

恒牙活髓保存治疗的研究进展

吴倩倩

北京市东城区崇文口腔医院儿科，北京

收稿日期：2026年8月2日；录用日期：2026年8月26日；发布日期：2026年9月2日

摘要

活髓保存治疗(Vital Pulp Therapy, VPT)是以保存全部或部分健康牙髓组织、维持牙髓活力及其生理功能为目标的治疗方法，近年来已成为牙髓病学领域的研究热点。其应用范围已从深龋和年轻恒牙可复性牙髓炎，逐步延伸至部分成熟恒牙不可逆性牙髓炎。年轻恒牙因根尖孔开放、血供丰富、牙髓干细胞含量高，具有更强的修复与再生潜能，可实现牙根继续发育；而成熟恒牙在感染控制良好、炎症局限的条件下同样可获得满意疗效。本文系统综述了恒牙活髓保存治疗的生物学基础、主要术式、材料研究进展、疗效评价指标及影响预后的关键因素，并结合近年来的实验研究与临床数据加以分析，重点探讨牙髓炎症精确诊断、长期疗效评估等尚待解决的问题，以期为临床精准决策及后续研究方向提供理论参考。

关键词

活髓保存治疗，年轻恒牙，成熟恒牙，牙髓炎，生物活性材料

Research Progress on Vital Pulp Therapy for Permanent Teeth

Qianqian Wu

Department of Pediatrics, Chongwen Stomatological Hospital, Dongcheng District, Beijing

Received: August 2, 2026; accepted: August 26, 2026; published: September 2, 2026

Abstract

Vital Pulp Therapy (VPT) is a treatment method aimed at preserving all or part of the healthy dental pulp tissue, maintaining the vitality and physiological functions of the pulp. In recent years, it has become a research hotspot in the field of endodontics. Its application has gradually expanded from traditional deep caries and reversible pulpitis in young permanent teeth to the treatment of irreversible pulpitis in some mature permanent teeth. Young permanent teeth have a stronger potential for repair and regeneration due to the open root canals, rich blood supply, and high content of

dental pulp stem cells, allowing for continued root development. While mature permanent teeth can also achieve satisfactory results under conditions of good infection control and limited inflammation. This article systematically reviews the biological basis, main procedures, material research progress, efficacy evaluation indicators, and key factors affecting prognosis of endodontic vital pulp therapy for permanent teeth. It also analyzes these based on recent experimental studies and clinical data, focusing on issues such as precise diagnosis of pulp inflammation and long-term efficacy assessment, with the aim of providing theoretical references for clinical precise decision-making and subsequent research directions.

Keywords

Vital Pulp Therapy, Young Permanent Teeth, Mature Permanent Teeth, Pulpitis, Bioactive Materials

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

牙髓组织在牙齿的营养供给、感觉传导、防御修复及牙本质形成等方面发挥着不可替代的作用。传统牙髓病学观念认为,一旦发生不可逆性牙髓炎即应行根管治疗(Root Canal Treatment, RCT)。然而, RCT 后的牙齿由于失去牙髓的营养供给和形成功能,致牙体组织脱水、脆性增加、抗折能力下降,对于牙根尚未发育完成的年轻恒牙尤为不利[1]。

近年来,随着对牙髓再生与修复能力认识的不断深入,以及生物活性材料的广泛应用, VPT 重新受到重视。2019 年欧洲牙髓病学会(European Society of Endodontology, ESE)及 2021 年美国牙髓病学会(American Association of Endodontists, AAE)相继肯定了 VPT 在深龋至部分不可逆性牙髓炎病例中的价值[2][3]。2022 年, Duncan 系统阐述了 VPT 的现状与未来方向,是牙髓病学从“以根管治疗为核心”向“以牙髓保存为导向”理念的重要转变[4]。本文旨在综述恒牙 VPT 的研究现状。

