

# 年轻恒牙活髓保留技术的临床新进展

唐柏森<sup>1\*</sup>, 贾良<sup>1\*</sup>, 郭宇祺<sup>1\*</sup>, 贾音<sup>2,3#</sup>

<sup>1</sup>新疆医科大学口腔医学院, 新疆 乌鲁木齐

<sup>2</sup>中国医学科学院, 北京

<sup>3</sup>阜外医院医学统计部, 北京

收稿日期: 2026年2月11日; 录用日期: 2026年3月4日; 发布日期: 2026年3月13日

## 摘要

年轻恒牙因牙根未完全发育, 龋病、外伤等引发的牙髓暴露易导致牙根发育停滞, 传统活髓保留技术存在适应症窄、材料性能局限等问题。随着“保髓优先”理念普及, 活髓保留技术近年取得显著进展: 术式层面, 牙髓切断术适应症拓展至部分不可复性牙髓炎, 根尖诱导成形术通过材料迭代降低根折风险, 牙髓血运重建术凭借生物支架实现牙根三维发育, 形成分级治疗体系; 材料层面, iRoot BP Plus、Bio-dentine等硅酸钙基生物陶瓷以低变色率、高矿化诱导能力替代传统氢氧化钙与MTA, CGF+PPP等复合生物材料进一步提升疗效; 诊疗技术上, 全麻舒适化治疗、微创技术与口腔显微镜结合, 解决低龄患儿配合难题与操作精准度问题, 预后评估以初诊叩痛为核心指标优化风险预判, 整体治疗成功率超90%。未来该领域将向个性化、再生化、数字化方向发展, 通过多中心长期随访、基层医师规范化培训等进一步提升活髓保留效果与诊疗可及性, 为年轻恒牙临床个体化治疗提供参考。

## 关键词

年轻恒牙, 血运重建, 牙髓切断术, 盖髓材料, 根尖诱导成形术

# New Clinical Progress in Vital Pulp Preservation Techniques for Immature Permanent Teeth

Baisen Tang<sup>1\*</sup>, Liang Jia<sup>1\*</sup>, Yuqi Guo<sup>1\*</sup>, Yin Jia<sup>2,3#</sup>

<sup>1</sup>School of Stomatology, Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

<sup>2</sup>Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing

<sup>3</sup>Department of Medical Statistics, Fuwai Hospital, Beijing

Received: February 11, 2026; accepted: March 4, 2026; published: March 13, 2026

\*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 唐柏森, 贾良, 郭宇祺, 贾音. 年轻恒牙活髓保留技术的临床新进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 2356-2361. DOI: 10.12677/acm.2026.1631031

## Abstract

In immature permanent teeth, incomplete root development renders pulp exposure caused by caries, trauma, and other insults prone to result in arrested root development. Traditional vital pulp therapy has been constrained by narrow indications and material-related limitations. With the widespread adoption of the “vital pulp-preserving first” concept, vital pulp therapy has achieved substantial progress in recent years. Procedurally, the indications for pulpotomy have expanded to selected cases of partial irreversible pulpitis; apexification has reduced the risk of root fracture through successive material innovations; and regenerative endodontic procedures have enabled three-dimensional root development via biological scaffolds, collectively forming a tiered treatment strategy. At the material level, calcium silicate-based bioceramics such as iRoot BP Plus and Biodentine, characterized by low discoloration potential and strong mineralization-inducing capacity, have replaced traditional calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate (MTA), while composite biomaterials such as CGF combined with PPP have further improved clinical outcomes. In terms of diagnostic and therapeutic techniques, the integration of comfortable treatment under general anesthesia, minimally invasive approaches, and dental operating microscopes has addressed cooperation difficulties in young children and enhanced operative precision. Prognostic assessment has been optimized by using percussion pain at the initial visit as a key indicator for risk prediction, with reported overall success rates exceeding 90%. Future developments are expected to focus on personalized, regenerative, and digitalized approaches, supported by multicenter long-term follow-up studies and standardized training for primary care dentists, to further improve the effectiveness and accessibility of vital pulp therapy for immature permanent teeth.

