

• 临床研究 •

不同根管封闭剂结合单尖法封闭椭圆形根管
欠预备最大长度限度的研究蒋宇^{1,2}, 于洪友^{2△}

(1. 重庆市渝北区中医院口腔科, 重庆 401120; 2. 大连大学口腔医学院, 辽宁 大连 116022)

[摘要] 目的 探讨 iRoot SP 和 iMTA SP 2 种生物陶瓷类根管封闭剂结合单尖法, 在机械预备欠预备不同长度时对椭圆形根管充填长度的影响, 评估其临床应用价值。方法 选取 100 颗符合纳入标准的离体前磨牙, 随机均分为 4 组, 对应欠预备长度 0、2、4、6 mm。每组分为 3 个亚组, 其中 AH Plus 对照组样本数为 5 个, iRoot SP 和 iMTA SP 组样本数均为 10 个, 采用 iRoot SP 和 iMTA SP 封闭剂时, 结合单尖法充填。分析各组充填后欠充填长度的差异。结果 欠预备长度 0 mm 和 2 mm 组, 3 种封闭剂恰填率均为 100.0%; 欠预备长度大于 2 mm 后, AH Plus 组恰填率为 0; 欠预备长度 4 mm 组, iMTA SP 组恰填率为 100.0%, 高于 iRoot SP 组(90.0%)。欠预备长度 6 mm 组, iMTA SP 组欠充填长度明显较 iRoot SP 组短, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 其恰填率为 80.0%, 高于 iRoot SP 组(40.0%), iRoot SP 组内只有在欠预备长度 6 mm 组分别与 0、2 mm 组欠充填长度比较, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 其余组内欠充填长度比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论 根管治疗机械欠预备时, iRoot SP 封闭剂适用于欠预备长度 4 mm 以内的椭圆形根管; iMTA SP 封闭剂可用于欠预备长度 6 mm 以内的椭圆形根管, 临床应用价值更优。

[关键词] 张口受限; 椭圆形根管; 欠预备; 根管封闭剂; 单尖法

DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2026.04.014

中图法分类号: R781.05

文章编号: 1009-5519(2026)04-0795-05

文献标识码: A

Evaluation of the maximum length limit of underprepared oval-shaped canals
sealed with different root canal sealers using the single-cone techniqueJIANG Yu^{1,2}, YU Hongyou^{2△}

(1. Department of Stomatology, Yubei District Hospital of TCM, Chongqing 401120, China;

2. School of Dental Medicine, Dalian University, Dalian, Liaoning 116022, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the impact of iRoot SP and iMTA SP bioceramic root canal sealers combined with the single-cone technique on the filling length of oval root canals with insufficient mechanical preparation, and assess their clinical value. **Methods** A total of 100 extracted premolars were randomly divided into four groups with 0, 2, 4, and 6 mm of insufficient preparation. Each group was further divided into three subgroups. The control group (AH Plus) had 5 specimens, while the iRoot SP and iMTA SP groups each had 10 specimens. For specimens sealed with iRoot SP and iMTA SP, the single-cone technique was used for obturation. The underfilling length after obturation was compared among all groups. **Results** In the 0 mm and 2 mm underprepared length groups, the rate of optimal filling was 100.0% for all three sealers. However, when the underprepared length exceeded 2 mm, when the underprepared length exceeded 2 mm, the optimal filling rate in the AH Plus group dropped to 0; in the 4 mm underprepared length group, the iMTA SP group achieved an optimal filling rate of 100.0%, which was higher than that of the iRoot SP group (90.0%). In the 6 mm underprepared length group, the underfilling length in the iMTA SP group was significantly shorter than that in the iRoot SP group, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The optimal filling rate in the iMTA SP group was 80.0%, which was higher than that in the iRoot SP group (40.0%). Within the iRoot SP group, significant differences in underfilling length were observed only between the 6 mm underprepared length group and the 0 mm and 2 mm groups ($P < 0.05$), while no significant differences were found among the other subgroups ($P > 0.05$). **Conclusion** When mechanical preparation is underprepared, iRoot SP is suitable for oval-shaped root canals with underpreparation lengths within 4 mm, while iMTA SP has a broader application range, extending to underpreparation lengths up to 6 mm.

△ 通信作者, E-mail: yuhongyou@dlu.edu.cn.

