

3种根管封闭剂充填效果的Micro-CT评估

黄日鸿¹ 曾祥倪^{1,2} 蒋丽^{1,2} 张立霞^{1,2} 朱静雅^{1,3} 何飞¹

1. 深圳市人民医院 (暨南大学第二临床医学院, 南方科技大学第一附属医院) 口腔科, 深圳 518020;

2. 暨南大学口腔医学院, 广州 510632;

3. 深圳市第三人民医院 (南方科技大学第二附属医院) 口腔科, 深圳 518112

[摘要] **目的** 应用Micro-CT评价3种生物材料根管封闭剂iRoot SP、C-Root SP及GuttaFlow Bioseal (GFB)的根管充填效果。**方法** 选取60颗单根单管离体前磨牙, 截冠使工作长度统一为12 mm, 机用镍钛根管预备至30号06锥度。样本随机分成6组, 使用3种根管封闭剂、2种充填法进行根管充填, 分别为iRoot SP+单尖法充填、C-Root SP+单尖法充填、GFB+单尖法充填、iRoot SP+超声活化单尖法充填、C-Root SP+超声活化单尖法充填、GFB+超声活化单尖法充填。对充填样本进行Micro-CT扫描, Mimics 22.0软件进行根管系统三维重建, 计算根管整体充填率及根冠1/3、根中1/3、根尖1/3的分段充填率。**结果** 3种根管封闭剂的整体充填率均大于90%。单尖法根管充填时, GFB的根管整体充填率、根冠1/3及根中1/3段充填率均低于iRoot SP、C-Root SP ($P<0.01$), iRoot SP与C-Root SP充填率间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。超声活化单尖法根管充填时, GFB的根管整体充填率及各段充填率均低于iRoot SP、C-Root SP ($P<0.01$), iRoot SP与C-Root SP充填率间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。2种充填方法对比, 除C-Root SP单尖法充填时根尖1/3充填率低于超声活化单尖法 ($P<0.01$), GFB单尖法充填时根冠1/3充填率高于超声活化单尖法 ($P<0.01$)外, 其余充填率间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 3种生物材料根管封闭剂使用单尖法及超声活化单尖法充填根管的整体充填率良好, 其中iRoot SP与C-Root SP的充填效果相似, 相比GFB具有更好的充填质量。C-Root SP配合超声活化单尖法能提高根尖段充填率。

[关键词] 根管充填; 根管封闭剂; iRoot SP; C-Root SP; GuttaFlow Bioseal; Micro-CT

[中图分类号] R781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2025.2025009



本文链接 开放科学标识码

Evaluation of the filling effects of three root canal sealers by Micro-CT

Huang Rihong¹, Zeng Xiangni^{1,2}, Jiang Li^{1,2}, Zhang Lixia^{1,2}, Zhu Jingya^{1,3}, He Fei¹

1. Dept. of Stomatology, Shenzhen People's Hospital (The Second Clinical Medical College, Jinan University; The First Affiliated Hospital, Southern University of Science and Technology), Shenzhen 518020, China; 2. School of Stomatology, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 3. Dept. of Stomatology, The Third People's Hospital of Shenzhen (The Second Affiliated Hospital, Southern University of Science and Technology), Shenzhen 518112, China

Supported by: Shenzhen Natural Science Foundation (JCYJ20210324114005016, JCYJ20180228164611173)

Correspondence: He Fei, E-mail: hefeixqkq@aliyun.com

[Abstract] **Objective** This study aimed to evaluate the filling effects of three biomaterial root canal sealers [iRoot SP, C-Root SP, and GuttaFlow Bioseal (GFB)] by using Micro-CT. **Methods** Sixty single-canal detached premolars were selected. After crown amputation, their uniform working length was set at 12 mm and prepared to a 06 taper 30# with M3 nickel-titanium file. The samples were randomly divided into six groups with different sealers

[收稿日期] 2025-01-06; **[修回日期]** 2025-02-19

[基金项目] 深圳市自然科学基金 (JCYJ20210324114005016, JCYJ20180228164611173)