2. VPT 的生物学基础

2.1. 牙髓的修复潜能

牙髓是一种富含血管、神经、成纤维细胞及未分化间充质干细胞的疏松结缔组织,具有较强的防御和修复能力。当牙髓受到龋源性、机械性或化学性损伤刺激时,最先做出反应的是位于牙髓最外层的成牙本质细胞,它能快速分泌新的牙本质基质,形成反应性牙本质[5]。不过,成牙本质细胞是终末分化细胞,自身无法增殖。如果刺激强烈导致它们受损或死亡,干细胞群体包括牙髓干细胞(Dental Pulp Stem Cells, DPSCs)和根尖乳头干细胞(Stem Cells from the Apical Papilla, SCAPs)可被激活、迁移、增殖并分化为成牙本质细胞样细胞,进而分泌牙本质基质、矿化形成修复性牙本质,实现创口的生物学封闭[6]。

这一修复过程受到多种生物活性分子的精密调控。牙本质基质中贮存转化生长因子- $\beta 1$ (Transforming Growth Factor- $\beta 1$, TGF- $\beta 1$)、骨形态发生蛋白(Bone Morphogenetic Protein, BMP)及生长因子,在特定刺激下可从其与细胞外基质的结合状态中释放。这些释放的信号分子能够级联激活牙髓细胞的多种信号通路,进而定向诱导其向成牙本质细胞样细胞分化,并启动修复性牙本质的形成[7][8]。研究显示,硅酸钙类材料释放的钙离子和羟基可上调干细胞分化相关基因如牙本质涎磷蛋白(Dentin Sialophosphoprotein, DSPP)、

碱性磷酸酶(Alkaline Phosphatase, ALP)的表达,促进矿化结节的形成,为其临床诱导硬组织修复提供了分子生物学依据[9]。

2.2. 年轻恒牙与成熟恒牙的差异

有研究对比了儿童、青少年、成人和老年供体的 DPSCs 增值速率,发现老年组的增值速率最慢,年轻供体的 DPSCs 活力更高[10]。年轻恒牙牙根尚未发育完成,根尖孔呈喇叭口状开放,血供丰富,牙髓组织中干细胞含量高,增殖分化能力强,修复潜能大。

成熟恒牙牙根发育完成,根尖孔狭窄,血供相对有限,牙髓组织中细胞成分减少而纤维成分增加,修复能力相对较弱。然而,在炎症局限、感染控制良好的前提下,成熟恒牙牙髓仍具备一定的愈合潜力,这为 VPT 在成熟恒牙中的应用提供了坚实的生物学依据[11]。

3. VPT 的主要术式

3.1. 间接盖髓术(Indirect Pulp Capping, IPC)

适用于深龋近髓但未露髓的患牙。近年来,选择性去腐理念逐渐取代了传统的完全去腐。该理念主张在近髓的髓壁保留少量软化牙本质,避免露髓,再覆盖生物活性材料,以促进牙髓形成反应性牙本质并使残留龋坏组织再矿化、细菌失活[12]。系统评价显示,与完全去腐相比,选择性去腐可显著降低露髓风险,且不增加术后牙髓症状及治疗失败率,这表明选择性去腐在保护牙髓的同时,并未增加远期失败的风险,已成为深龋治疗推荐方法[13]。

3.2. 直接盖髓术(Direct Pulp Capping, DPC)

适用于机械性或龋源性露髓、露髓孔较小(一般<1 mm)且牙髓炎症局限者。将盖髓材料直接覆盖于露髓创面,诱导牙本质形成、封闭露髓孔。

3.3. 部分牙髓切断术(Partial Pulpotomy, PP)

去除露髓孔下方约 1~2 mm 的炎症牙髓组织,保留其余健康牙髓,并覆盖盖髓材料,即经典的 Cvek 切髓术。该术式尤其适用于外伤露髓的年轻恒牙。研究及近年随访证实,外伤露髓年轻恒牙行部分牙髓切断术的成功率可达 90%以上,且与露髓时间及露髓孔大小无显著相关,显示年轻恒牙牙髓的强大修复能力[14]。

3.4. 冠髓切断术(Coronal Pulpotomy, CP)

