

根管封闭剂的研究进展

徐 皓, 戴红卫*

重庆医科大学附属口腔医院正畸科, 重庆

收稿日期: 2024年11月16日; 录用日期: 2024年12月9日; 发布日期: 2024年12月18日

摘 要

作为根管治疗术中不可或缺的材料之一, 根管封闭剂的性能以及临床使用对于口腔医生具有极其重要的指导作用。近年来, 由于口腔技术以及口腔材料学的发展, 根管封闭剂也不断更新换代, 对于根管封闭剂的研究也不断加深, 所以, 本文就近年来对于临床常见的根管封闭剂的根管封闭性、生物安全性、组织相容性、抗菌性以及理化特性等内容进行阐述。

关键词

根管封闭剂, 特性, 研究进展

Research Progress of Root Canal Sealers

Hao Xu, Hongwei Dai*

Department of Orthodontics, Affiliated Stomatological Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Nov. 16th, 2024; accepted: Dec. 9th, 2024; published: Dec. 18th, 2024

Abstract

As one of the indispensable materials in root canal treatment, the performance of root canal sealers and its clinical use have an important guiding role for dental doctors. In recent years, due to the development of oral technology and oral materials, root canal sealers are also updated. The study of root canal sealers is developing, so, this paper, in recent years, elaborates on the content of the common clinical root canal sealers' root canal closure, biosafety, tissue compatibility, antibacterial and physical and chemical characteristics, etc.

Keywords

Root Canal Sealers, Characteristics, Research Progress

*通讯作者。



1. 综述

对于口腔医生而言, 在日常工作中, 牙髓疾病和根尖周疾病为最常见的口腔疾病, 牙髓炎根据组织病理学可分为牙髓充血、急、慢性牙髓炎、牙髓坏死、牙髓变性和牙内吸收, 根据临床特点则可分为可复性、不可复性牙髓炎、牙髓坏死、牙髓钙化和牙内吸收; 根尖周炎则分为急性和慢性根尖周炎[1]。根管治疗术是治疗牙髓炎及根尖周炎最常用、最有效、最完善的方法, 它的原理是运用专用器械和方法对感染根管进行根管预备、根管消毒和根管充填, 以达到控制感染、促进病变愈合或防止根尖周病变发生的目的, 而根管封闭剂是根管充填时不可或缺的充填材料之一[2], 因为口腔材料学的发展, 根管封闭剂也随之发展迅速, 近年来有着巨大的变化, 目前临床上主要使用的根管封闭剂有以下几类, 即氧化锌丁香油类、树脂类、氢氧化钙类、硅酮类、三氧化物凝聚物类和生物陶瓷类[1]。本文根据近年文献报道根管糊剂的变化做一综述。

良好的根管糊剂应具备以下特性[1]: ① 有持续的抗菌抑菌作用; ② 根充后不会收缩; ③ 良好封闭性; ④ 易于操作; ⑤ 具备良好的 X 线阻射, 便于日后检查; ⑥ 与根管壁能紧密结合; ⑦ 具有良好粘接性能; ⑧ 具有能促进根尖周病的愈合的能力; ⑨ 不溶于组织液; ⑩ 利于根管再治疗, 不使牙齿变色, 具有良好的生物安全性, 不具备致癌、致畸突变作用。

2. 氧化锌丁香油类根管封闭剂

氧化锌丁香酚(ZOE)是最常用的根管封闭剂之一[2], 且常作为新材料测试的对照组[3], 其产品有 Cortisomal, Pulp canal sealer, Endomethasone, N2 等, ZOE 由粉剂和液剂组成, 粉剂主要是氧化锌、松香脂和重金盐等, 液剂主要是丁香油。其中丁香酚对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有较为明显的抑菌效应, 起主要抗菌作用[4], 但同时也具备较强的细胞毒性, 且由于其有一定的溶解性[5], 所以对根尖有一定的刺激性以及致炎性, 而且由于根管封闭剂的溶解, 使得根管封闭剂的封闭性减弱, 从而使牙胶尖与根管壁之间出现不密合现象, 根尖感染物则可从根管口处逆行进入根管, 引起根管再感染, 重新出现临床症状, 再行根管治疗术, 降低治疗成功率。游离的丁香油酚可引起过敏反应[6], 耿月瑞等曾报道过两例因氧化锌丁香油过敏的病例, 患者皆因牙齿疼痛来口腔医院就医, 经检查确定为深龋, 医生对患牙去腐, 未见明显穿髓孔, 使用氢氧化钙垫底, 氧化锌丁香油暂时充填, 在暂封后手掌和颈部出现小疱以及剧烈瘙痒, 经皮肤科诊断为对氧化锌丁香油暂封材料过敏。另有研究[7]发现在氧化锌丁香酚封闭剂中添加不同浓度的阿莫西林, 可以增强封闭剂对粪肠球菌的抗菌活性。Haghgoo [8]等还发现在其中加入纳米银颗粒也可增加对粪肠球菌和白色念珠菌的抗菌能力, 但由于是体外实验, 其生物相容性和细胞毒性有待进一步探究。虽然氧化锌丁香油有一定的抗菌效果, 用以根管治疗的效果欠佳, 但是其抗菌效果强于氢氧化钙封闭剂, 但有学者[9]通过对比氧化锌丁香油与 Vitapex 在治疗乳牙根尖疾病时, 以临床疗效、远期疗效以及疼痛度等三个方面来观察治疗效果, 发现 Vitapex 的治疗效果优于氧化锌丁香油, 而且远期效果皆优于氧化锌丁香油, 这与刘春燕[10]等的实验结果一致, 这可能与 Vitapex 中加入碘仿有关, 碘仿为有机碘化合物, 可以分解出游离碘, 具有消炎抗菌作用, 也可促进肉芽组织新生和创口愈合。但是, Gonzalez-Lara Adriana [11]等对使用氧化锌丁香油作为唯一盖髓剂的乳牙牙髓切断术进行跟踪观察 24 个月, 发现大部分的病例是成功的, 只有少部分在影像学上还存在病灶, 且失败病例大多数都发生在术后第二年开

始至术后一年半, 研究人员认为氧化锌丁香油可以用于年轻恒牙牙髓切断术中, 且效果良好, 但应定期复诊。国外学者[12]研究在氧化锌丁香油封闭剂的液体组分中添加 1:1、5:1 和 10:1 的牡丹素提取物, 探究其凝结时间、溶解度、细胞毒作用和抗炎作用, 结果发现在氧化锌丁香油封闭剂的液体组分中加入 5:1 的牡丹素提取物的实验组, 其初凝次数和终凝次数最少, 结果说明在氧化锌丁香油封闭剂中加入一定的牡丹素提取物可以在一定程度上减少氧化锌丁香油封闭剂的凝固时间。