[第一作者] 黄日鸿, 住院医师, 硕士, E-mail: bryanhuan17@163.com

[通信作者] 何飞, 主任医师, 博士, E-mail: hefeixqkq@aliyun.com

and obturation techniques: iRoot SP+single-cone technique (SC), C-Root SP+SC, GFB+SC, iRoot SP+single cone-mediated ultrasonic technique (SU), C-Root SP+SU, and GFB+SU. Samples were scanned by Micro-CT, and the total and segmented filling rates were calculated with Mimics 22.0 software after 3D reconstruction. **Results** The overall filling rate of the three biomaterial root canal sealers was higher than 90%. The overall and coronal third and middle third segment filling rate of groups iRoot SP+SC, C-Root SP+SC was higher than that of group GFB+SC ($P<0.01$), with no significant difference between groups iRoot SP+SC and C-Root SP+SC ($P>0.05$). On the apical third, no significant difference was found among each group ($P>0.05$). The overall and segment filling rate of groups iRoot SP+SU and C-Root SP+SU was higher than that of GFB+SU ($P<0.01$), with no significant difference between groups iRoot SP+SU and C-Root SP+SU ($P>0.05$). The filling rate of the apical 1/3 of group C-Root+SC was lower than that of group C-Root+SU ($P<0.01$), and the filling rate of the coronal 1/3 of group GFB+SC was higher than that in the GFB+SU ($P<0.01$). Nevertheless, no significant difference was found in other filling rate of two obturation techniques ($P>0.05$). **Conclusion** The overall filling rate of the three biomaterial root canal sealers using SC and SU are satisfactory. iRoot SP and C-Root SP have similar filling rates, which are significantly higher than that of GFB. C-Root SP combined with SU technique can improve the filling quality of the root apical.

[Key words] root canal filling; root canal sealer; iRoot SP; C-Root SP; GuttaFlow Bioseal; Micro-CT

对整个根管系统进行三维严密充填是根管治疗成功的关键^[1-2]。根充空隙的存在会降低封闭的质量,成为致病菌的定植中心,甚至可能连接到牙本质小管运输感染物^[3-4]。因此根充空隙率成为评价根充质量的重要指标。根充空隙的产生受多种因素的影响,例如根管解剖结构、根管预备的质量、封闭剂的稠度和体积、根管充填方法等。牙胶尖配合根管封闭剂是当前常用根管充填方式。根管封闭剂可填充牙胶尖与根管壁之间的间隙,增强根管封闭效果。

生物陶瓷封闭剂主要以硅酸钙、磷酸钙等生物陶瓷材料为主要成分。iRoot SP (Innovative Bio-Creamix公司,加拿大)作为经典的生物陶瓷类根管封闭剂,已有研究^[5]表明其具有良好的理化性能、生物学性能及根尖封闭性能。C-Root SP (北京赛濡特口腔医疗器械有限公司)是2021年国产新型生物陶瓷类根管封闭剂,主要由硅酸锶、磷酸二氢钙、磷酸二氢钾、二氧化锆填料和乙二醇基凝胶组成。作为一种亲水性密封剂,C-Root SP可利用根管内的水分完成固化反应且固化时不会收缩^[6]。GuttaFlow Bioseal (GFB, Coltène/Whaledent公司,瑞士)是一种以牙胶粉末、聚二甲基硅氧烷、硅酸钙及微量纳米银颗粒等为成分的生物活性封闭剂,于2015年底上市。GFB具有加压触变性及固化后0.2%~0.6%的体积聚合膨胀,能更好地充填细小侧支根管,达到最佳的三维充填效果。目前对于上述3种生物活性封闭剂封闭性能的比较研究还较少。

根充方法对根充质量也有影响。单尖充填法

因操作敏感性较低、对牙本质损伤小等优点^[7],近年来广泛应用于临床工作中。该方法主要依赖于封闭剂的良好流动性填充牙胶尖与牙本质之间的空隙,从而提供一个紧密的封闭。为了更好地消除空隙, Kim等^[8]提出了超声活化单尖充填法(single cone-mediated ultrasonic activation),将超声设备与牙胶尖相连,将能量传递给根管内的封闭剂,以期提高填充质量。