去除全部冠部牙髓,保留根部活髓,将盖髓材料覆盖于根管口处健康根髓的创面上,适用于炎症波及冠髓但根髓相对健康者。近年来,冠髓切断术不仅应用于年轻恒牙,多项研究应用于成熟恒牙不可逆性牙髓炎,也取得了一定的结果。2018 年 Taha 等对 64 例有不可复性牙髓炎临床体征和症状的成熟恒牙进行冠髓切断术治疗,6 个月临床和影像学成功率为 98.4% [15]。也有研究将冠髓切断术与 RCT 比较,发现冠髓切断术在缓解疼痛方面具有快速且可靠的效果,其治疗效果与 RCT 无明显差异,并且冠髓切断术还有术后镇痛药使用减少和治疗时间缩短的优势,提示冠髓切断术有望成为 RCT 的替代方案[16]。

4. VPT 相关材料选择

盖髓剂性能是影响 VPT 效果的重要因素,理想盖髓剂应具有良好的生物相容性、抗菌性及封闭性,诱导牙髓细胞分化及修复性牙本质形成,见表 1。

Table 1. Comparison of VPT-related materials
表 1. VPT 相关材料比较

	氢氧化钙	MTA	Biodentine	iRoot BP Plus
优点	价格低廉、抗菌性强、临床应用时间长、易获得	生物相容性、封闭性和牙本质桥形成能力突出	生物学性能接近MTA，同时凝固更快、机械性能更好、变色风险更低	生物相容性好、操作简便、封闭性好、变色风险低
缺点	易溶解、封闭性差、机械强度低、长期疗效稳定性不足	凝固时间长、操作困难、致牙冠变色；初始材料费用较高	成本高于氢氧化钙、需要调拌	初始成本较高、材料固化依赖一定湿度

注：VPT 为活髓保存治疗，MTA 为矿物三氧化物聚合物。

4.1. 氢氧化钙

氢氧化钙作为传统盖髓材料应用已逾半个世纪，具有强碱性、抗菌性及诱导硬组织形成能力。然而其存在局限：封闭性差、易在唾液和组织液中溶解、所形成的牙本质常含多发性隧道样缺陷，无法有效阻止细菌微渗漏，导致长期成功率随时间下降[17] [18]。

4.2. 硅酸钙类材料

4.2.1. 矿物三氧化物聚合物(Mineral Trioxide Aggregate, MTA)

近年来，MTA 凭借优异的生物相容性、封闭性、抗菌性、亲水固化特性及诱导硬组织形成能力，被视为牙髓切断盖髓材料的“金标准” [19]。研究证实，MTA 所诱导形成的牙本质桥较氢氧化钙更连续、致密、缺陷更少，且伴随的牙髓炎症反应更轻[20]。其主要缺点为固化时间长、操作性欠佳及可能致牙冠变色[21]。

4.2.2. Biodentine

以硅酸三钙为主要成分，机械强度接近牙本质，可作为牙本质替代材料。在物理和生物学性能上与MTA 相当，同时具备凝固时间更短[22]、不易导致牙体变色[23]的优势。应用于成熟恒牙不可复性牙髓炎的冠髓切断术治疗，术后 12 个月成功率能达到 87% [24]。

4.2.3. iRoot BP Plus

iRoot BP Plus 是一类预混合的膏状生物陶瓷材料，成分包括硅酸钙、氧化锆、氧化钽、磷酸钙等，固化时生成羟基磷灰石且不引起牙变色[25]。操作简便，具有良好的生物相容性、封闭性及抗菌性，可促进矿化相关基因的表达及钙化桥形成，且质量优于 MTA [26]-[28]。

4.3. 组织工程与再生方向

在传统盖髓材料之外，富血小板纤维蛋白(Platelet-Rich Fibrin, PRF)作为一种自体血小板浓缩物，因富含多种生长因子，已被用作牙髓切断术中的生物活性支架。研究显示 PRF 有助于促进牙髓组织愈合[29]。与此同时，基于牙髓干细胞、生长因子及仿生支架材料的牙髓组织工程，正成为该领域的前沿研究方向，为实现功能性牙髓 - 牙本质复合体的再生奠定基础[30]。