总的来说, 现目前临床使用最广泛的根管封闭剂包括氧化锌丁香油类。在临床工作中发现其具有一定的稠度可以填充牙胶尖和根管壁之间的间隙; 有较好的封闭性, 凝固后无明显的收缩性; 有 X 线阻射能力但小于牙胶尖为日后影像检查打好良好基础; 凝固时间长(24 h)工作时间也就相应增加等优点。

3. 树脂类根管封闭剂

3.1. 环氧树脂类根管封闭剂

环氧树脂类封闭剂具有良好的物理、化学性能和较高的生物相容性[13]。以 AH26 和 AH Plus 为代表, 后者为前者的改良品, 具有更好的混合性和流动性, 二者都为国内外临床常用的根管封闭剂[14]。

AH26 其良好性能包括抗菌作用、粘附性、使用寿命长、易于混合和密封能力。Limkangwalmongkol *et al.* [15]等应用 AH26 与 Apexit, Sealapex, Tubliseal 作为封闭剂, 观察根管治疗后根管微渗漏情况, 发现 AH26 的封闭性大于其他几种根管封闭剂, 但是 Shetty Vikram [16]等对采用分光光度法对 AH26、Sealapex 和 Tubliseal 封闭剂在根管治疗牙中的染料渗漏量进行定量分析, 以 Sealapex 为基准, 发现 Tubliseal 微渗漏最少, 而 AH26 无显著性差异。Tubliseal 和 AH26 之间的比较没有显著差异。另有学者 Zahed Mohammadi [17]发现在 AH26 中加入抗生素如强力霉素、阿莫西林以及克林霉素可以增强其抗菌能力, 特别是强力霉素, 这与 Ali Kangarlou [18]等的研究结果一致, 但是抗生素可能会改变其凝固时间、收缩性、扩散性和其他性能, 由于是体外实验, 所以需要进一步进行体内实验来证实该结论。AH26 的缺点包括变色, 在行前牙区根管治疗术时, 应该慎重使用 AH26, 因为 AH26 存在变色的风险, 会影响前牙区美观, 这和 Walsh LJ [19]与 Tinaz AC [20]等的研究相符, 氧化锌丁香油与 AH26 一样, 也存在变色的缺点, 故在治疗前牙区时应选择变色风险较小的树脂或者 AH Plus 或者氢氧化钙类封闭剂[21]; 固化前具有毒性, 可能与硬化过程中释放甲醛有关[22], 释放的甲醛会损伤牙龈成纤维细胞, 使之退化[23]; AH26 在溶剂中具有相对不溶解的缺点, 在接触口腔液体后具有一定的溶解度[12], 这提示我们在临床操作过程中一定要做好隔湿措施, 可以根据不同的条件选择棉球、吸唾器隔湿、药物隔湿以及橡皮障隔湿, 以免在操作过程中封闭剂接触唾液, 增加其溶解度, 降低治疗效果。

AH Plus 是在 AH26 的基础上发展而来的, 是一种双组分的根管封闭剂, 分为糊剂 A: 双酚 A 环氧树脂、双酚 F 环氧树脂、钨酸钙、氧化锆、硅、氧化铁颜料, 糊剂 B: 二苯基二胺、氨基金刚烷、三环癸烷二胺、钨酸钙、氧化锆、硅、硅油。相比 AH26, AH Plus 具有良好的长期封闭性、杰出的体积稳定性、优良的自粘接性能、超高的 X-线阻射性, 这些特性使得 AH Plus 能更好地渗透入牙本质小管, 增强根管封闭性, 提高抑菌作用[24]。王媛媛[25]等通过观察使用 GuttaFlow 2 与 AH Plus 作为根管封闭剂进行根管充填, 使用透明观察法观察根尖微渗漏情况, 从而来比较两种根管封闭剂的封闭性, 发现二者的封闭效果皆良好, 但 GuttaFlow 2 比 AH Plus 的根管封闭性更优。冯海亮[26]通过对使用 AH Plus 与 i Root SP 作为根管封闭剂, 就患者术后疼痛进行分析得出 i Root SP 对减轻术后疼痛的效果大于 AH Plus, 这可能与 AH Plus 在硬化过程中释放微量的甲醛有关, 但二者的封闭效果相差不大, 这与陈燕[27]等的研究结论一致。另有学者[28]就 AH Plus 是否使牙齿变色进行研究得出结论, 使用 AH Plus 仅在 3 月后才使牙齿有轻微变色, 故 AH Plus 可作为临床上判断材料导致牙齿变色情况的金标准[29]。国内有学者[30]通过体外实验得出结论 AH Plus 和 i Root SP 的自粘结能力强于氧化锌丁香油, 而且 AH Plus 是三者中最强的, 但

由于是体外实验,对于三者的各种性能有待进一步探究。最新研究表明,在 AH Plus 添加 Bis BAL NP 可以抑制粪肠球菌生物膜的形成,从而可以在没有细胞毒性的情况下预防根管再感染[31]。郑晶晶[32]等通过使用分子生物学的方法培养牙周膜干细胞,利用 MTT 检测和 Annexin V-FITC/PI 双染分别检测 MTA、i Root SP 和 AH Plus 对人牙周膜干细胞增殖和凋亡的影响,发现三者皆对于牙周干细胞无负面影响,反而对牙槽骨增生有诱导作用,但 MTA 和 AH Plus 小于 i Root SP 的诱导作用。

3.2. 甲基丙烯酸酯类根管封闭剂

甲基丙烯酸酯类根管封闭剂的性能主要包括三个性能,即固化性能、根管封闭性和组织刺激性。其固化特性一般为双重固化,初凝时间为 10~20 min,终凝为 40~120 min,该特性使得临床有着足够的时间进行操作。该封闭剂与根管壁的结合机制与粘接剂粘接牙本质相同,通过封闭剂渗入牙本质中形成混合层或者渗入牙本质小管中形成树脂突,由于具有收缩性,再加上根管的洞形因素值(C 值)很大,因此该封闭剂的封闭效果没有预期那么好,尽管如此,这类封闭剂仍显示出良好的封闭效果。该封闭剂虽然有组织刺激性,但是是轻微的,在临床上可以接受,不会引起牙周组织吸收,而且随着时间的推移,刺激性不断减小。