## Keywords

Immature Permanent Teeth, Regenerative Endodontic Procedures, Pulpotomy, Pulp-Capping Materials, Apexification

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

年轻恒牙是指已经萌出但形态和结构尚未完全形成和成熟的恒牙。此类牙齿在萌出后由于根尖孔尚未闭合，牙根仍处于持续发育阶段，通常需经过 2~3 年牙根才能达到应有的长度，3~5 年根尖部才能发育形成[1]。龋病、外伤等引发的牙髓暴露，若治疗不当易致牙根发育停滞，传统活髓保留技术受适应症窄、材料性能局限，疗效欠佳[2]。同时，年轻恒牙牙髓处组织血运丰富，部分牙髓干细胞会存在于受感染部位，因此给予年轻恒牙实施再生性牙髓治疗对促进牙髓再生十分关键[3]。随着“保髓优先”理念普及，活髓保留技术成为首选。近年来，牙髓切断术适应症拓展至部分不可复性牙髓炎患牙，生物陶瓷材料取代传统氢氧化钙成为主流[4]，同时无菌操作理念的强化及数字化诊疗技术的应用进一步提升了治疗效果。本文将综述近 2 年年轻恒牙活髓保留技术的主要研究进展，为临床个体化诊疗提供参考。

## 2. 年轻恒牙牙髓切断术

由于年轻恒牙牙根尚未完全发育，当外伤或龋病导致牙髓暴露时，活髓切断术作为保留根髓活力、

促进牙根继续发育的核心治疗方式，近年来在多方面取得了显著进展。

### 2.1. 盖髓材料的循证选择

传统矿物三氧化物凝聚体(MTA)虽具有良好的生物相容性，但其操作过程相对复杂，且术后 12 个月牙冠变色率可达 100%，限制了临床应用[5]。相比之下，新型硅酸钙基材料更优。研究表明，Theracal LC 用于活髓切断术的 4 年成功率可达 88.2% (95%CI: 82.1%~94.3%)，虽略低于 MTA 的 93.7%，但差异无统计学意义( $P > 0.05$ )，且无牙冠变色发生(证据等级：队列研究)；iRoot BP Plus 与 Biodentine 在术后 12 个月的成功率均超过 95% (证据等级：RCT)，变色率仅 4.55%~4.88%，远低于 MTA 的 69.77%，其通过持续释钙促进修复性牙本质形成的机制已被组织学证实[6]。

### 2.2. 诊疗技术与预后评估优化

在诊疗技术上，全麻舒适化诊疗可解决低龄儿童配合难题，1 小时内完成治疗，从而降低多次就诊及相关并发症风险[7]；局部麻醉下微创技术也高效，如外伤露髓后用 iRoot BP 盖髓，40 分钟完成治疗。在预后评估上，既往认为露髓时间关键，而最新的多因素回归分析显示，初诊叩痛(+++)是预后不良的独立危险因素(证据等级：诊断试验)，其预测曲线下面积 0.860，灵敏度、特异度分别为 0.832、0.865 [8]。在显微镜辅助下规范操作并严格执行无菌处理，可使术后 1 年成功率提高至 94.53%。

## 3. 根尖诱导成形术

根尖诱导成形术通过诱导根尖部形成硬组织屏障实现牙根闭合与感染控制。为了提升临床决策的科学性，以下是针对该术式的临床决策逻辑与证据支持。

### 3.1. 材料迭代与操作优化

传统术式以氢氧化钙制剂为核心，但存在治疗周期长(6 个月至 1 年)、反复换药增加根折风险、根尖闭合一致性差等局限[9]。Biodentine 作为 MTA 的替代材料，在根尖手术中初始凝固时间仅 12 分钟(传统材料约 180 分钟) [10]，生物相容性与矿化诱导能力与传统材料相当，且无明显牙齿变色风险(证据等级：动物实验/临床对照) [11]，目前通过采用新型速凝硅酸钙材料、缩短换药间隔至 2 周内，已将根折风险降低 30%以上[12]。