引用格式: 蒋宇, 于洪友. 不同根管封闭剂结合单尖法封闭椭圆形根管欠预备最大长度限度的研究[J]. 现代医药卫生, 2026, 42(4): 795-799.

[Key words] Limitation of mouth opening; Elliptical root canal; Incomplete preparation; Root canal sealer; Single-cone technique

根管治疗作为牙髓炎及根尖周病的核心治疗手段,其成功依赖于根管系统的清洁、成形和严密封闭^[1]。然而,一些特殊病例会影响根管预备长度,如弯曲复杂变异根管、器械分离和张口受限等。根管系统复杂多变,如严重弯曲、根尖分叉^[2]等根管系统达到工作长度的机械预备往往比较困难,且预备过程中常会出现器械分离等并发症,不能取出分离的器械或建立旁路^[3]时,无法进行常规的根管治疗;张口受限是口腔颌面部常见症状,严重影响患者的生活质量^[4],尤其在根管治疗中,其增加了操作难度^[5-6],影响根管充填封闭的效果^[1]。但随着预备技术的革新,如光声流效应引导下的微创机械化学预备流体充填治疗(PUMCH)技术^[7]可以通过完善的根管荡洗替代部分根管机械清理,简化根管治疗的步骤、缩短治疗时间,弥补部分机械预备的不足。所以一定程度的机械预备欠预备也可以考虑严密封闭根管系统,将残留的细菌包埋在根管中,防止口腔环境中的微生物及其代谢产物进入根尖周组织^[8],降低再感染的风险,延长患牙的使用时间。因此,选择具有良好流动性和封闭性能的根管封闭剂,结合单尖法充填技术^[9],可能成为弯曲复杂变异根管、器械分离和张口受限等机械预备欠预备问题的潜在方案。有研究表明,生物陶瓷类根管封闭剂具有良好的理化性能,如良好的流动性、生物相容性及封闭性等,且该材料固化后体积微膨胀的特性^[10-13]为根管充填以牙胶尖为主向封闭剂为主转变提供了契机。然而,关于生物陶瓷类根管封闭剂在机械预备欠预备椭圆形根管中的最大可接受长度及其封闭长度的系统研究仍较少。

本研究对比 iRoot SP 和 iMTA SP 2 种封闭剂结合单尖法,探究不同欠预备长度下对椭圆形根管欠充填长度的影响,评估其流动性与临床价值,为特殊牙髓炎、根尖周炎患者根管治疗提供依据,探索欠预备的长度限度以优化方案,提升根管治疗的成功率。

1 材料与方法

1.1 材料 17% 乙二胺四乙酸(EDTA)溶液(朗力,中国)、2.5% NaClO 溶液(朗力,中国)、牙胶尖(B&L,韩国)、iMTA SP 封闭剂(朗力,中国)、iRoot SP 封闭剂(Innovative Bioceramix,加拿大)、AH Plus 封闭剂(登士柏,德国)、37% 磷酸酸蚀剂(观雅,中国)、粘接剂(3 M,美国)、玻璃离子水门汀(启登特,中国)、流动树脂(3 M,美国)、无菌纸尖(Dentsply Sirona,德国)、生理盐水(辽宁亿帆,中国);光固化灯(啄木鸟,中国)、硅橡胶(沪鸽,中国);WaveOne Gold 系统(Dentsply,美国)、X-Smart Plus 根管马达(Dentsply,美国)、携热器(Dentsply,美国)、恒温恒湿培养箱(精宏,中国)。

1.2 实验分组 符合实验要求的 100 颗离体牙唯一编号后由 SPSS 软件随机分组,样本共分为 4 组($n=25$),对应欠预备长度 0、2、4、6 mm。每组分为 3 个亚组,其中 AH Plus 对照组样本数为 5 个,iRoot SP 和 iMTA SP 组样本数均为 10 个。

1.3 实验方法

1.3.1 样本处理 本研究已通过重庆市渝北区中医院伦理委员会审批(Ybqzzy2024-2 号),患者知情同意后进行。选取 2024 年 6 月至 2025 年 1 月期间,因正畸治疗需要拔除的 100 颗符合纳入标准的离体牙作为研究对象。纳入标准:牙齿长度 ≥ 15 mm 且发育完全,初尖锉为 10# K 锉,CBCT 扫描显示为椭圆形单根管(在距离根尖 5 mm 处,根管内径的长径与短径之比 ≥ 2)。排除标准:牙齿既往曾行牙体牙髓治疗、根管内钙化、根尖及牙体内外有吸收和破坏、牙体有明显裂纹、根管弯曲度 $> 10^\circ$ (Schneider 法)^[14]。去除样本表面牙石及软组织后,放于硅橡胶制作的离体牙模型内,保存于生理盐水中。