甲基丙烯酸酯类根管封闭剂主要产品有 Hydron、EndoREZ、Epiph any、RealSeal、Smart 和 MetaSEAL、Epiph any SE、RealSeal SE、Endoresin-2 等。其中 Hydron 属于第一代,现已被彻底淘汰因为其可导致严重的微渗漏和炎症反应[33],使得根管治疗效果大打折扣,根管治疗后易引起根尖周发炎疼痛;EndoREZ 属于第二代,是一种双固化亲水型产品,由根管封闭剂和催化剂(选用)组成。其中根管封闭剂由二甲基丙烯酸三甘醇酯,过氧化苯甲酰,二脲烷二甲基丙烯酸酯,GDMA 磷酸,氯氧化铋,五水乳酸钙,二氧化硅,二酰基膦氧化物 819 组成;催化剂由二甲基丙烯酸三甘醇酯,对甲苯胺基二乙醇,二脲烷二甲基丙烯酸酯,氯氧化铋,五水乳酸钙,二氧化硅,深古铜色颜料,氧化铁黄颜料组成。该产品依靠微机械固位,与牙本质小管形成树脂突达到很好的封闭效果。但该产品的溶解度较高,可达 3% [34],过高的溶解度难以保证远期治疗效果,封闭剂的稳定性以及不溶解性是远期治疗效果的重要保证,所以第二代临床使用较少。Epiph any、RealSeal、Smart 属于第三代产品,随着产品的迭代更新,第三代产品能够去除牙本质玷污层,玷污层的去除,进一步提升了提高树脂与根管壁的粘结性,从而增强树脂与根管壁之间的密合性,减少微渗漏的发生,保证了根管治疗术的远期效果。MetaSEAL、Epiph any SE、RealSeal SE、Endoresin-2 属于第四代,相比前三代而言,第四代进一步提高了封闭效果[35]。

4. 氢氧化钙类根管封闭剂

氢氧化钙俗称生石灰、灰钙粉 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$,在常温条件下为白色粉末状固体,微溶于水,它的水溶液称为石灰水。由于氢氧化钙微溶于水能电离出 Ca^{2+} 和 OH^- ,从而水溶液呈碱性,pH 值可达 9~12,呈强碱性。由于氢氧化钙具有可塑性和易去除性,最开始应用于骨科。于 19 世纪氢氧化钙开始应用于口腔临床工作,主要应用于根管治疗方面。由于口腔技术和口腔材料学的发展,对氢氧化钙的研究不断深入,发现其具有良好的物理化学特性,使其在口腔领域应用越来越广泛,包括根管封药、根管充填等[36]。

作为根管封闭剂,氢氧化钙具有三个特性,即固化特性、根管封闭性以及组织刺激性。相比甲基丙烯酸酯类根管封闭剂,氢氧化钙完全凝固时间较长,需要 2~8 小时,而且该类封闭剂在接触水分后会加速固化,因此潮湿的根管会加速封闭剂的固化,并且封闭剂往往是从接触组织液的部位(如根尖孔)处开始固化,基于此特性,在临床操作过程中应适当干燥根管,使得封闭剂在根管内充分的湿润和干燥,以达到良好的封闭效果。作为根管封闭剂,该类产品的调和物细腻、流动性好,易于根管充填,而且固化后体积收缩小,但是水溶性较大,与组织液长期接触会溶解,从而会影响其封闭性,这与 Ersahan Seyda [37]

等的结果一致。在组织刺激性方面, 由于氢氧化钙呈碱性, 对常见的根管细菌有一定的抗菌性, 但抗菌性低于氧化锌丁香油封闭剂; 另碱性环境也可促进钙的沉积和中和炎性组织产生的酸性环境, 激活碱性磷酸酶, 该酶可以水解多种磷酸酶, 可以在骨盐形成过程中提供无机磷, 其活性的升高可以促进牙釉质的发育减少氟斑牙的发生, 在促进牙本质的增生方面也具有一定的作用。钙的沉积可以促进硬组织形成, 加快牙本骨质的增生, 可以形成牙本质桥, 形成修复性牙本质, 也可以中和炎症组织产生的酸性物质, 使得微生态成为中性环境, 使组织钙化, 促进根尖骨质愈合, 封闭根尖孔[5] [38] [39]。但是由于氢氧化钙类封闭剂也具有一定的细胞毒性, 超出根尖孔的材料可刺激根尖周组织从而产生慢性炎症, 长期的慢性刺激会导致根尖周组织发生病变。

临床常用氢氧化钙类封闭剂有 Sealapex、Apexit、Vitapex 等[40]。其中 Vitapex 是典型的单糊剂型氢氧化钙基根管封闭剂[34], 主要成分为氢氧化钙、碘仿和硅油, 其中碘仿分解出游离碘, 碘化和氧化细菌代谢, 加强了封闭剂杀菌抑菌、防腐、减少渗出等作用[41], 同时能吸收分泌物, 保持创面干燥, 促进肉芽组织新生和窗口愈合, 因此可用于脓液渗出性感染根管; 成分中的硅油使封闭剂在根管内不凝固保持流动性, 有利于氢氧化钙的缓慢释放[34]。由于氢氧化钙类根管封闭剂具有较好的流动性, 因此具有易超出根尖孔的风险, 超出根尖孔的材料可刺激根尖周组织从而产生慢性炎症, 长期的慢性刺激会导致根尖周组织发生病变, 因此在临床操作中应注意尽量不要使氢氧化钙类根管封闭剂超出根尖孔。此外有学者曾报道过, 使用该类产品存在过敏的风险[42]。临床上, 因为 Vitapex 具有良好消炎、杀菌、抑菌作用并且具有减少渗出的作用, 其主要用于根尖周渗出较多、根管感染严重的根管内封药, 儿童各型牙髓炎和根尖周炎根管治疗, 以及年轻恒牙的根尖诱导成形术或者活髓切断术治疗[43]。有学者[9]通过对比氧化锌丁香油与 Vitapex 在治疗乳牙根尖疾病时, 以临床疗效、远期疗效以及疼痛度等三个方面来观察治疗效果, 发现 Vitapex 的治疗效果优于氧化锌丁香油, 而且远期效果皆优于氧化锌丁香油, 这与刘春燕[11]等的实验结果一致。但有学者[44]发现 Vitapex 糊剂在根管内的吸收速度要大于乳牙牙根的生理吸收速度, 再加上乳牙根管系统复杂, 髓室底副根管较多, 由此产生的空管效应可能会造成细菌再定植, 进而导致根管治疗的失败。基于吸收的不匹配, 有学者尝试在 Vitapex 中加入一定比例的氧化锌丁香油, 发现含有一定比例的氧化锌丁香油的 Vitapex 糊剂吸收速度与乳牙生理吸收速度较为匹配, 且治疗效果令人满意, 随访观察即使超充的远期效果也令人满意[45]。除此之外, Navit S 等[46]发现在根管内长期封存 Vitapex 糊剂有可能导致患牙牙冠发生变色, 因此在使用其治疗乳前牙时需考虑对美观的影响。李昕[47]通过临床对比实验发现 Vitapex 糊剂联合盐酸米诺环素软膏治疗根尖周炎伴牙周炎患者的效果强于单独使用盐酸米诺环素软膏, 这与黄芳[48]的研究结果一致, 在临床上值得推广。