Micro-CT三维重建分析已被验证为一种可靠的定性和定量方法,分辨率可达5 μm,可以显示根充空隙、间隙和再治疗剩余填充物的存在^[8-10]。因此本研究拟应用Micro-CT对iRoot SP、C-Root SP及GFB这3种封闭剂单尖法及超声活化单尖法的充填率进行对比分析,评估不同封闭剂、不同充填方法对充填质量的影响,为临床应用提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 研究对象

收集深圳市人民医院口腔颌面外科完整拔除的单根单管前磨牙60颗。纳入标准:根管弯曲度 $<20^\circ$ (Schneider法测量^[11]),牙根发育完成,根尖孔完整,牙根无折裂,牙齿未行根管治疗术,根管无内外吸收或根管钙化。排除标准:根管形态变异。

所有入选牙齿均取得患者知情同意并签署知情同意书,本研究通过深圳市人民医院医学伦理委员会批准(批件号:LL-KY-2023073-02)。

1.2 样本制备

牙齿拔除后刮除牙结石及牙周膜组织，储存于常温生理盐水中，每日更换生理盐水。样本牙常规开髓，以显微镜下可见10号K锉锉尖露出根尖孔后退0.5 mm作为根尖止点，将样本牙截冠使之工作长度统一为12 mm。所有样本均采用M3机用镍钛锉（上海益锐齿科材料有限公司）在17% EDTA凝胶辅助润滑下按厂家使用说明根管预备至30号06锥度。每次更换器械使用生理盐水和5.25%次氯酸钠溶液反复交替冲洗根管，最后使用17%EDTA和3%次氯酸钠分别被动超声冲洗30 s，重复2次，每次换液使用生理盐水置换，最后使用纸尖干燥根管，备用。

1.3 样本分组及根管充填

根管预备后样本采用纸条抽签方式随机分成6组，使用3种根管封闭剂、2种充填法进行根管充填，分别为iRoot SP+单尖法充填、C-Root SP+单尖法充填、GFB+单尖法充填、iRoot SP+超声活化单尖法充填、C-Root SP+超声活化单尖法充填、GFB+超声活化单尖法充填。

选择合适主牙胶尖插入根管（达到工作长度时回拉有阻力）。拍摄试尖牙片确认工作长度。按照分组使用不同封闭剂以单尖法或超声活化单尖法充填。使用携热器（BL公司，韩国）在根管口下1 mm处将主牙胶尖切断，垂直加压器加压，擦除冠方多余封闭剂，流体树脂封闭根管口。

单尖法充填步骤：各根管封闭剂按照厂家推荐的方法注入根管，直至溢出根管口，缓慢插入主牙胶尖到工作长度。

超声活化单尖法充填步骤：各根管封闭剂按照厂家推荐的方法注入根管，将P5超声仪（赛特力公司，法国）频率调至8，用镊子夹住主牙胶尖距离尖端20 mm处，以ET20超声工作尖持续震荡镊子，将主牙胶尖缓慢插入根管至工作长度，此过程2~3 s（图1）。

离体牙根管口流体树脂封闭后置于生理盐水中，37℃、湿度100%的恒温箱固化7 d，室温干燥1 d后行Micro-CT扫描。若流体树脂脱落，即以额外样本补足。

1.4 Micro-CT扫描分析

使用Micro-CT（Quantum GX2，PerkinElmer公司，美国）对根管充填样本进行扫描（拍摄剂量4 264 mGy，扫描时间4 min，层厚36 μm），并将DICOM文件导入Mimics 22.0软件进行根管系统三维重建，利用阈值函数分别对根管容积和根

管充填物体积进行识别和量化（图2、3）。将根充物在冠方的第一个可视化片切层面确定为第一层，在根方的最后可见片切层面确定为最后一层，根据片总数除以3，将牙根分为根冠1/3、根中1/3、根尖1/3（图4），分别计算根冠1/3、根中1/3及根尖1/3的分段充填率及整体充填率。计算公式为：充填率=（ $V_{\text{充填物}}/V_{\text{根管}}$ ）×100%，其中 $V_{\text{充填物}}$ 为根管内充填物体积， $V_{\text{根管}}$ 为根管体积。