5. 疗效评价与影响因素

5.1. 疗效评价指标

VPT 的疗效评价应结合临床与影像学指标综合判断。临床主要检查有无自发痛及激发痛、有无叩痛及扪诊痛、牙髓活力测试反应,需要注意的是冠方修复体及修复性牙本质形成可能影响牙髓活力测试的准确性。影像学主要观察根尖周组织是否正常、有无病变形或原有病变是否愈合、有无牙本质桥形成;对年轻恒牙而言,牙根长度增加、根管壁增厚及根尖闭合是治疗成功的重要标志。一般建议随访至少 1 年,2 年以上的长期随访更能反映真实疗效[4]。

5.2. 影响预后的关键因素

5.2.1. 牙髓炎症状态的判断

术前准确判断牙髓炎症程度是治疗成功的核心,也是当前最大的难点。研究表明,临床诊断与组织学炎症程度之间的相关性有限,临床上诊断为不可逆性牙髓炎的患牙中,相当一部分根髓是健康的[31]。因此,寻找客观、准确的炎症评估方式成为研究热点。牙髓血液或龈沟液中的炎症标志物,如白细胞介素-6 (Interleukin-6, IL-6)、白细胞介素-8 (Interleukin-8, IL-8)、肿瘤坏死因子- α (Tumor Necrosis Factor- α , TNF- α)及基质金属蛋白酶-9 (Matrix Metalloproteinase-9, MMP-9)等的水平,被认为可反映牙髓炎症程度,有望成为辅助诊断的生物标志物[32]。

5.2.2. 术中出血控制

术中出血情况是判断牙髓炎症状态的重要临床指标。若在使用次氯酸钠或生理盐水冲洗后数分钟内出血能够停止,通常提示牙髓炎症可控、预后良好;若出血难以控制,则提示炎症范围较广,需考虑加深髓腔或改行 RCT [3] [11]。

5.2.3. 感染控制与冠方封闭

橡皮障隔离下的无菌操作及严密的冠方封闭是防止术后微渗漏、保证长期成功的关键环节。研究表明,冠方封闭不良是导致 VPT 失败的主要原因之一[33]。

5.2.4. 患者年龄与牙根发育程度

年轻患者及牙根未发育完成者,因牙髓血供丰富、牙髓干细胞活性高,预后普遍优于成熟恒牙[10] [14]。但也有研究分析认为牙根发育阶段不是影响治疗成功的关键因素[33]。

6. 存在问题与展望

6.1. 牙髓炎症的精确诊断

目前缺乏能够客观、准确、无创地评估牙髓真实炎症状态的诊断手段,导致适应证把握困难。未来将炎症生物标志物检测、无创影像学技术与分子诊断相结合,有望实现牙髓状态的精准评估[31] [32]。

6.2. 长期疗效证据不足

目前 VPT 的长期疗效证据仍不充分,现有研究多集中于术后 6~24 个月,且常采用疼痛消失、牙髓活力试验阳性及影像学无明显异常等短期指标评价疗效,尚缺乏对牙齿长期存留、再次干预及迟发性并发症的系统观察。特别是牙髓弥漫性钙化、根管闭锁、牙髓坏死、迟发性根尖周炎、牙冠变色、修复体微渗漏以及最终接受根管治疗或拔除等结局,可能在治疗数年后才逐渐显现。