5. 硅酮类根管封闭剂

硅酮类根管封闭剂是近年来新发展起来的根管封闭剂, 该类产品具有良好的生物相容性、封闭性和良好的流动性。是一类以聚二甲基硅氧烷和牙胶颗粒为主要成分的有机硅根管充填材料。目前主要推出四代产品, 即 Roeko Seal、Gutta Flow、Gutta Flow2 和 Gutta Flow Bioseal [49]。Roeko Seal 是第一代硅酮类根管封闭剂[50], 其主要成分包括聚二甲基硅氧烷, 硅酮油, 二氧化锆等。Roeko Seal 具有稳定性、更好的润湿性、良好的生物相容性和几乎没有细胞毒性, 但是缺乏杀菌作用[49], 而一般的牙髓疾病和牙周疾病皆与细菌的作用有关, 由于其缺乏杀菌作用, 对于根管治疗后的远期效果难以保证, 所以现目前使用较少。这与 Ozok [51]和 Al-Awadhi [52]研究结果一致。Gutta Flow 和 Gutta Flow2 分别是第二代和第三代产品, Gutta Flow 是在 Roeko Seal 的基础上发展而来, 主要在其中添加微量的银作为防腐剂[53], 而 Gutta Flow2 与 Gutta Flow 成分一样, 但其比例有所差异[48]。二者又称“常温流动牙胶充填系统”。由于在 Gutta Flow 加入银粒子, 使得 Gutta Flow 相比 Roeko Seal 具有 X-线阻射性[54]。Gutta Flow 因为具

有良好的流动性, 所以存在超充的风险[55], 但由于其良好的生物相容性, 不会对根尖周组织产生不良刺激, 预后情况良好, 熊伯刚等[56]通过对上前牙使用 Gutta Flow 作为根管封闭剂进行即刻、一个月、三个月、半年的观察, 发现即使超充, 根尖片所示患牙恢复情况也较理想。与 Roeko Seal 一样, Gutta Flow 也几乎没有细胞毒性, 生物安全性良好。另有研究显示[57], 相比冷侧压和热牙胶垂直加压法, 常温流动牙胶充填系统可明显降低根尖微渗漏的程度。作为第三代, Gutta Flow2 成分中减少了硅树脂油和石蜡油, 而且各成分的比例也发生了变化, 其特性也包括具有良好的流动性、微渗漏发生率低、充填以及固化时间都缩小以及具有良好的生物相容性, 但也存在一定的问题, 主要是易受根管内残余物的影响、易出现超充以及仍需要配合牙胶尖[58]。Ebert [59]等在体外对 Gutta Flow2、Gutta Flow 和 AH Plus 3 种充填材料进行微渗漏程度观察, 结果显示, Gutta Flow2 的微渗漏程度较低, 但也有学者[60]发现即使使用 Gutta Flow2 也会产生一定的微渗漏, 但由于其有一定的膨胀性, 微渗漏的程度还是较其他封闭剂低。目前对于 Gutta Flow2 的研究大多数是体外实验, 只有少数体内实验[61], 因为实验数目较少, 缺乏大量实验数据的支撑, 所以仍需要进一步研究。第四代产品 Gutta Flow Bioseal 在前三代的基础成分上, 加入碳酸钙成分[62], 使得产品呈一定碱性, 对常见的根管细菌有一定的抗菌性; 另碱性环境也可促进钙的沉积和中和炎症组织产生的酸性环境, 激活碱性磷酸酶, 该酶可以水解多种磷酸酶, 可以在骨盐形成过程中提供无机磷, 其活性的升高可以促进牙釉质的发育减少氟斑牙的发生, 在促进牙本质的增生方面也具有一定的作用。钙的沉积可以促进硬组织形成, 加快牙本骨质的增生, 可以形成牙本质桥, 形成修复性牙本质, 也可以中和炎症组织产生的酸性物质, 使得微生态成为中性环境, 使组织钙化, 促进根尖骨质愈合, 封闭根尖孔[5] [38] [39] [63] [64]。但不同于氢氧化钙类根管封闭剂, Gutta Flow Bioseal 虽然含有钙离子, 但其组织相容性较好, 细胞毒性较低, Collado-Gonzalez 等[65]的研究就证明了该观点。

6. 三氧化物凝聚物类根管封闭剂

三氧化物凝聚物(MTA)是一种新型生物材料。其主要成分包括铝酸三钙、硅酸三钙、氧化硅、氧化钙及少量的无机氧化物, 具有极强的边缘封闭性[66]。自 1993 年第一次被 Lee 在口腔科文献上被报道后[67], 由于其良好的生物相容性、可有效促进硬组织再生、具有一定的抗菌和抑菌性以及对组织无毒[68] 现被广泛应用于口腔科治疗中, 如直接盖髓、活髓切除、根尖成形、髓室底穿孔及根管侧穿修补等多个领域[67]。穆云静[69]使用元素分析法和采用 CCK-8 法检测 MTA、AH Plus、Roeko Seal、Cortisomol 4 种根管封闭剂的生物相容性以及细胞毒性, 得出结论: MTA 的毒性在 4 种根管封闭剂中最小的。李淑萍[70]对比使用 MTA 与玻璃离子治疗牙体牙髓病的效果, 以有效、显效和无效作为观察指标, 然后术后追踪观察 6 个月, 从收集的实验数据分析出实验组的总有效率远远高于对照组的总有效率, 从而可以得出结论使用 MTA 治疗牙体牙髓疾病, 有效率高, 安全性强, 并且修复效果好, 这与米磊[71]等的研究结果一致。李克朋[72]等通过建立粪球菌感染模型, 分别使用 Biodentine、iRoot BP、MTA 作为实验对象, 发现三者的抗菌效果相差不大, 但是由于 MTA 的临床操作时间长且价格昂贵[73], 可以考虑使用 Biodentine、iRoot BP 替代 MTA。Shakya Vijay Kumar [74]等通过琼脂扩散试验(ADT)和直接接触试验(DCT), 以粪肠球菌 ATCC 29212 为试验材料, 检测 AH Plus、MTA Fillapex、氢氧化钙和 Gutta Flow2 的抗菌潜力, 发现除 Gutta Flow2 外, 所有封闭剂对粪肠球菌均表现出抗菌活性。另有学者[75]将 MTA 与 AH Plus 用于根尖诱导, 术者通过观察实验组与对照组术后满意度、有效度和疼痛缓解程度来评价二者用于治疗根尖诱导的效果, 然后术后追踪回访调查患者的根尖诱导的效果, 发现前者诱导效果优于后者。