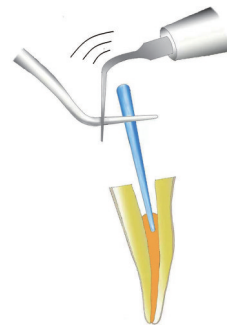
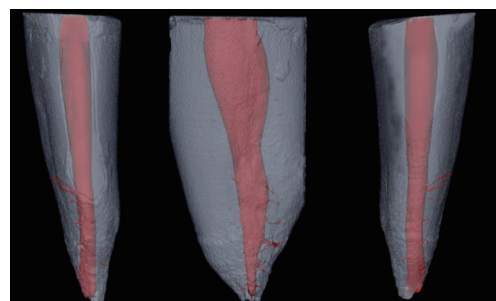


图 1 超声活化单尖充填方法示意图

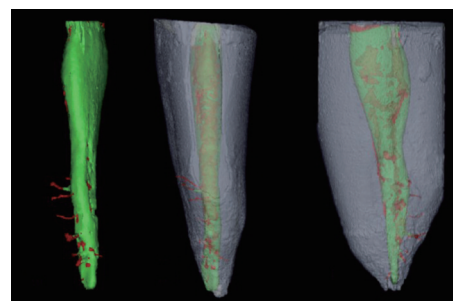
Fig 1 Illustration of the single cone-mediated ultrasonic technique for canal filling



红色为根管容积。

图 2 根管三维重建示意图

Fig 2 Illustration of 3D reconstruction of root canal



左：充填物与空隙或间隙的三维重建；中：近远中向截面；右：颊舌向截面。红色部分为空隙或间隙，绿色部分为糊剂及牙胶尖。

图 3 三维重建充填后的根管示意图

Fig 3 Illustration of 3D reconstruction of the filled root canal

1.5 统计学分析

采用SPSS 25.0软件对数据进行统计分析。根

管整体充填率、根管分段充填率为计量资料,以均数±标准差表示。所有数据均行正态性检验和方差齐性检验。符合正态分布及方差齐,使用单因素方差分析进行检验,Bonferroni法进行组间两两比较。方差不齐,则采用Welch近似 F 检验。 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

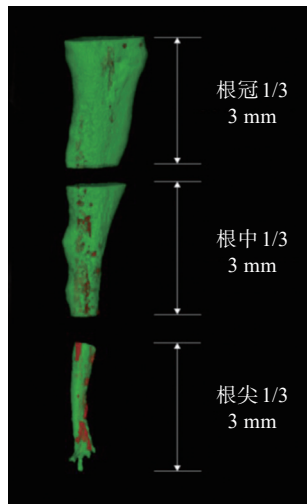


图4 根管分段示意图

Fig 4 Illustration of root canal segmentation

2 结果

2.1 3种根管封闭剂单尖法根管充填效果的情况

iRoot SP、C-Root SP、GFB单尖法根管充填的整体充填率分别为 $97.06\% \pm 1.26\%$ 、 $95.97\% \pm 1.78\%$ 、 $92.64\% \pm 2.64\%$,整体充填率均大于90%。统计分析表明,iRoot SP与C-Root SP充填率间的差异无统计学意义($P>0.05$),GFB充填率低于iRoot SP、C-Root SP,差异有统计学意义($P<0.01$)。结果表明,3种根管封闭剂单尖法根管充填整体情况良好,iRoot SP与C-Root SP整体充填质量优于GFB。

iRoot SP、C-Root SP、GFB单尖法根管分段充填的情况见表1。1)3种根管封闭剂间比较的统计分析表明,在根冠1/3及根中1/3段,GFB的充填率低于iRoot SP、C-Root SP,差异有统计学意义($P<0.01$),iRoot SP与C-Root SP充填率间的差异无统计学意义($P>0.05$);在根尖1/3段,GFB的充填率稍低于iRoot SP、C-Root SP,但差异无统计学意义($P>0.05$)。2)同一根管封闭剂不同根管分段充填率间比较的统计分析表明,iRoot SP不同根管分段间的充填率差异无统计学意义($P>0.05$),C-Root SP、GFB不同根管分段间的充填率差异有