为解决这一关键临床问题,建议开展一项前瞻性、多中心、分层随机、平行对照试验。研究可纳入

接受 VPT 的恒牙患者,并依据术前诊断、年龄、牙位、根尖状态及术中止血时间进行分层随机,比较常用盖髓材料。各中心应采用统一的病例选择标准、无菌操作流程、牙髓切除范围、止血方法、材料厚度及冠方永久修复方案,以减少技术异质性。设置主要结局,治疗失败定义为持续或复发性疼痛、牙髓坏死、根尖周病变、需要根管治疗或拔牙。随访时间点可设置为术后 1、3、6 和 12 个月,此后每年随访,至少持续 5 年,条件允许时延长至 10 年。为提高证据质量,临床和影像学结局应由不知道材料分组的独立评价者判定,根尖片采用标准化平行投照技术。研究还可同步建立影像资料库和生物样本库,探索术前炎症标志物、牙髓出血特征及影像学参数对长期疗效的预测价值。通过此类标准化、长期、多中心研究,可进一步明确不同盖髓材料的真实远期效果,并为材料选择、病例筛选和随访策略的制定提供更可靠的循证依据。

6.3. 再生医学的临床转化

基于干细胞和生长因子的牙髓再生技术尚处于实验及早期临床阶段,其安全性、有效性及成本效益仍需大量研究验证[30]。

未来,随着牙髓生物学研究的深入、诊断技术的进步及新型生物活性材料的研发,VPT 有望在更广泛的适应证范围内实现个性化、精准化和微创化,最大限度地保存牙髓活力与牙齿的天然功能。

7. 结论

VPT 是一种以保存牙髓活力、维持其正常生理功能为目标的微创治疗方法。年轻恒牙因其强大的修复潜能,成为 VPT 的理想治疗对象,以实现牙根的继续发育与根尖闭合;成熟恒牙在感染控制良好、炎症局限的前提下,同样可获得较为满意的疗效,为部分不可逆性牙髓炎病例提供了替代根管治疗的选择。以硅酸钙类生物陶瓷为代表的生物活性材料的发展,显著提升了治疗成功率。今后应着力解决牙髓炎症的精确诊断和长期疗效评估两大关键问题,并积极推动牙髓再生技术的临床转化,使 VPT 向更精准、更可靠的方向发展。

参考文献

- [1] Yan, W., Jiang, H., Deng, Z., Paranjpe, A., Zhang, H. and Arola, D. (2021) Shrinkage Strains in the Dentin of Endodontically Treated Teeth with Water Loss. *Journal of Endodontics*, **47**, 806-811. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.01.012>
- [2] Duncan, H.F., Galler, K.M., Tomson, P.L., Simon, S., El-Karim, I., Kundzina, R., et al. (2019) European Society of Endodontology Position Statement: Management of Deep Caries and the Exposed Pulp. *International Endodontic Journal*, **52**, 923-934. <https://doi.org/10.1111/iej.13080>
- [3] (2021) AAE Position Statement on Vital Pulp Therapy. *Journal of Endodontics*, **47**, 1340-1344.
- [4] Duncan, H.F. (2022) Present Status and Future Directions—Vital Pulp Treatment and Pulp Preservation Strategies. *International Endodontic Journal*, **55**, 497-511. <https://doi.org/10.1111/iej.13688>
- [5] Galler, K.M., Weber, M., Korkmaz, Y., Widbiller, M. and Feuerer, M. (2021) Inflammatory Response Mechanisms of the Dentine-Pulp Complex and the Periapical Tissues. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**, Article 1480. <https://doi.org/10.3390/ijms22031480>
- [6] Ziauddin, S.M., Nakashima, M., Watanabe, H., Tominaga, M. and Iohara, K. (2022) Biological Characteristics and Pulp Regeneration Potential of Stem Cells from Canine Deciduous Teeth Compared with Those of Permanent Teeth. *Stem Cell Research & Therapy*, **13**, Article No. 439. <https://doi.org/10.1186/s13287-022-03124-3>
- [7] Giraud, T., Jeanneau, C., Rombouts, C., Bakhtiar, H., Laurent, P. and About, I. (2019) Pulp Capping Materials Modulate the Balance between Inflammation and Regeneration. *Dental Materials*, **35**, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.008>
- [8] Rajasekar, V., Abdalla, M.M., Neelakantan, P. and Yiu, C.K.Y. (2025) Cellular Dynamics and Signalling Mechanisms in Dentine Repair: A Narrative Review. *International Endodontic Journal*, **58**, 1354-1383. <https://doi.org/10.1111/iej.14261>
- [9] Sanz, J.L., Forner, L., Almodéver, A., Guerrero-Gironés, J. and Llena, C. (2020) Viability and Stimulation of Human