7. 硅酸钙类根管封闭剂

硅酸钙类根管封闭剂以 iRoot SP 为代表, 其主要成分包括磷酸钙、硅酸钙、氧化锆和氢氧化钙[76]

等, 具有极好的物理特性和生物相容性, 其优点主要包括良好的封闭性、稳定性和抑菌性、独特的硬固特性、较好的流动性以及较好的抗折性。关于 iRoot SP 封闭性的研究较多, 但大多都认为其具有良好的封闭性, 与其组成成分和颗粒直径有关, 加上 iRoot SP 吸水后体积会稍膨胀, 也会增加其封闭性[77][78], 但有学者发现, iRoot SP 与水反应后会产生氢氧化钙, 由于氢氧化钙具有一定的溶解性, 因此会对 iRoot SP 长期封闭性产生一定的影响[79][80], 但是远期效果还是优于氢氧化钙封闭剂[81]。iRoot SP 对于粪球菌是否有抑菌性, 不同的学者有着不同的结论, Singh [43]和 Wang [82]等认为其对粪球菌有着强烈的抑菌性, 且与 AH Plus 相近, 但 Willershausen [83]等却持相反意见, 认为其对于粪球菌没有抑菌作用。现目前临床上主要将 iRoot SP 用于配合单尖法进行根管填充, 能够适应不同形态的根管系统, 是一项可行的临床充填技术, 且临床效果尚可, 但是由于 iRoot SP 是新型根管封闭剂, 所以仍需长期且大量实验观察[76][84]。由于 iRoot SP 操作技能以及价格昂贵, 目前北京赛濡特口腔医疗器械有限公司已经研发出国产替代 iRoot SP 的 C-Root SP, 是世界上唯一的硅酸锆生物陶瓷糊剂, 已经获得美国 FDA 批准, 可出口美国等全球大多数国家, 其主要成分包括硅酸锆、磷酸钙、氧化锆、氢氧化钙、填料和增稠剂, 适用于活髓去除后根管的永久充填; 去除坏死或感染牙髓, 根管预备、清洁和消毒的根管永久充填; 适合侧压法、单尖法和垂直加压牙充填。因为 C-Root SP 含有硅酸锆, 所以其具有良好的 X-线阻射性; 含有钙、镁、硅和锆离子, 需要水凝固和硬化; C-Root SP 硬化前呈强碱性, 具有抑菌作用。使用 C-Root SP 作为根管封闭剂行根管治疗术后反应轻, 可能与硅酸锆的作用有关, 锆化合物具有能抑制炎症因子 TNF- α 和镇痛作用: 能部分取代神经末梢钙泵功能, 显著提高疼痛阈值[85]。

8. 总结

综上, 现目前临床常使用的根管封闭剂有氧化锌丁香油类、树脂类、氢氧化钙类、硅酮类、三氧化物凝聚物类和硅酸钙类, 每种根管封闭剂有着自己的优点与缺点, 在临床上应该合理使用。虽然现阶段没有一种理想的根管封闭剂, 但随着科学与技术的不断发展, 随着研究的不断深入, 理想的根管封闭剂终归会被成功研制。

参考文献

- [1] 周学东, 陈智. 牙体牙髓病学[M]. 第 5 版. 北京: 人民卫生出版社, 2020.
- [2] 樊少昕, 池学谦. 不同根管封闭剂封闭性的研究进展[J]. 口腔医学, 2018, 38(1): 73-77.
- [3] 鲁朝阳, 王小平. 氧化锌丁香油类根管封闭剂粘度对根管封闭性能的影响[J]. 口腔医学, 2015, 35(2): 128-131+144.
- [4] Marchese, A., Barbieri, R., Coppo, E., Orhan, I.E., Daglia, M., Nabavi, S.F., et al. (2017) Antimicrobial Activity of Eugenol and Essential Oils Containing Eugenol: A Mechanistic Viewpoint. *Critical Reviews in Microbiology*, **43**, 668-689. <https://doi.org/10.1080/1040841x.2017.1295225>
- [5] 宋英民, 刘佳. 根管封闭剂的研究进展[J]. 中国妇幼健康研究, 2016, 27(1): 559-560.
- [6] 耿瑞月, 耿瑞明, 陈志光, 杨慧娜, 等. 氧化锌丁香油糊剂过敏反应 2 例[J]. 实用口腔医学杂志, 2019, 35(4): 615-617.
- [7] Chhabra, H.S., Bhardwaj, K., Srivastava, S., Srivastava, A. and Agarwal, S. (2015) *In Vitro* Evaluation of the Antimicrobial Effects of a Root Canal Sealer Antibiotic Combination against Enterococcus Faecalis. *International Journal of Contemporary Microbiology*, **1**, 13-17. <https://doi.org/10.5958/2395-1796.2015.00004.6>
- [8] Haghighi, R., Ahmadvand, M., Nyakan, M. and Jafari, M. (2017) Antimicrobial Efficacy of Mixtures of Nanosilver and Zinc Oxide Eugenol against Enterococcus Faecalis. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, **18**, 177-181. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2012>
- [9] 林婕, 刘钦捷. Vitapex 糊剂与氧化锌丁香油糊剂治疗乳牙根尖周炎的疗效对比[J]. 黑龙江医药, 2021, 34(4): 900-902.
- [10] 刘春燕. 采取 Vitapex 糊剂与氧化锌丁香油糊剂治疗慢性根尖周炎疗效比较[J]. 智慧健康, 2019, 5(26): 103-104.