### 3.2. 适应症与联合策略

对于根尖孔呈“喇叭口”状的严重病例，联合根尖屏障材料分层充填，能提高屏障密封性，降低微渗漏风险[13]。结合口腔手术显微镜的精准操作，可减少器械超出根尖孔的概率，提升材料放置精度[14]。

## 4. 年轻恒牙牙髓血运重建术

牙髓血运重建术通过构建生物支架诱导牙髓干细胞增殖分化，是目前再生性治疗的核心[15]-[17]。

### 4.1. 支架材料的革新

传统以血凝块作为生物支架的血运重建术，存在根尖引血不足、支架稳定性欠佳等局限。新型生物支架材料突破这一瓶颈：浓缩生长因子(CGF)联合氢氧化钙替硝唑糊剂(TCHP)治疗后，12 个月总有效率 85% (证据等级：病例对照)，牙根长度及根管壁厚度增长差值显著高于单纯 TCHP 组[15]；注射型富血小板纤维蛋白(i-PRF)作为支架，术后 12 个月牙根长度增加比例达 22.79%，牙本质壁厚度增长优于传统血凝块组[16]。

## 4.2. 联合治疗方案优化

联合治疗进一步提升疗效，自体贫血小板血浆(PPP)与 CGF 联用治疗牙外伤所致根尖周炎，有效率达 85.71%，根尖周病变体积缩小更明显，牙髓活力及牙体色泽恢复更佳[18]；氢氧化钙糊剂替代三联抗生素糊剂封药，术后 12 个月 VAS 疼痛评分更低，牙根发育指标更优，且减少牙冠变色风险[19]。

与根尖诱导成形术相比，术后 3 个月牙髓活力生长因子(bFGF、VEGF)水平更高，根管长度及厚度增长更明显，治疗成功率达 95%。

## 5. 年轻恒牙盖髓材料应用

盖髓材料的迭代升级是活髓保留技术的核心突破。

### 5.1. 传统与新型材料对比

近年以硅酸钙基材料为代表的新型生物活性材料，在生物相容性、变色控制及矿化诱导能力上显著优化，逐步替代传统材料成为临床首选[20]-[21]。传统氢氧化钙：虽具备基础抗菌性，但诱导牙本质桥多孔缺损，4~5 年治疗成功率仅 56% [22]；MTA 虽生物活性优异，但 12 个月牙冠变色率达 69.77%，限制了其在美学区的广泛应用[21]。新型硅酸钙基材料(iRoot BP Plus/Biodentine)：12 个月牙齿变色率仅 4.55%~4.88%，术后 6 个月成功率超 97.5%，并发症发生率仅 5%；在深龋直接盖髓治疗中，iRoot BP Plus 的术后 6 个月成功率 97.5%，并发症发生率仅 5%。

### 5.2. 复合材料拓展

复合与改性材料进一步拓展应用场景：富血小板纤维蛋白(PRF)联合 MTA 可发挥生长因子缓释与强密封双重优势，加速炎症牙髓愈合[22]。

### 5.3. 临床决策流程图(见图 1)

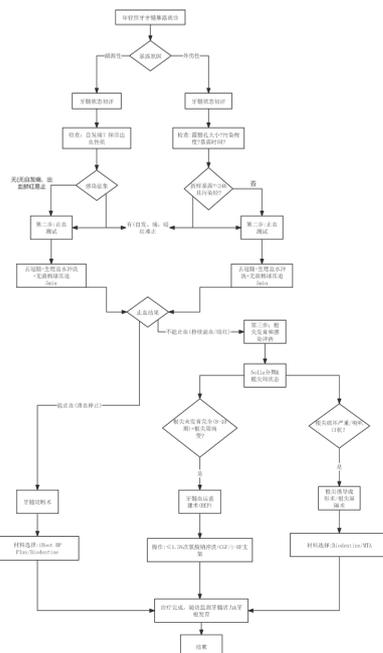


Figure 1. Clinical decision-making flowchart  
图 1. 临床决策流程图

首先初评牙髓状态：检查自发痛、探诊出血性质，结合露髓孔大小、污染程度、暴露时间判断感染征象，无论有无感染均行基础止血(去冠髓 + 生理盐水冲洗 + 无菌棉球压迫 5 min)。