统计学意义($P<0.01$, $P<0.05$),根尖1/3段充填率低于根冠1/3、根中1/3段。结果表明,GFB在根冠1/3、根中1/3段充填情况欠佳可能是其整体充填率偏低的主要原因。各根管封闭剂在根尖1/3段充填率较根冠、根中段均有不同程度降低。

表1 3种根管封闭剂使用单尖法充填的根管分段充填率比较

Tab 1 Comparison of root canal filling rates in different segments using the single-cone technique with three sealers

根管封闭剂	n	充填率/%			P值
		根冠 1/3	根中 1/3	根尖 1/3	
iRoot SP	10	97.84±0.80	97.36±2.17	92.64±5.82	0.052
C-Root SP	10	96.57±2.07	96.74±2.10	92.79±2.89	<0.01
GFB	10	93.87±2.30	92.02±2.80	89.71±4.05	<0.05
P值		<0.01	<0.01	0.174	

2.2 3种根管封闭剂超声活化单尖法充填效果的情况

iRoot SP、C-Root SP、GFB超声活化单尖法根管充填的整体充填率分别为 $96.49\% \pm 1.91\%$ 、 $96.61\% \pm 1.73\%$ 、 $90.34\% \pm 3.37\%$,整体充填率均大于90%。统计分析表明,GFB充填率低于iRoot SP、C-Root SP,差异有统计学意义($P<0.01$);iRoot SP与C-Root SP充填率间差异无统计学意义($P>0.05$)。结果表明,iRoot SP、C-Root SP超声活化单尖法充填单根管前磨牙的整体质量优于GFB。

iRoot SP、C-Root SP、GFB超声活化单尖法根管分段充填的情况见表2。1)3种根管封闭剂间比较的统计分析表明,GFB在根管各段充填率均低iRoot SP、C-Root SP,差异有统计学意义($P<0.01$),iRoot SP与C-Root SP间各分段充填率差异均无统计学意义($P>0.05$)。2)同一根管封闭剂不同根管分段充填率间比较的统计分析表明,iRoot SP、C-Root SP不同根管分段间的充填率差异无统计学意义($P>0.05$),GFB不同根管分段间的充填率差异有统计学意义($P<0.05$),根冠1/3段充填率低于根中1/3、根尖1/3段。结果表明,iRoot SP与C-Root SP超声活化单尖法充填,在根管各段均能达到良好充填。

2.3 3种根管封闭剂2种充填方法充填效果的比较

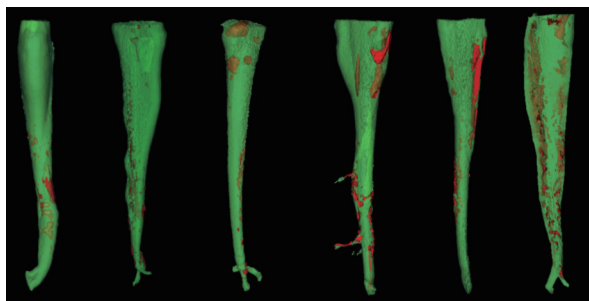
3种根管封闭剂2种充填方法充填后三维重建透视图见图5,充填率比较见表3。1)3种根管封闭剂使用单尖法及超声活化单尖法进行根管充填的整体充填率间的差异均无统计学意义($P>0.05$)。2)对根管分段充填情况进一步分析,除C-Root

SP单尖法充填时根尖1/3段充填率低于超声活化单尖法 ($P<0.01$)，GFB单尖法充填时根冠1/3充填率高于超声活化单尖法 ($P<0.01$) 外，其余充填率间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