- [11] Gonzalez-Lara, A., Ruiz-Rodriguez, M.S., Pierdant-Perez, M., Garrocho-Rangel, J.A. and Pozos-Guillen, A.J. (2016) Zinc Oxide-Eugenol Pulpotomy in Primary Teeth: A 24-Month Follow-Up. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, **40**, 107-112. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-40.2.107>
- [12] Vinola, J.S., Karthikeyan, K. and Mahalaxmi, S. (2019) A Novel Petasin-Modified Zinc Oxide Eugenol Sealer. *Journal of Conservative Dentistry*, **22**, Article 490. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_475_19
- [13] Galledar, S., Farhang, R., Abazari, M. and Negahdar, P. (2020) Evaluation of the Apical Microleakage of MTA Fillapex, AH26, and Endofill Sealers. *Brazilian Dental Science*, **23**, Article No. 8. <https://doi.org/10.14295/bds.2020.v23i3.1895>
- [14] AlShwaimi, E., Bogari, D., Ajaj, R., Al-Shahrani, S., Almas, K. and Majeed, A. (2016) *In Vitro* Antimicrobial Effectiveness of Root Canal Sealers against *Enterococcus Faecalis*: A Systematic Review. *Journal of Endodontics*, **42**, 1588-1597. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.001>
- [15] Limkangwalmongkol, S., Abbott, P.V. and Sandler, A.B. (1992) Apical Dye Penetration with Four Root Canal Sealers and Gutta-Percha Using Longitudinal Sectioning. *Journal of Endodontics*, **18**, 535-539. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)81209-4](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)81209-4)
- [16] Vikram, S. (2015) A Spectro Photometric Comparative Evaluation of Apical Sealing Ability of Three Different Sealers; Calcium Hydroxide Based, Resin Based and Zinc Oxide Eugenol Based Sealers. *Journal of International Oral Health*, **7**, 25-27.
- [17] Mohammadi, Z. (2017) The Effect of Adding Different Antibiotics on the Resistance against Bacterial Leakage of AH 26 Sealer. *Journal of Dental Materials and Techniques*, **6**, 170-175.
- [18] Kangarlou, A., Neshandar, R., Matini, N. and Dianat, O. (2016) Antibacterial Efficacy of AH Plus and AH26 Sealers Mixed with Amoxicillin, Triple Antibiotic Paste and Nanosilver. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, **10**, 220-225. <https://doi.org/10.15171/joddd.2016.035>
- [19] Walsh, L.J. and Athanassiadis, B. (2007) Endodontic Aesthetic Iatrodontics. *Australasian Dental Practice*, **18**, 62-64.
- [20] Tinaz, A.C., Kivanç, B.H. and Gürgül, G. (2008) Staining Potential of Calcium Hydroxide and Monochlorophenol Following Removal of AH26 Root Canal Sealer. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, **9**, 56-63. <https://doi.org/10.5005/jcdp-9-3-56>
- [21] Spångberg, L.S.W., Barbosa, S.V. and Lavigne, G.D. (1993) AH26 Releases Formaldehyde. *Journal of Endodontics*, **19**, 596-598. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)80272-4](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)80272-4)
- [22] 王艺桥, 汪敏. 根管治疗材料及药物引起牙齿变色的研究进展[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2017, 27(5): 295-300.
- [23] Huang, T., Hueilee, D. and Kao, C. (2001) Evaluation of the Genotoxicity of Zinc Oxide Eugenol-Based, Calcium Hydroxide-Based, and Epoxy Resin-Based Root Canal Sealers by Comet Assay. *Journal of Endodontics*, **27**, 744-748. <https://doi.org/10.1097/00004770-200112000-00008>
- [24] 沈雯佳, 朱亚琴. 新型根管充填材料的研究进展[J]. 口腔材料器械杂志, 2009, 18(2): 80-83.
- [25] 王媛媛, 曹思远. GuttaFlow 2 与 AH-Plus 两种根管封闭剂根尖封闭性能的实验研究[J]. 中国实用医药, 2020, 15(29): 62-64.
- [26] 冯海亮. 不同封闭剂对牙髓病根管治疗术后疼痛的影响[J]. 浙江创伤外科, 2021, 26(6): 1182-1183.
- [27] 陈燕, 黄正蔚, 张彭飞. AHplus 和 iRoot SP 用于热牙胶充填的根尖封闭性能研究[J]. 口腔材料器械杂志, 2021, 30(1): 13-17.
- [28] Langeland, K., Olsson, B. and Pascon, E.A. (1981) Biological Evaluation of Hydron. *Journal of Endodontics*, **7**, 196-204. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(81\)80176-8](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(81)80176-8)
- [29] Urban, K., Neuhaus, J., Donnermeyer, D., Schäfer, E. and Dammaschke, T. (2018) Solubility and Ph Value of 3 Different Root Canal Sealers: A Long-Term Investigation. *Journal of Endodontics*, **44**, 1736-1740. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.07.026>
- [30] 文静, 冯海霞, 齐倩茹. 不同根管封闭剂的封闭性能及粘接性能的体外研究[J]. 中国美容医学, 2021, 30(11): 135-137.
- [31] Torres-Betancourt, J.A., Hernandez-Delgadillo, R., Flores-Treviño, J.J., Solis-Soto, J.M., Pineda-Aguilar, N., Nakagoshi-Cepeda, M.A.A., et al. (2022) Antimicrobial Potential of AH Plus Supplemented with Bismuth Lipophilic Nanoparticles on e. Faecalis Isolated from Clinical Isolates. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, **20**, Article 22808000211069221. <https://doi.org/10.1177/22808000211069221>
- [32] 郑晶晶, 康馨允, 李少明, 刘嘉成, 孙凯, 高岭, 侯铁舟. MTA、iRoot SP 和 AH Plus 对人牙周膜干细胞增殖及分化的影响[J]. 上海口腔医学, 2020, 29(5): 449-455.
- [33] Pameijer, C.H. and Zmener, O. (2010) Resin Materials for Root Canal Obturation. *Dental Clinics of North America*, **54**, 325-344. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2009.12.004>
- [34] Scarparo, R.K., Grecca, F.S. and Fachin, E.V.F. (2009) Analysis of Tissue Reactions to Methacrylate Resin-Based,