在止血后分两类处置：能止血者直接行牙髓切断术，选用 iRootBP Plus/Biodentine；不能止血者(持续涌血/暗红)进一步评估根尖发育(Nolla 分期)和根尖周状态。

最后根尖评估后精准施治：根尖未发育完全(8~10 期)伴根尖周病变，根尖破坏严重者行根尖诱导成形术/根尖屏障术(材料 Biodentine/MTA)，适配者行牙髓血运重建术( $\leq 1.5\%$ 次氯酸钠冲洗 + CGF/i-RF 支架)。

#### 5.4. 核心治疗方案证据汇总表(见表 1)

该表系统汇总了年轻恒牙活髓保留与根尖发育相关核心治疗方案的循证医学证据，涵盖牙髓切断术、根尖诱导/屏障术、牙髓血运重建术及 CGF 联合 TCHP 支架疗法，从证据等级、样本量、随访时长、成功标准及失败率等维度进行量化呈现。

整体而言，牙髓切断术(MTA/Biodentine)与牙髓血运重建术疗效稳定、失败率低，是临床首选的高证据等级方案；根尖屏障/诱导术及 CGF 联合疗法可作为补充选择，其疗效受材料特性与研究设计影响，需结合临床场景个体化应用。

**Table 1.** Evidence summary table for core treatment plans

**表 1.** 核心治疗方案证据汇总表

治疗方案	证据等级	数据来源	样本量	随访时间	成功标准	失败率(%)
牙髓切断术 (MTA)	RCT	Nowicka <i>et al.</i>	40	36 个月	无临床症状，牙根继续发育	6.3%
牙髓切断术 (Biodentine)	RCT	于艳玲等	60	12 个月	无叩痛，无窦道，牙本质桥形成	4.88%
根尖诱导成形术 (Vitapex)	队列	林艳等	85	24 个月	根尖屏障形成，根尖周病变愈合	12.9%
根尖屏障术 (Biodentine)	队列	廖佳辰等	50	18 个月	根尖封闭良好，无微渗漏	8.0%
牙髓血运重建术	系统综述	AAPD Guideline	N/A	N/A	根尖闭合，根管壁增厚，牙根延长	<10%
CGF 联合 TCHP 支架	病例对照	于嘉昂等	34	12 个月	牙根三维发育，牙髓活力恢复	15.0%

## 6. 总结与展望

近年来，年轻恒牙活髓保留技术以“保髓优先、精准修复”为核心，实现多维度突破，结合新增的循证内容，本文通过梳理不同术式与材料的证据等级，明确了分级治疗体系：对于可复性牙髓炎及部分不可复性牙髓炎，牙髓切断术配合硅酸钙材料是首选；对于牙髓坏死病例，依据根尖状态选择血运重建或根尖诱导。未来需向“个性化、再生化、数字化”发展，结合患牙与患者情况定制方案，并通过多中心长期随访验证远期疗效。

## 参考文献

- [1] 葛立宏. 儿童口腔医学[M]. 第 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- [2] 赵守亮, 彭彬. 牙体牙髓病学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022.