1.3.2 根管探查与牙体处理 用 10# K 锉对符合标准的离体前磨牙进行根管探查,磨除部分牙冠,去除牙尖斜面干扰,使根尖孔到冠方横截面的长度约为 15 mm。

1.3.3 根管预备 根管预备由熟练掌握 25# Wave-Onegold 机用镍钛锉系统和 X-smart plus 根管马达的同一操作者完成。开髓后,以 10# k 锉探测根管记录长度,用 10# 拔髓针拔髓。样本分为欠预备长度 0、2、4、6 mm 组,每预备 3 个样本更换新器械,以 2.5% NaClO 溶液冲洗。锉在根管内停留不超 5 s,更换器械时清理碎屑并冲洗。单支锉提拉幅度约 3 mm,每 3 次清理沟槽并冲洗。每个根管 2.5% NaClO 溶液 10 mL、生理盐水 5 mL、17% EDTA 5 mL、生理盐水 5 mL 依次冲洗。预备不回锉,冲洗后吹干根管,用吸潮纸尖确认根尖干燥。

1.3.4 根管充填 欠预备长度 0、2、4、6 mm 组分别采用 iRoot SP 封闭剂(每组 10 个样本)、iMTA SP 封闭剂(每组 10 个样本)、AH Plus 封闭剂(每组 5 个样本)。通过糊剂注射法将封闭剂置于根管中部,充填至低于根管口平面约 3 mm 处。再用 06 锥度 25# 登士柏牙胶尖推向根尖,AH Plus 封闭剂按照标准调拌后使用 06 锥度 25# 登士柏牙胶尖蘸取涂满根管壁并推向根尖,携断后玻璃离子暂封、酸蚀、粘接,流动树脂封闭开髓孔。

1.3.5 样本保存与观察 充填完成后,将离体牙置于生理盐水中,于 37 °C、湿度 100% 恒温箱储存 14 d 后拍摄 X 线片。由 2 名经过培训后的主治医师读片记录,根管恰充判断标准:恰充指充填密封良好且根

充物距根尖 0.50~2.00 mm;欠充指有透射影或根充物距根尖超 2.00 mm。统计差异由第 3 位高资历医师确定。

1.4 统计学处理 使用 SPSS21.0 软件对欠充填长度作统计学分析。首先对欠预备相同长度时采用 3 种根管封闭剂的欠充填长度作组间 Shapiro-Wilk 正态性检验及欠预备不同长度时采用同种根管封闭剂的欠充填长度作组内 Shapiro-Wilk 正态性检验。若数据为正态分布,继续行 Levene 方差齐性检验。若各组欠充填长度数据间方差齐,采用单因素 ANOVA 检验比较总体欠充填长度均值,用 LSD-*t* 检验比较两两之间的欠充填长度均值;如各组数据间方差不齐,用 Welch 检验比较总体欠充填长度均值,用 Games-Howell 检验对两两之间的欠充填长度均值进行比较。如果数据为非正态分布,采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,使用 Kruskal-Wallis 检验对总体欠充填长度的差异进行比较,用 Mann-Whitney *U* 检验比较各组两两之间欠充填长度的差异,应用 Bonferroni 校正, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3 种根管封闭剂充填恰填率 3 种根管封闭剂对欠预备不同长度的根管充填效果见图 1。欠预备长度 0、2 mm 组恰填率均为 100.0%;欠预备长度 4 mm 组恰填率由高到低依次为 iMTA SP(100.0%) > iRoot SP(90.0%) > AH Plus(0.0%);欠预备长度 6 mm 组恰填率由高到低依次为 iMTA SP(80.0%) > iRoot SP(40.0%) > AH Plus(0.0%)。可见 3 种封闭剂对欠预备根管均有一定补偿性充填能力,但恰填率随欠预备长度增加而显著降低。iMTA SP 封闭剂在欠预备长度 4、6 mm 组中表现最优。见表 1。