- Stem Cells from the Apical Papilla (hSCAPs) Induced by Silicate-Based Materials for Their Potential Use in Regenerative Endodontics: A Systematic Review. *Materials*, **13**, Article 974. <https://doi.org/10.3390/ma13040974>
- [10] Nakashima, M., Iohara, K. and Zayed, M. (2020) Pulp Regeneration: Current Approaches, Challenges, and Novel Rejuvenating Strategies for an Aging Population. *Journal of Endodontics*, **46**, S135-S142. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.06.028>
- [11] Ricucci, D., Siqueira, J.F., Li, Y. and Tay, F.R. (2019) Vital Pulp Therapy: Histopathology and Histobacteriology-Based Guidelines to Treat Teeth with Deep Caries and Pulp Exposure. *Journal of Dentistry*, **86**, 41-52. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.05.022>
- [12] Schwendicke, F., Splieth, C., Breschi, L., Banerjee, A., Fontana, M., Paris, S., *et al.* (2019) When to Intervene in the Caries Process? An Expert Delphi Consensus Statement. *Clinical Oral Investigations*, **23**, 3691-3703. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-03058-w>
- [13] Li, T., Zhai, X., Song, F. and Zhu, H. (2018) Selective versus Non-Selective Removal for Dental Caries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Acta Odontologica Scandinavica*, **76**, 135-140. <https://doi.org/10.1080/00016357.2017.1392602>
- [14] Bimstein, E. and Rotstein, I. (2016) Cvek Pulpotomy-Revisited. *Dental Traumatology*, **32**, 438-442. <https://doi.org/10.1111/edt.12297>
- [15] Taha, N.A. and Abdelkader, S.Z. (2018) Outcome of Full Pulpotomy Using Biodentine in Adult Patients with Symptoms Indicative of Irreversible Pulpitis. *International Endodontic Journal*, **51**, 819-828. <https://doi.org/10.1111/iej.12903>
- [16] Sairafi, R., Ramadan, F., Alharbi, A., Aljuhani, S., Aloudah, E. and Alruwaili, R. (2026) Vital Pulp Therapy versus Root Canal Treatment for Irreversible Pulpitis Pain Management—A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Medicine in Developing Countries*, **10**, 1926-1937. <https://doi.org/10.24911/ijmdc.51-1769070038>
- [17] Al-Hezaimi, K., Naghshbandi, J., Alhuzaimi, R., Alonaizan, F., AlQwizany, I. and Rotstein, I. (2020) Evaluation of Recombinant Human Platelet-Derived Growth Factor or Enamel Matrix Derivative Plus Calcium Hydroxide for Pulp Capping: A Randomized Controlled Human Clinical Trial. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, **40**, 645-654. <https://doi.org/10.11607/prd.4764>
- [18] Cox, C.F., Sübay, R.K., Ostro, E., *et al.* (1996) Tunnel Defects in Dentin Bridges: Their Formation Following Direct Pulp Capping. *Operative Dentistry*, **21**, 4-11.
- [19] Parirokh, M., Torabinejad, M. and Dummer, P.M.H. (2018) Mineral Trioxide Aggregate and Other Bioactive Endodontic Cements: An Updated Overview—Part I: Vital Pulp Therapy. *International Endodontic Journal*, **51**, 177-205. <https://doi.org/10.1111/iej.12841>
- [20] Paula, A.B., Laranjo, M., Marto, C., Paulo, S., Abrantes, A.M., Casalta-Lopes, J., *et al.* (2018) Direct Pulp Capping: What Is the Most Effective Therapy?—Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, **18**, 298-314. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2018.02.002>
- [21] Kohli, M.R., Yamaguchi, M., Setzer, F.C. and Karabucak, B. (2015) Spectrophotometric Analysis of Coronal Tooth Discoloration Induced by Various Bioceramic Cements and Other Endodontic Materials. *Journal of Endodontics*, **41**, 1862-1866. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.07.003>
- [22] Camilleri, J., Sorrentino, F. and Damidot, D. (2013) Investigation of the Hydration and Bioactivity of Radiopacified Tricalcium Silicate Cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental Materials*, **29**, 580-593. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.03.007>
- [23] Abuelniel, G.M., Duggal, M.S. and Kabel, N. (2020) A Comparison of MTA and Biodentine as Medicaments for Pulpotomy in Traumatized Anterior Immature Permanent Teeth: A Randomized Clinical Trial. *Dental Traumatology*, **36**, 400-410. <https://doi.org/10.1111/edt.12553>
- [24] Anta, S., Diouma, N., Ousmane, N.S., Fatou, L.B., Florence, F. and Babacar, T. (2022) Evaluation of Complete Pulpotomy with Biodentine on Mature Permanent Molars with Signs and Symptoms of Symptomatic Irreversible Pulpitis: 12-Months Follow-Up. *Journal of Endodontics*, **48**, 312-319. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.12.008>
- [25] Shi, S., Bao, Z.F., Liu, Y., Zhang, D.D., Chen, X., Jiang, L.M., *et al.* (2016) Comparison of *in Vivo* Dental Pulp Responses to Capping with iRoot BP Plus and Mineral Trioxide Aggregate. *International Endodontic Journal*, **49**, 154-160. <https://doi.org/10.1111/iej.12439>
- [26] Öncel Torun, Z., Torun, D., Demirkaya, K., Yavuz, S.T., Elçi, M.P., Sarper, M., *et al.* (2015) Effects of iRoot BP and White Mineral Trioxide Aggregate on Cell Viability and the Expression of Genes Associated with Mineralization. *International Endodontic Journal*, **48**, 986-993. <https://doi.org/10.1111/iej.12393>
- [27] De-Deus, G., Canabarro, A., Alves, G.G., Marins, J.R., Linhares, A.B.R. and Granjeiro, J.M. (2012) Cytocompatibility of the Ready-to-Use Bioceramic Putty Repair Cement iRoot BP Plus with Primary Human Osteoblasts. *International Endodontic Journal*, **45**, 508-513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.02003.x>
- [28] Chen, I., Karabucak, B., Wang, C., Wang, H., Koyama, E., Kohli, M.R., *et al.* (2015) Healing after Root-End Microsurgery