- Epoxy Resin-Based, and Zinc Oxide-Eugenol Endodontic Sealers. *Journal of Endodontics*, **35**, 229-232. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.10.025>
- [35] 张琰, 石梦琪, 刘慧妮, 吴群. 不同根管封闭剂的性能比较[J]. 中华老年口腔医学杂志, 2019, 17(4): 243-246.
- [36] 聂二民, 姜瑞, 张春元, 曾尽娣, 谈济州, 黄喆逊. 口腔科氢氧化钙制剂的临床应用评价[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(43): 6514-6520.
- [37] Ersahan, S. and Aydin, C. (2012) Solubility and Apical Sealing Characteristics of a New Calcium Silicate-Based Root Canal Sealer in Comparison to Calcium Hydroxide-, Methacrylate Resin- And Epoxy Resin-Based Sealers. *Acta Odontologica Scandinavica*, **71**, 857-862. <https://doi.org/10.3109/00016357.2012.734410>
- [38] 杨学英, 李贤玉. 根管封闭剂研究进展[J]. 全科口腔医学电子杂志, 2019, 6(20): 27-28+32.
- [39] 王霞. 氧化锌丁香油酚糊剂与 Vitapex 治疗小儿乳牙根尖周炎的疗效比较研究[J]. 临床合理用药杂志, 2019, 12(15): 119-120.
- [40] 刘庆敏, 房俊艳, 凌均荣. 根管封闭剂研究进展[J]. 当代医学, 2011, 17(27): 24-25.
- [41] 张智慧. Vitapex 糊剂和氢氧化钙治疗儿童牙髓坏死后牙根诱导成形的临床疗效分析[J]. 河北医学, 2018, 24(8): 1369-1372.
- [42] Pintor, A.V.B., Queiroz, L.D., Sancas, M.C., Brochado, A.C.B., Spoladore, J., Fonseca-Gonçalves, A., *et al.* (2020) Cytocompatibility of Filling Pastes by Primary Teeth Root Simulating Model. *Odontology*, **109**, 174-183. <https://doi.org/10.1007/s10266-020-00541-9>
- [43] Shin, J., Lee, D. and Lee, S. (2018) Comparison of Antimicrobial Activity of Traditional and New Developed Root Sealers against Pathogens Related Root Canal. *Journal of Dental Sciences*, **13**, 54-59. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2017.10.007>
- [44] Chen, X.X., Lin, B.C. and Zhong, J. (2015) Degradation Evaluation and Success of Pulpectomy with a Modified Primary Root Canal Filling in Primary Molars. *Journal of Peking University Health Sciences*, **47**, 529-535.
- [45] Zancan, R.F., Vivan, R.R., Milanda Lopes, M.R., Weckwerth, P.H., de Andrade, F.B., Ponce, J.B., *et al.* (2016) Antimicrobial Activity and Physicochemical Properties of Calcium Hydroxide Pastes Used as Intracanal Medication. *Journal of Endodontics*, **42**, 1822-1828. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.017>
- [46] Navit, S. (2016) Antimicrobial Efficacy of Contemporary Obturating Materials Used in Primary Teeth—An In-Vitro Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, **10**, ZC09-ZC12. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2016/21883.8426>
- [47] 李昕. Vitapex 糊剂联合盐酸米诺环素软膏治疗根尖周炎伴牙周炎患者的效果[J]. 中国民康医学, 2021, 33(21): 51-53.
- [48] 黄芳. 牙周牙髓联合病变应用经根管注射 Vitapex 糊剂加盐酸米诺环素软膏治疗的预后情况研究[J]. 中国医药科学, 2021, 11(20): 228-231.
- [49] 史景华, 张蕾. 新型硅基根管封闭剂的研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(72): 138-139.
- [50] Gandolfi, M.G., Siboni, F. and Prati, C. (2016) Properties of a Novel Polysiloxane-Gutta-percha Calcium Silicate-Bio-glass-Containing Root Canal Sealer. *Dental Materials*, **32**, e113-e126. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.03.001>
- [51] Özok, A.R., van der Sluis, L.W.M., Wu, M. and Wesselink, P.R. (2008) Sealing Ability of a New Polydimethylsiloxane-Based Root Canal Filling Material. *Journal of Endodontics*, **34**, 204-207. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.005>
- [52] Alawadhi, S., Spears, R., Gutmann, J. and Opperman, L. (2004) Cultured Primary Osteoblast Viability and Apoptosis in the Presence of Root Canal Sealers. *Journal of Endodontics*, **30**, 527-533. <https://doi.org/10.1097/00004770-200407000-00016>
- [53] Saygili, G., Saygili, S., Tuglu, I., *et al.* (2017) *In Vitro* Cytotoxicity of GuttaFlow Bioseal, GuttaFlow 2, AH-Plus and MTA Fillapex. *Iranian Endodontic Journal*, **12**, 354-359.
- [54] Santos, J.M., Pereira, S., Sequeira, D.B., Messias, A.L., Martins, J.B., Cunha, H., *et al.* (2019) Biocompatibility of a Bioceramic Silicone-Based Sealer in Subcutaneous Tissue. *Journal of Oral Science*, **61**, 171-177. <https://doi.org/10.2334/josnusd.18-0145>
- [55] dos Reis, A., Vilela Teixeira, A., Vidal, C., de Castro, D., da Costa Valente, M., Oliveira-Santos, C., *et al.* (2017) Effect of Incorporation of a New Antimicrobial Nanomaterial on the Physical-Chemical Properties of Endodontic Sealers. *Journal of Conservative Dentistry*, **20**, 392-397. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_266_17
- [56] 熊伯刚, 安晓飞. 常温流动牙胶 Gutta-Flow 的临床疗效观察[J]. 中国医药指南, 2012, 10(27): 132-133.
- [57] 王楚瑜, 薛明. 单尖法根管充填[J]. 中国实用口腔科杂志, 2015, 8(11): 645-648.
- [58] 胡诚, 孙建勋, 陈新梅. 新型常温流动牙胶 GuttaFlow 2 的研究进展[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2017, 27(9): 541-544+505.