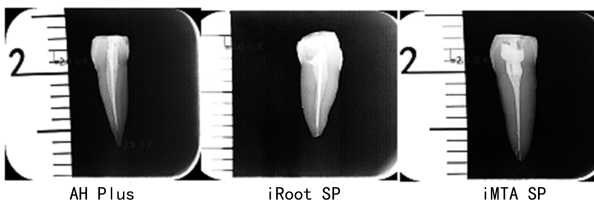


图 1 欠预备长度 4 mm 组 X 线片测量结果

2.2 3 种根管封闭剂欠充填长度比较 在欠预备长度 0、2 mm 组中,3 种根管封闭剂欠充填长度中位数均符合恰填长度(0.50~2.00 mm);但在欠预备长度

4、6 mm 组, AH Plus 封闭剂欠充填长度分别为 2.90(2.75~3.15)、3.90(3.80~4.05) mm, > 恰填长度,与 iRoot SP 和 iMTA SP 比较,差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。iRoot SP 封闭剂和 iMTA SP 封闭剂在欠预备长度 2、4 mm 组欠充填长度比较,差异无统计学意义 ($P > 0.05$),但在欠预备长度 6 mm 组, iMTA SP 封闭剂欠充填长度 [1.45(0.83~2.40) mm] 符合恰填长度,且明显较 iRoot SP 封闭剂 [2.30(0.45~2.83) mm] 短,差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 1 3 种根管封闭剂在不同欠预备长度下的恰填率 (%)

欠预备长度	AH Plus	iRoot SP	iMTA SP
0 mm	100.0	100.0	100.0
2 mm	100.0	100.0	100.0
4 mm	0	90.0	100.0
6 mm	0	40.0	80.0

2.3 iRoot SP 与 iMTA SP 封闭剂对不同欠填长度的充填效果比较 iRoot SP 封闭剂在欠预备长度 4 mm 组的恰填率为 90.0%,欠充填长度为 0.15(0.00~0.93) mm,符合恰填长度,分别与欠预备长度 0、2 mm 组的欠充填长度组内比较,差异无统计学意义 ($P > 0.05$),表明 iRoot SP 封闭剂对于欠预备长度 4 mm 以内的补偿性充填具有优势,但在 6 mm 组,其恰填率降至 40.0%,与欠预备长度 0、2 mm 组比较,差异有统计学意义 ($P < 0.05$),欠充填长度 [2.30(0.45~2.83) mm] > 恰填长度,表明 iRoot SP 封闭剂对于欠预备长度 6 mm 的补偿性充填具有明显局限性。iMTA SP 封闭剂在 4 mm 组恰填率为 100.0%,欠充填长度为 0.15(0.00~0.93) mm,分别与欠预备长度 0、2 mm 组的欠充填长度组内比较,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$),然而在欠预备长度 6 mm 组,虽然与欠预备长度 0、2、4 mm 组的欠充填长度比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),但恰填率为 80.0%,欠充填长度 [1.45(0.83~2.40) mm] 符合恰填长度,显示 iMTA SP 封闭剂对于欠预备长度 6 mm 的补偿性充填具有一定优势。所以在补偿欠预备长度 4 mm 以内的根管时, iRoot SP 封闭剂效果显著,但在补偿 6 mm 以内的根管时, iMTA SP 封闭剂优势明显。见表 3。

表 2 3 种根管封闭剂欠充填长度比较 [$M(P_{25} \sim P_{75})$, mm]

根管封闭剂	<i>n</i>	欠预备长度 0 mm	欠预备长度 2 mm	欠预备长度 4 mm	欠预备长度 6 mm
AH Plus	20	0.00(0.00~0.35)	1.00(0.95~1.15)	2.90(2.75~3.15)	3.90(3.80~4.05)
iRoot SP	40	0.00(0.00~0.00)	0.00(0.00~0.75) ^a	0.15(0.00~0.93) ^a	2.30(0.45~2.83) ^a
iMTA SP	40	0.00(0.00~0.00)	0.00(0.00~0.00) ^a	0.15(0.00~0.93) ^a	1.45(0.83~2.40) ^{ab}

注:与 AH Plus 组比较, ^a $P < 0.05$;与 iRoot SP 组比较, ^b $P < 0.05$ 。

表 3 iRoot SP 与 iMTA SP 封闭剂欠充填长度 Mann-Whitney U 检验结果(P 值)