表 2 3种根管封闭剂使用超声活化单尖充填的根管分段根管充填率比较

Tab 2 Comparison of root canal filling rates in different segments using the single cone-mediated ultrasonic technique with three sealers

根管封闭剂	n	充填率/%			P值
		根冠1/3	根中1/3	根尖1/3	
iRoot SP	10	96.75±1.69	97.12±2.16	96.37±4.65	0.941
C-Root SP	10	95.72±2.04	96.60±1.46	97.47±1.10	0.142
GFB	10	88.04±3.01	90.41±2.77	92.86±2.88	<0.05
P值		<0.01	<0.01	<0.01	



从左到右分别为：iRoot SP单尖充填法、iRoot SP超声活化单尖充填法、C-Root SP单尖充填法、C-Root SP超声活化单尖充填法、GFB单尖充填法、GFB超声活化单尖充填法。绿色为充填物，红色为空隙或间隙。

图 5 3种根管封闭剂2种充填方法充填后三维重建透视图

Fig 5 3D reconstruction of filled root canal using three sealers with two filling techniques

表 3 3种根管封闭剂2种充填方法的充填率比较

Tab 3 Comparison of filling rates of three root canal sealers with two filling techniques

根管封闭剂	部位	n	P值
			单尖充填法-超声活化单尖充填法
iRoot SP	根冠1/3	10	0.088
	根中1/3	10	0.807
	根尖1/3	10	0.130
	整体	10	0.441
C-Root SP	根冠1/3	10	0.368
	根中1/3	10	0.867
	根尖1/3	10	<0.01
	整体	10	0.421
GFB	根冠1/3	10	<0.01
	根中1/3	10	0.219
	根尖1/3	10	0.061
	整体	10	0.106

3 讨论

根充质量直接影响根管治疗的远期疗效，而根充空隙率是评价根充质量的重要指标^[12]。本研究使用Micro-CT结合三维重建软件建立了根管模型，呈现出立体的根管解剖形态，精确地观察到根管侧支的形态、充填物及空隙的存在，并根据需要将模型进行透视、切割等，从而避免既往有创实验方法样本处理可能的风险和误差。相比较根尖片或锥形束CT，Micro-CT的分辨率可达到5 μm，可以从更微观的角度评价根管充填质量。

Jardine等^[13]应用Micro-CT研究发现，MTA Angelus、iodentine和Neo MTA Plus封闭剂在充填后都会在界面牙本质及材料内部产生空隙。与此结果相似，本研究中3种根管封闭剂2种充填方法充填后均存在不同程度空隙，未能达到完全严密充填，但整体充填率均大于90%，总体充填情况良好。本研究还对3种根管封闭剂的分段充填率进行比较，发现GFB无论是整体充填率还是根冠1/3、根中1/3及根尖1/3段的充填率均较iRoot SP、C-Root SP低。本研究条件下iRoot SP与C-Root SP在单根管前磨牙中的充填效果均优于GFB，推测除了材料的性能差异外，可能与体外实验环境也有关。Gandolfi等^[14]研究表明，GFB具有高吸水性，可吸收环境液体部分补偿溶解造成的体积变化。本实验的样本充填后统一浸泡于生理盐水中固化7 d，干燥环境可能导致GFB固化后未得到足够的液体吸收补偿，此推测尚需进一步的实验验证。

根充方法是影响根充质量的重要因素。冷侧压充填是过去临床上常用的充填方法，常作为参考来评价其他充填法。研究^[15-16]表明，单尖充填与冷侧压充填具有相似充填效果，而单尖充填因优越的充填效率，近年来已逐渐被认可。此外，Kim等^[3]提出超声活化单尖充填法，将超声设备与牙胶尖相连，通过超声波振动去除多余的气泡，同时又不会对密封剂完整性产生影响，以实现更好的填充质量和更少的空隙。Ko等^[17]对同种封闭剂下超声活化单尖法与单尖充填法的根管整体充填率进行比较，发现二者无明显差别。本研究同样发现，3种根管封闭剂使用单尖法及超声活化单尖法进行根管充填时整体充填率间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