- [59] Ebert, J., Holzschuh, B., Frankenberger, R., *et al.* (2015) Sealing Ability of Different Versions of Guttaflow 2 in Comparison to Guttaflow and AH Plus. *Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, **11**, 224-229. <https://doi.org/10.21726/rsbo.v11i3.851>
- [60] 李晓霏, 白伟, 陈晨, 等. 两种根管封闭剂 GuttaFlow 2 和 AH Plus 与根管壁间粘接性能比较[J]. 现代口腔医学杂志, 2016(3): 133-137.
- [61] 王丹丹. 常温流动牙胶 GuttaFlow 2 改良充填技术的临床疗效观察[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [62] Gandolfi, M.G., Karami Shabankare, A., Zamparini, F. and Prati, C. (2017) Properties of a Novel Polydimethylsiloxane Endodontic Sealer. *Giornale Italiano di Endodonzia*, **31**, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.gien.2017.03.002>
- [63] Camargo, R.V.D., Silva-Sousa, Y.T.C., Rosa, R.P.F.D., Mazzi-Chaves, J.F., Lopes, F.C., Steier, L., *et al.* (2017) Evaluation of the Physicochemical Properties of Silicone- and Epoxy Resin-Based Root Canal Sealers. *Brazilian Oral Research*, **31**, 35-43. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0072>
- [64] Santos, J.M., Pereira, S., Sequeira, D.B., Messias, A.L., Martins, J.B., Cunha, H., *et al.* (2019) Biocompatibility of a Bioceramic Silicone-Based Sealer in Subcutaneous Tissue. *Journal of Oral Science*, **61**, 171-177. <https://doi.org/10.2334/josnurd.18-0145>
- [65] Collado-González, M., Tomás-Catalá, C.J., Oñate-Sánchez, R.E., Moraleda, J.M. and Rodríguez-Lozano, F.J. (2017) Cytotoxicity of Guttaflow Bioseal, Guttaflow2, MTA Fillapex, and AH Plus on Human Periodontal Ligament Stem Cells. *Journal of Endodontics*, **43**, 816-822. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.01.001>
- [66] 陈健茵. 三氧化物凝聚体根尖屏障术治疗恒牙开放性慢性根尖周炎患者的效果分析[J]. 吉林医学, 2021, 42(11): 2746-2748.
- [67] 隋长德. MTA 在牙体牙髓病治疗中的应用研究[J]. 科技资讯, 2017, 15(3): 211-212.
- [68] 吴浩明, 袁广熠, 李敏辉, 何健泉, 吴茵, 刘晓晨. 两种牙科术式治疗年轻恒牙根尖周炎的效果分析[J]. 内蒙古医科大学学报, 2020, 42(1): 81-83.
- [69] 穆云静, 屈铁军, 程小刚, 赵明, 黄贞贞, 余擎, 刘宝刚. 4 种根管封闭剂体外细胞毒性的比较[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2014, 24(2): 90-94+89.
- [70] 李淑萍. 评价采用三氧化物凝聚体治疗牙体牙髓病的疗效[J]. 全科口腔医学电子杂志, 2016, 3(1): 141-142.
- [71] 米磊, 赵渭渭, 卫德智. 三氧化物凝聚体治疗牙体牙髓病的临床价值[J]. 临床医学研究与实践, 2018, 3(31): 106-107.
- [72] 李克朋, 程甜甜, 仇珺, 尤苏霞, 蒋文凯, 梅笑寒. 利用粪肠球菌感染根管模型评价不同根管封闭剂的抗菌效果[J]. 口腔医学, 2022, 42(1): 42-46.
- [73] 解碧晶, 张钰涓. PRF 及 MTA 材料支架和 iRoot BP Plus 支架在年轻恒牙再生性牙髓治疗中的应用[J]. 海南医学, 2022, 33(7): 898-901.
- [74] Shakyia, V.K. (2016) An Invitro Evaluation of Antimicrobial Efficacy and Flow Characteristics for AH Plus, MTA Fillapex, CRCS and Gutta Flow 2 Root Canal Sealer. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, **10**, ZC104-ZC108. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2016/20885.8351>
- [75] 张霞霞, 张凤香, 姚德超. MTA 在恒牙根尖周炎伴根尖闭合不全中的应用效果[J]. 菏泽医学专科学校学报, 2019, 31(3): 22-24.
- [76] 陈亮, 王祖华. 生物陶瓷类根管封闭剂结合单尖根管充填技术的研究进展[J]. 中华老年口腔医学杂志, 2021, 19(6): 365-369.
- [77] Wang, Y., Liu, S. and Dong, Y. (2018) *In Vitro* Study of Dentinal Tubule Penetration and Filling Quality of Bioceramic Sealer. *PLOS ONE*, **13**, e0192248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192248>
- [78] Zhou, H., Shen, Y., Zheng, W., Li, L., Zheng, Y. and Haapasalo, M. (2013) Physical Properties of 5 Root Canal Sealers. *Journal of Endodontics*, **39**, 1281-1286. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.06.012>
- [79] Donnermeyer, D., Dornseifer, P., Schäfer, E. and Dammaschke, T. (2018) The Push-Out Bond Strength of Calcium Silicate-Based Endodontic Sealers. *Head & Face Medicine*, **14**, Article No. 13. <https://doi.org/10.1186/s13005-018-0170-8>
- [80] Urban, K., Neuhaus, J., Donnermeyer, D., Schäfer, E. and Dammaschke, T. (2018) Solubility and Ph Value of 3 Different Root Canal Sealers: A Long-Term Investigation. *Journal of Endodontics*, **44**, 1736-1740. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.07.026>
- [81] 毋小焕. 生物陶瓷类根管封闭剂 iRoot SP 与氢氧化钙类根管封闭剂 Vitpex 临床治疗效果观察[J]. 现代诊断与治疗, 2018, 29(24): 4044-4045.
- [82] Wang, Z., Shen, Y. and Haapasalo, M. (2014) Dentin Extends the Antibacterial Effect of Endodontic Sealers against

- Enterococcus Faecalis Biofilms. *Journal of Endodontics*, **40**, 505-508. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.10.042>
- [83] Willershausen, I., Callaway, A., Briseño, B. and Willershausen, B. (2011) *In Vitro* Analysis of the Cytotoxicity and the Antimicrobial Effect of Four Endodontic Sealers. *Head & Face Medicine*, **7**, Article No. 15. <https://doi.org/10.1186/1746-160x-7-15>
- [84] 韦爱君. iRoot-sp 生物陶瓷类根管封闭剂加单尖充填法作为根管充填的临床疗效研究[J]. 全科口腔医学电子杂志, 2016, 3(18): 56-57.
- [85] de Melo Nunes, R., Martins, M.R., da Silva Junior, F.S., de Melo Leite, A.C.R., Girão, V.C.C., de Queiroz Cunha, F., *et al.* (2015) Strontium Ranelate Analgesia in Arthritis Models Is Associated to Decreased Cytokine Release and Opioid-Dependent Mechanisms. *Inflammation Research*, **64**, 781-787. <https://doi.org/10.1007/s00011-015-0860-7>