根管封闭剂	欠预备长度	欠预备长度	欠预备长度	欠预备长度	欠预备长度	欠预备长度
	0 mm vs. 2 mm	0 mm vs. 4 mm	0 mm vs. 6 mm	2 mm vs. 4 mm	2 mm vs. 6 mm	4 mm vs. 6 mm
iRoot SP 封闭剂	1.000	0.630	0.012	1.000	0.018	0.312
iMTA SP	1.000	0.738	0.012	0.378	0.012	0.042

3 讨 论

本研究结果显示, AH Plus 封闭剂只有在封闭欠预备长度 2 mm 以内的根管时可实现恰填。据 DONNERMEYER 等^[15]研究发现 AH Plus 封闭剂流动长度为 26.16 mm, 本实验结果中 AH Plus 组欠充填长度显著高于 iRoot SP 和 iMTA SP 组, 这主要归因于 AH Plus 封闭剂的成分与固化特性。AH Plus 的主要成分包含双酚 A/F 环氧树脂、钨酸钙、氧化锆、二氧化硅等, 通过聚合反应固化^[16], 固化后体积收缩率达 1.5%~2.0%^[17]; 同时, AH Plus 封闭剂存在侧方加压适应性差、人工调拌难以均匀及操作敏感性高^[18]等问题, 导致其在未预备根管内的流动性存在明显局限性。

相较之下, iRoot SP 和 iMTA SP 作为生物陶瓷类根管封闭剂, 成分决定了其性能优势。iRoot SP 主要由硅酸钙、氧化锆、磷酸二氢钙等组成, iMTA SP 则包含硅酸钙、氧化锆、氢氧化钙、磷酸钙、聚乙二醇和羟丙基甲基纤维素等, 其中硅酸钙作为核心成分, 遇水发生水化反应, 生成氢氧化钙和硅酸钙水凝胶, 增强生物活性, 具有良好封闭性^[15,19-20]。iRoot SP 的流动长度为 27.35 mm^[15], 流动性良好, 且固化后膨胀率为 0.002%^[21], 因此在各组中的恰填率高于 AH Plus 组。此外, 有研究表明, 封闭剂流动性受颗粒大小等多种因素影响, 改变粉末粒度分布可显著增强根管填充材料性能^[17], 随着超细粉末含量增加, 封闭剂注射性能可提升至 95% 以上, 流动性从 18 mm 增加到 35 mm^[22]。而本实验结果显示, iMTA SP 组的恰填率、充填长度表现优于 iRoot SP 组, 可能是 iMTA SP 封闭剂通过调整主要成分粉末的粒度分布实现的。且何新宇等^[7]通过对慢性根尖周炎患牙行完善的根管化学消毒替代部分机械清理, 并通过负压引导 iMTA SP 封闭剂完成根管充填后窦道愈合, 可见 iMTA SP 封闭剂具有良好的流动性、生物相容性和封闭性等。综合而言, iMTA SP 封闭剂在应对机械欠预备椭圆形根管时表现更佳, 这得益于其良好的流动性、与根管壁的高度贴合性, 以及优异的微湿环境固化和固化后体积微膨胀特性^[16], 使 iMTA SP 封闭剂在欠预备根管中也能实现有效填充与良好封闭^[20,23-24]。

以往研究往往未充分关注机械欠预备长度对根管封闭长度的影响。而本研究专门针对弯曲复杂变异根管、器械分离和张口受限等导致的机械欠预备的特定复杂根管病例展开对比研究, 弥补了该领域的研究不足。为临床医生在处理特殊患者根管治疗时, 如何选择合适的根管封闭剂提供了科学、可靠的依据,

且 iMTA SP 封闭剂因其能耐受更大范围的机械欠预备长度, 可作为优先选择。

本研究也存在一定局限性。首先, 本研究采用离体牙实验, 但在口腔环境中, 唾液、细菌等多种因素会对根管封闭剂的性能产生影响, 因此后续研究有必要通过动物实验或临床研究进一步验证本研究结果。其次, 本研究仅观察了根管封闭剂固化 14 d 后的封闭效果, 而根管治疗是一个长期的过程, 根管封闭剂在更长时间内的稳定性和封闭长度变化尚未明确, 未来可延长观察时间。此外, 本研究在机械预备欠预备根尖区时, 利用生物相容性材料封闭根管系统, 期望将残留细菌包埋在根管中, 降低再感染的风险。未来研究可聚焦于化学预备领域, 强化根管治疗化学预备技术, 并探索将负压冲洗、超声、声波、激光等活化技术^[25]与纳米颗粒递送系统^[26]、水凝胶递送系统^[27]等智能递送系统相结合, 通过完善的根管化学消毒替代部分机械清理^[7], 开展多模态联合治疗, 以此完善相关理论和临床应用。