- by Using Mineral Trioxide Aggregate and a New Calcium Silicate-Based Bioceramic Material as Root-End Filling Materials in Dogs. *Journal of Endodontics*, **41**, 389-399. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.11.005>
- [29] Huang, F., Yang, S., Zhao, J. and Chang, Y. (2010) Platelet-Rich Fibrin Increases Proliferation and Differentiation of Human Dental Pulp Cells. *Journal of Endodontics*, **36**, 1628-1632. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.07.004>
- [30] Xie, Z., Shen, Z., Zhan, P., Yang, J., Huang, Q., Huang, S., *et al.* (2021) Functional Dental Pulp Regeneration: Basic Research and Clinical Translation. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**, Article 8991. <https://doi.org/10.3390/ijms22168991>
- [31] Mainkar, A. and Kim, S.G. (2018) Diagnostic Accuracy of 5 Dental Pulp Tests: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Endodontics*, **44**, 694-702. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.01.021>
- [32] Zanini, M., Meyer, E. and Simon, S. (2017) Pulp Inflammation Diagnosis from Clinical to Inflammatory Mediators: A Systematic Review. *Journal of Endodontics*, **43**, 1033-1051. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.02.009>
- [33] Tan, S.Y., Yu, V.S.H., Lim, K.C., Tan, B.C.K., Neo, C.L.J., Shen, L., *et al.* (2020) Long-Term Pulpal and Restorative Outcomes of Pulpotomy in Mature Permanent Teeth. *Journal of Endodontics*, **46**, 383-390. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.11.009>