by the authors. Other than this, all authors declare no competing interests.

参　考　文　献

[1] KARAMIFAR K, TONDARI A, SAGHIRI M A. Endodontic periapical lesion: an overview on the etiology, diagnosis and current treatment modalities. Eur Endod J, 2020, 5(2): 54-67. doi: 10.14744/eej.2020.42714.

[2] YE L, CAO L, SONG W, *et al*. Interaction between apical periodontitis and systemic disease (review). Int J Mol Med, 2023, 52(1): 60. doi: 10.3892/ijmm.2023.5263.

[3] PIRANI C, CAMILLERI J. Effectiveness of root canal filling materials and techniques for treatment of apical periodontitis: a systematic review. Int Endod J, 2023, 56(Suppl 3): 436-454. doi: 10.1111/iej.13787.

[4] Al-ANI A M, ALI A H, KOLLER G. Assessment of bacterial load and post-endodontic pain after one-visit root canal treatment using two types of endodontic access openings: a randomized controlled clinical trial. Dent J (Basel), 2024, 12(4): 88. doi: 10.3390/dj12040088.

[5] SINGH H, MARKAN S, KAUR M, *et al*. "Endodontic Sealers": current concepts and comparative analysis. Dent Open J, 2015, 2(1): 32-37. doi: 10.17140/DOJ-2-107.

[6] ORTEGA M A, RIOS L, FRAILE-MARTINEZ O, *et al*. Bioceramic versus traditional biomaterials for endodontic sealers according to the ideal properties. Histol Histopathol, 2023, 39(3): 18664. doi: 10.14670/HH-18-664.

[7] ASHKAR I, SANZ J L, FORNER L, *et al*. Calcium silicate-based sealer dentinal tubule penetration-a systematic review of *in vitro* studies. Materials (Basel), 2023, 16(7): 2734. doi: 10.3390/ma16072734.

[8] YAN Y, LI Y, CHI Y, *et al*. A comparative study of biological properties of three root canal sealers. Clin Oral Investig, 2023, 28(1): 11. doi: 10.1007/s00784-023-05402-7.

[9] DENG Z, LIN B, LIU F, *et al*. Role of *Enterococcus faecalis* in refractory apical periodontitis: from pathogenicity to host cell response. J Oral Microbiol, 2023, 15(1): 2184924. doi: 10.1080/20002297.2023.2184924.

[10] KARKEHABADI H, KHOSHBIN E, GHASEMI N, *et al*. Deep learning for determining the difficulty of endodontic treatment: a pilot study. BMC Oral Health, 2024, 24(1): 574. doi: 10.1186/s12903-024-04235-4.

[11] LI Y, LI B, GUO X, *et al*. Applications of quaternary ammonium compounds in the prevention and treatment of oral diseases: state-of-the-art and future directions. J Dent, 2023, 137: 104678. doi: 10.1016/j.jdent.2023.104678.

[12] ALKHALIFA S, JENNINGS M C, GRANATA D, *et al*. Analysis of the destabilization of bacterial membranes by quaternary ammonium compounds: a combined experimental and computational study. Chembiochem, 2020, 21(10): 1510-1516. doi: 10.1002/cbic.201900698.

[13] HUANG Y, LI H, ZHU C G, *et al*. Anti-bacterial and anti-microbial aging effects of resin-based sealant modified by quaternary ammonium monomers. J Dent, 2021, 112: 103767. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103767.

[14] CHENG L, WEIR M D, ZHANG K, *et al*. Dental primer and adhesive containing a new antibacterial quaternary ammonium monomer dimethylaminododecyl methacrylate. J Dent, 2013, 41(4): 345-355. doi: 10.1016/j.jdent.2013.01.004.

[15] International Organization for Standardization (ISO). ISO 6876: 2012 Dental root canal sealing materials. Geneva: ISO, 2012.

[16] SIQUEIRA J F, RÔÇAS I N. Present status and future directions: microbiology of endodontic infections. Int Endodontic J, 2022, 55(S3): 512-530. doi: 10.1111/iej.13677.

[17] COPE A L, FRANCIS N, WOOD F, *et al*. Systemic antibiotics for symptomatic apical periodontitis and acute apical abscess in adults. Cochrane Database Syst Rev, 2024, 5(5): CD010136. doi: 10.1002/14651858.CD010136.pub4.