综上所述, iMTA SP 根管封闭剂在机械预备欠预备时, 于根管封闭长度上优势明显, 在处理弯曲复杂变异根管、器械分离和张口受限等临床病例中应用价值高。因本研究存在局限性, 未来需深入探究, 以促进根管治疗技术发展完善。

参考文献

- [1] 杨荣霖, 王华超, 薛明. 根管的机械预备与感染控制[J]. 中国实用口腔科杂志, 2024, 17(5): 513-517.
- [2] BERGHUIS G, COSYN J, DE BRUYN H, et al. A controlled study on the diagnostic accuracy of panoramic and peri-apical radiography for detecting furcation involvement[J]. BMC Oral Health, 2021, 21(1): 115.
- [3] TERAUCHI Y, SEXTON C, BAKLAND L K, et al. Factors affecting the removal time of separated instruments[J]. J Endod, 2021, 47(8): 1245-1252.
- [4] SANTIAGO-ROSADO L M, LEWISON C S. Trismus [M]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025.
- [5] 姚飞.《临床根管治疗学(第二版)》出版: 临床根管治疗的思路与策略研究[J]. 介入放射学杂志, 2023, 32(4): 后插 4.
- [6] 戴聪, 汪磊. 微创器械联合单尖法在张口受限患者根管治疗中的应用[J]. 口腔医学研究, 2022, 38(1): 51-55.
- [7] 何新宇, 董阳, 吴宣, 等. PUMCH 疗法: 根管治疗的临床新路径[J/OL]. 协和医学杂志, 2025-04-23 [2025-05-08]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=Z3g7xh44_ZioO2tlozzLTiJ6AbYS7zrLVUxFAgZ1giLGVcr8Tt0lr5TTbbCbPeKbYvRXYQSw8FB_b9_5Jcdoyw4XPaxB-IIU6Mx2qPZG6Wf_Zb6HIIHQSi3D-dN2oUS1hIK3saDe2bdHZTlt_wOIIQ1N47JL5XoOVPNhoZg_PvHcI4MSS

UHoMg = &uniplatform = NZKPT&language = CHS.

- [8] 杨小倩, 杨蕊琦, 田俊, 等. 以生物陶瓷材料为封闭剂的单尖充填法应用现状与展望[J]. 中华口腔医学杂志, 2022, 57(4): 424-429.
- [9] 彭若冰, 黄丽, 刘林花, 等. iRoot SP 单尖充填法与 AH Plus 热牙胶垂直加压充填法应用于一次性根管治疗的临床疗效观察[J]. 临床口腔医学杂志, 2024, 40(7): 398-401.
- [10] SERON M A, NUNES G P, FERRISSE T M, et al. Post-operative pain after root canal filling with bioceramic sealers: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials[J]. *Odontology*, 2023, 111(4): 793-812.
- [11] 张纪敏, 乔玮玮, 狄跃, 等. 新型根管充填材料 i-MTA SP 的根管封闭性能初探[J]. 临床口腔医学杂志, 2024, 40(9): 515-519.
- [12] 许婉倩, 薛明. 三种根管封闭剂应用于单尖法根管充填后封闭性的比较研究[D]. 沈阳: 中国医科大学, 2023.
- [13] UYGUN A D, ŞEN S, ÇELİK S. Comparison of biocompatibility of epoxy resin and bioceramic-based root canal sealers[J]. *Clin Oral Investig*, 2024, 28(12): 673.
- [14] 杨雯君, 韩佳佳, 王逸尘, 等. 不同方法去除根管内充填材料的效果评价[J]. 华西口腔医学杂志, 2022, 40(6): 685-689.
- [15] DONNERMEYER D, IBING M, BÜRKLEIN S, et al. Physico-Chemical investigation of endodontic sealers exposed to simulated intracanal heat application: hydraulic Calcium Silicate-Based sealers [J]. *Materials (Basel)*, 2021, 14(4): 728.
- [16] LYU W J, BAI W, WANG X Y, et al. Physicochemical properties of a novel bioceramic silicone-based root canal sealer[J]. *J Dent Sci*, 2022, 17(2): 831-835.
- [17] ÅRSTAVIK D. Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing[J]. *Endod Topics*, 2010, 12(1): 25-38.
- [18] 陈珍珍, 刘刚, 朱坤鹏. 生物陶瓷充填材料和 AH-Plus 糊剂对成人慢性根尖周炎根管治疗疗效及血清骨保护素