- [3] 袁婧, 余思静, 游梦, 等. 上颌侧切牙年轻恒牙牙中牙伴根尖周炎的牙髓血运重建治疗 1 例[J]. 华西口腔医学杂志, 2022, 40(6): 716-720.
- [4] Hashimoto, K. and Aizawa, M. (2025) Special Issue "Bioceramics: Challenges and Medical Applications of Calcium-Phosphate-Based Biocompatible Ceramics". *International Journal of Molecular Sciences*, **26**, Article 10612. <https://doi.org/10.3390/ijms262110612>
- [5] 吴翠, 李长顺, 张昕. Theracal LC 与 MTA 用于复杂冠折年轻恒牙活髓切断术的临床对照研究[J]. 口腔医学, 2024, 44(10): 753-758+774.
- [6] 于艳玲, 张婧瑜, 段海洁, 等. 不同生物活性盖髓材料用于年轻恒牙活髓切断术中的临床效果比较[J]. 武警医学, 2024, 35(10): 867-871+875.
- [7] 周冰, 张帅, 屈怡静, 等. 活髓切断术后铸瓷高嵌体修复年轻恒磨牙临床研究[J]. 转化医学杂志, 2025, 14(9): 84-88.
- [8] 张海龙, 陈雪, 王敬, 等. 年轻恒牙外伤性冠折露髓时间与初诊叩痛对预后的影响[J]. 中国医刊, 2024, 59(7): 768-772.
- [9] 林艳, 杜焱, 何雁冰, 等. 不同牙髓状态年轻恒牙根尖诱导成形术的临床疗效分析[J]. 当代临床医刊, 2025, 37(5): 31-34.
- [10] 张键, 赵林帆, 陈隽永. 牙髓血运重建术与根尖诱导成形术治疗年轻恒牙牙髓坏死的效果对比[J]. 中国现代药物应用, 2025(15): 23-26.
- [11] Nabeel, M., Abu-Seida, A.M., Elgendy, A.A. and Tawfik, H.M. (2024) Biocompatibility of Mineral Trioxide Aggregate and Biodentine as Root-End Filling Materials: An *in Vivo* Study. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 3568. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53872-w>
- [12] 廖佳辰, 陈龙, 陆畅畅, 等. iRoot BP Plus 根尖屏障术和 Vitapex 根尖诱导成形术对发生慢性根尖周炎的年轻恒牙的疗效比较[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2024, 29(12): 709-712+718.
- [13] 姜新亚, 李静静, 刘兵. 牙髓血管再生术与根尖诱导成形术治疗年轻恒牙牙髓坏死的效果比较[J]. 中国实用医刊, 2024, 51(22): 49-52.
- [14] Bukhary, S. (2025) Apexification of an Endodontically Failed Permanent Tooth with an Open Apex: A Case Report with Histologic Findings. *Medicina*, **61**, Article 76. <https://doi.org/10.3390/medicina61020276>
- [15] 于嘉昂, 杨丽丽, 徐志媛, 等. CGF 联合氢氧化钙替硝唑糊剂用于年轻恒牙血运重建的效果观察[J]. 转化医学杂志, 2025, 14(7): 101-105.
- [16] 买布拜木·买买提依明, 玛衣努尔·艾赛提, 帕吾孜叶·帕尔哈提, 等. 富血小板纤维蛋白用于牙髓坏死的年轻恒牙患儿血管再生情况的随访分析[J]. 口腔医学, 2025, 45(3): 175-179+184.
- [17] 张静, 刘婷婷, 刘高成. 浓缩生长因子用于年轻恒牙牙髓血运重建术的临床疗效研究[J]. 新疆医科大学学报, 2025, 48(7): 963-967.
- [18] 霍娇汝, 钟月月, 拓瑞. 自体贫血小板血浆联合浓缩生长因子在年轻恒牙牙外伤治疗中的临床疗效分析[J]. 实用口腔医学杂志, 2025, 41(4): 484-489.
- [19] 潘宏, 钱晓晴, 金渊. 氢氧化钙糊剂联合牙髓血运重建术治疗年轻恒牙牙髓坏死的临床效果分析[J]. 中国美容医学, 2025, 34(8): 170-173.
- [20] 胡乐, 张鑫, 祁星, 等. 两种盖髓材料在深龋穿髓直接盖髓术中的应用比较[J]. 中国美容医学, 2025, 34(11): 154-157.
- [21] 于汶源, 史文毅, 万梅, 等. 四种盖髓材料治疗龋源性露髓恒牙的临床疗效比较[J]. 郑州大学学报(医学版), 2025, 60(2): 220-224.
- [22] 朱松. 直接盖髓材料的新进展[J]. 口腔材料器械杂志, 2025, 34(3): 133-136.