本研究使用Micro-CT评价3种封闭剂在单个

直根管离体牙的充填质量,发现C-Root SP、iRoot SP及GFB均具有良好的根管整体充填率,C-Root SP配合超声活化单尖法能提高根尖段充填率。3种封闭剂对于复杂根管的充填性能及临床长期疗效,今后尚需要进一步研究。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] Keleş A, Keskin C. Presence of voids after warm vertical compaction and single-cone obturation in band-shaped isthmuses using Micro-computed tomography: a phantom study[J]. *Microsc Res Tech*, 2020, 83(4): 370-374.
- [2] 张琛. 根管充填的难点和误区[J]. *华西口腔医学杂志*, 2017, 35(3): 232-238.
Zhang C. Difficulties and misunderstandings of root canal filling[J]. *West China J Stomatol*, 2017, 35(3): 232-238.
- [3] Kim JA, Hwang YC, Rosa V, et al. Root canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer applied using gutta-percha cone-mediated ultrasonic activation[J]. *J Endod*, 2018, 44(1): 133-138.
- [4] Moizadeh AT, Zerbst W, Boutsioukis C, et al. Porosity distribution in root canals filled with gutta percha and calcium silicate cement[J]. *Dent Mater*, 2015, 31(9): 1100-1108.
- [5] Rodríguez-Lozano FJ, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, et al. Evaluation of cytocompatibility of calcium silicate-based endodontic sealers and their effects on the biological responses of mesenchymal dental stem cells [J]. *Int Endod J*, 2017, 50(1): 67-76.
- [6] Jing Y, Gong T, Duan CG, et al. *In vitro* cytocompatibility and osteogenic potential of calcium silicate-based dental cements in a root canal-filling model[J]. *J Int Med Res*, 2020, 48(4): 300060519894801.
- [7] Deniz Sungur D, Moizadeh AT, Wesselink PR, et al. Sealing efficacy of a single-cone root filling after post space preparation[J]. *Clin Oral Invest*, 2016, 20(5): 1071-1077.
- [8] Shen I, Daniel J, Vo K, et al. Use of Micro-CT to examine effects of heat on coronal obturation[J]. *J Oral Sci*, 2022, 64(3): 224-227.
- [9] Mavishna MV, Venkatesh KV. Comparative evaluation of retreatability of calcium silicate-based root canal sealers and epoxy resin-based root canal sealers in curved canals—an *in-vitro* Micro-CT analysis[J]. *Indian J Dent Res*, 2021, 32(1): 79-86.
- [10] Kuhn JL, Goldstein SA, Feldkamp LA, et al. Evaluation of a microcomputed tomography system to study trabecular bone structure[J]. *J Orthop Res*, 1990, 8(6): 833-842.
- [11] Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1971, 32(2): 271-275.
- [12] Kim JC, Moe MMK, Kim SK. A micro-computed tomographic evaluation of root canal filling with a single gutta-percha cone and calcium silicate sealer[J]. *Restor Dent Endod*, 2020, 45(2): e18.
- [13] Jardine AP, Rosa KFV, Matoso FB, et al. Marginal gaps and internal voids after root-end filling using three calcium silicate-based materials: a Micro-CT analysis[J]. *Braz Dent J*, 2021, 32(4): 1-7.
- [14] Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Properties of a novel polysiloxane-guttapercha calcium silicate-bioglass-containing root canal sealer[J]. *Dent Mater*, 2016, 32(5): e113-e126.
- [15] 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.
Yang XQ, Yang RQ, Tian J, et al. Application status and prospect of single-cone obturation technique with bioceramic sealers[J]. *Chin J Stomatol*, 2022, 57(4): 424-429.
- [16] Silva Almeida LH, Moraes RR, Morgental RD, et al. Are premixed calcium silicate-based endodontic sealers comparable to conventional materials? A systematic review of *in vitro* studies[J]. *J Endod*, 2017, 43(4): 527-535.
- [17] Ko SY, Choi HW, Jeong ED, et al. Main and accessory canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer according to different obturation techniques[J]. *Materials*, 2020, 13(19): 4389.

(本文编辑 李彩)