[18] LIU X, GAO M, BAI Q, *et al*. Evaluation of palatal furcation groove and root canal anatomy of maxillary first premolar: a CBCT and micro-CT study. Biomed Res Int, 2021, 2021: 8862956. doi: 10.1155/2021/8862956.
[19] KOMABAYASHI T, COLMENAR D, CVACH N, *et al*. Comprehensive review of current endodontic sealers. Dent Mater J, 2020, 39(5): 703-720. doi: 10.4012/dmj.2019-288.
[20] TABASSUM S, KHAN F R. Failure of endodontic treatment: the usual suspects. Eur J Dent, 2016, 10(1): 144-147. doi: 10.4103/1305-7456.175682.
[21] SAH S, MANGAT P, KUMAR A, *et al*. Stereomicroscopic evaluation of sealing ability of four different root canal sealers: an *in-vitro* study. BMC Oral Health, 2024, 24(1): 258. doi: 10.1186/s12903-024-03913-7.
[22] JAHA H S. Hydraulic (single cone) versus thermogenic (warm vertical compaction) obturation techniques: a systematic review. Cureus, 2024, 16(6): e62925. doi: 10.7759/cureus.62925.
[23] TEKINARSLAN D, ER K, EĞIN M, *et al*. The effect of various irrigants on mixed biofilms in dentinal tubules: a confocal laser scanning microscopy study. Microsc Res Tech, 2025, 88(9): 2586-2593. doi: 10.1002/jemt.24877.
[24] EĞEMEN A, BELLI S. The effect of primary root canal treatment on dentinal tubule penetration of calcium silicate-based sealers during endodontic retreatment. J Endod, 2022, 48(9): 1169-1177. doi: 10.1016/j.joen.2022.05.008.
[25] De-DEUS G, SOUZA E M, SILVA E J N L, *et al*. A critical analysis of research methods and experimental models to study root canal fillings. Int Endod J, 2022, 55(Suppl 2): 384-445. doi: 10.1111/iej.13713.
[26] FAN Y, WANG Z, SUN Y, *et al*. Effect of the modified methacrylate-based root canal sealer in single-cone technique. Nanomaterials (Basel), 2022, 12(21): 3722. doi: 10.3390/nano12213722.
[27] GUO X, SUN Y, WANG Z, *et al*. The preventive effect of a magnetic nanoparticle-modified root canal sealer on persistent apical periodontitis. Int J Mol Sci, 2022, 23(21): 13137. doi: 10.3390/ijms232113137.
[28] SHARMA J, JHAMB S, MEHTA M, *et al*. Prevalence of Enterococcus faecalis in refractory endodontic infections: A microbiological study. J Conserv Dent Endod, 2025, 28(5): 462-467. doi: 10.4103/JCDE.JCDE_871_24.

(2025 – 11 – 14收稿, 2026 – 03 – 14修回)

编辑 吕 熙

开放获取 本文使用遵循知识共享署名—非商业性使用4.0国际许可协议(CC BY-NC 4.0),详细信息请访问https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/。

OPEN ACCESS This article is licensed for use under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (CC BY-NC 4.0). For more information, visit https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.

© 2026《四川大学学报(医学版)》编辑部

Editorial Office of *Journal of Sichuan University (Medical Sciences)*

本 刊 征 稿 启 事

《四川大学学报(医学版)》(原《华西医科大学学报》)是由教育部主管、四川大学主办的综合性医药类学术刊物,以报道医学相关学科的科研成果为主。主要阅读对象为从事医药卫生工作的科研人员及高等医药院校的师生。2021年起,本刊设有专家笔谈、专家共识、指南解读、医学教育、中医药·中西医结合、论著、临床研究及新技术新方法等栏目。

创刊以来,本刊曾荣获各级部门颁发的数次荣誉称号,如全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖提名奖、国家期刊奖百种重点期刊奖、教育部中国高校精品科技期刊、中国国际影响力优秀学术期刊、中国高校编辑出版质量优秀科技期刊、中国高校百佳科技期刊等。现已被中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)、中国科学引文数据库(CSCD)(核心版)、北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》、中国学术期刊网全文数据库(CNKI)、美国《医学索引》(IM/MEDLINE)、美国生物医学全文数据库PubMed Central(PMC)、美国EBSCO学术数据库、美国《生物学文摘》(BA)、美国《化学文摘》(CA)、荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)、Embase数据库、开放获取期刊目录(DOAJ)、西太平洋地区医学索引数据库(WPRIM)、日本科学技术振兴机构数据库(JST)等检索系统收录。

凡属于国家重点研发计划、国家自然科学基金及其他部省级以上科研基金资助的来稿或具有创新性、实用性等的来稿,编辑部将优先发表。欢迎积极投稿!

本刊在线投稿网址: https://ykxb.scu.edu.cn

地址: 四川省成都市人民南路三段17号《四川大学学报(医学版)》编辑部

邮政编码: 610041

联系电话: (028)85501320, (028)85500106

E-mail: scuxbyxb@scu.edu.cn

《四川大学学报(医学版)》编辑部