RANKL 的影响[J]. 河北医学, 2025, 31(1): 91-96.

- [19] SFEIR G, ZOGHEIB C, PATEL S, et al. Calcium Silicate-Based root canal sealers: a narrative review and clinical perspectives[J]. *Materials (Basel)*, 2021, 14(14): 3965.
- [20] ZAMPARINI F, PRATI C, TADDEI P, et al. Chemical-physical properties and bioactivity of new premixed calcium silicate-bioceramic root canal sealers[J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(22): 13914.
- [21] ZHEKOV K I, STEFANOVA V P. Definition and classification of bioceramic endodontic sealers[J]. *Folia Med (Plovdiv)*, 2021, 63(6): 901-904.
- [22] DUAN X, TAN Y N, ZHANG D C, et al. Effects of superfine tricalcium silicate powder on the physicochemical and mechanical properties of its premixed cement as a root canal filling material[J]. *Materials (Basel)*, 2024, 17(2): 347.
- [23] DE SOUZA L C, NEVES G S T, KIRKPATRICK T, et al. Physicochemical and biological properties of AH Plus bioceramic[J]. *J Endod*, 2023, 49(1): 69-76.
- [24] VENKATRAMAN S K, SWAMIAPPAN S. Review on calcium- and magnesium-based silicates for bone tissue engineering applications [J]. *J Biomed Mater Res A*, 2020, 108(7): 1546-1562.
- [25] 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.
- [26] 董尚兰, 冷沙, 郑庆华, 等. 金属基纳米粒子在控制根管感染中的应用[J]. 国际口腔医学杂志, 2024, 51(6): 785-792.
- [27] CAO M, WU D, TU H, et al. Injectable hydrogel as intracanal medication for root canal disinfection[J]. *J Dent Res*, 2025, 104(5): 503-512.

(收稿日期: 2025-05-08 修回日期: 2025-10-23)

(上接第 794 页)

- [32] SZUKIEWICZ D. CX3CL1 (fractalkine)-CX3CR1 axis in inflammation-induced angiogenesis and tumorigenesis [J]. *Int J Mol Sci*, 2024, 25(9): 4679.
- [33] WILLIAMS H, MACK C, BARAZ R, et al. Monocyte differentiation and heterogeneity: inter-subset and interindividual differences[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(10): 8757.
- [34] LV Y, YANG Z Y, HAI L, et al. Differential alterations of CXCR3, CXCR5 and CX3CR1 in patients with immune thrombocytopenia[J]. *Cytokine*, 2024, 181: 156684.
- [35] WOJCIECHOWICZ K, SPODZIEJA M, LISOWSKA K A, et al. The role of the BTLA-HVEM complex in the pathogenesis of autoimmune diseases[J]. *Cell Immunol*, 2022, 376: 104532.
- [36] RODRIGUEZ-BARBOSA J I, SCHNEIDER P, WEIGE-

RT A, et al. HVEM, a cosignaling molecular Switch, and its interactions with BTLA, CD160 and LIGHT[J]. *Cell Mol Immunol*, 2019, 16(7): 679-682.

- [37] PALUCH C, SANTOS A M, ANZILOTTI C, et al. Immune checkpoints as therapeutic targets in autoimmunity [J]. *Front Immunol*, 2018, 9: 2306.
- [38] YU X P, ZHENG Y J, MAO R C, et al. BTLA/HVEM signaling: milestones in research and role in chronic hepatitis B virus infection[J]. *Front Immunol*, 2019, 10: 617.
- [39] ESENSTEN J H, HELOU Y A, CHOPRA G, et al. CD28 costimulation: from mechanism to therapy[J]. *Immunity*, 2016, 44(5): 973-988.

(收稿日期: 2025-06-30 修回日期: 2025-11-28)