

iRoot BP Plus 在乳磨牙深龋间接牙髓治疗中的应用研究

陈一凡¹, 郭颖轩², 范子璇², 李金城³, 赵增波^{2*}

¹ 承德市口腔医院儿童口腔科 河北承德

² 河北医科大学口腔医院急诊综合科 河北石家庄

³ 唐山市工人医院口腔内科 河北唐山

【摘要】目的 评估生物陶瓷材料 iRoot BP Plus 在乳磨牙深龋间接牙髓治疗中的临床疗效，并与矿物三氧化物凝聚体（MTA）和氢氧化钙进行比较，以验证其有效性与安全性。方法 选取 2023 年 1 月至 2023 年 12 月期间在本科室就诊的 50 例 4~7 岁乳磨牙深龋患儿，采用随机数字表法将其分为三组：iRoot BP Plus 组（n=17）、MTA 组（n=17）和氢氧化钙组（n=16）。所有患牙均接受标准化的间接盖髓治疗，分别使用三种材料进行盖髓。术后于第 3、6、12 个月进行临床及影像随访，观察指标包括临床成功率、牙根吸收程度、不良反应发生率及术中操作指标。结果 iRoot BP Plus 组在 3、6、12 个月的随访中，临床成功率分别为 100%、94.1% 和 94.1%，显著高于氢氧化钙组 ($P<0.05$)，与 MTA 组差异无统计学意义 ($P>0.05$)。在牙根吸收程度方面，iRoot BP Plus 组明显优于氢氧化钙组 ($P\leq0.05$)；不良反应发生率亦显著较低 ($P<0.05$)。三组间的手术时间无显著差异，平均为 (30±5) 分钟，术中患儿疼痛感较轻。结论 iRoot BP Plus 在乳磨牙深龋间接盖髓治疗中表现出良好的临床效果，具有较高的成功率、较低的根吸收风险及不良反应发生率，其疗效优于氢氧化钙。该材料具有良好的生物相容性和操作便捷性，是一种安全、有效的间接盖髓材料，具有广阔的应用前景。

【关键词】 iRoot BP Plus；乳磨牙；深龋；间接牙髓治疗；盖髓材料

【基金项目】 承德市科技计划自筹经费项目（编号：202303A005）

【收稿日期】 2025 年 5 月 15 日 **【出刊日期】** 2025 年 6 月 25 日 **【DOI】** 10.12208/j.iosr.20250002

Clinical application of iRoot BP plus in indirect pulp treatment of deep caries in primary molars

Yifan Chen¹, Yingxuan Guo², Zixuan Fan², Jincheng Li³, Zengbo Zhao^{2*}

¹ Department of Pediatric Dentistry, Chengde Stomatological Hospital, Chengde, Hebei

² Department of Emergency and General Dentistry, Stomatological Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei

³ Department of Conservative Dentistry, Tangshan Workers' Hospital, Tangshan Hebei

【Abstract】Objective To evaluate the clinical efficacy of the bioceramic material iRoot BP Plus in indirect pulp treatment (IPT) of deep caries in primary molars, and to compare its effectiveness and safety with mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide. **Methods** A total of 50 children aged 4 to 7 years with deep caries in primary molars, who were treated in our department between January and December 2023, were selected. Using a random number table method, the patients were divided into three groups: iRoot BP Plus group (n=17), MTA group (n=17), and calcium hydroxide group (n=16). All patients underwent standardized indirect pulp treatment using the respective materials. Follow-ups were conducted at 3, 6, and 12 months post-treatment. Clinical evaluation indicators included success rate, degree of root resorption, incidence of adverse reactions, and operative parameters. **Results** The clinical success rates in the iRoot BP Plus group at 3, 6, and 12 months were 100%, 94.1%, and 94.1%,

第一作者简介：陈一凡（1990-）女，主治医师，主要研究方向儿童口腔疾病的预防及治疗；

*通讯作者：赵增波（1981-）男，副主任医师，主要研究方向为口腔急诊牙外伤、儿童口腔相关的临床与基础研究。

respectively, which were significantly higher than those in the calcium hydroxide group ($P<0.05$), and not significantly different from the MTA group ($P>0.05$). The iRoot BP Plus group showed significantly less root resorption ($P\leq0.05$) and a lower incidence of adverse reactions ($P<0.05$) compared to the calcium hydroxide group. No significant differences were observed in operative time among the three groups, with an average duration of 30 ± 5 minutes. Children experienced mild intraoperative pain. **Conclusion** iRoot BP Plus demonstrates favorable clinical performance in the indirect pulp treatment of deep caries in primary molars, with high success rates, reduced root resorption, and fewer adverse effects. Its therapeutic efficacy is superior to calcium hydroxide and comparable to MTA. With good biocompatibility and ease of handling, iRoot BP Plus is a safe and effective pulp capping material with promising clinical application prospects.

【Keywords】 iRoot BP Plus; Primary molars; Deep caries; Indirect pulp treatment; Pulp capping material

乳磨牙深龋是儿童常见的口腔疾病之一,具有高发病率和较强的进展性。据 2017 年发布的第四次全国口腔健康流行病学调查数据显示,我国 5 岁儿童乳牙龋患率高达 70.9%,其中乳磨牙深龋的比例逐年上升^[1]。若未能及时干预,龋病进展可导致牙髓及根尖周病变,进而影响患儿的咀嚼功能、生长发育及生活质量,甚至造成恒牙胚发育障碍^[2]。因此,对乳磨牙深龋的早期、有效干预具有重要的临床意义。

间接盖髓术(indirect pulp treatment, IPT)是一种保守性的牙髓治疗方法,主要通过保留部分未完全去除的软化牙本质,降低牙髓暴露的风险,进而促进牙髓的保护与修复^[3]。治疗效果在很大程度上依赖于盖髓材料的性能。理想的盖髓材料应具备良好的生物相容性、密封性能及诱导硬组织形成能力,同时操作简便,适用于临床常规应用^[4]。

氢氧化钙作为传统的盖髓材料,自 20 世纪 30 年代起广泛应用于牙髓治疗,具有良好的抗菌性和诱导牙本质桥形成的能力^[5]。但其封闭性能有限,材料易溶解,长期使用可能增加继发龋或治疗失败的风险^[6]。矿物三氧化物聚合体(mineral trioxide aggregate, MTA)近年来广泛应用于儿童牙髓治疗,凭借其出色的生物相容性和密封性,被认为是更为优质的替代材料。然而,MTA 存在操作复杂、凝固时间长及成本较高等局限性,影响了其在儿童患者中的广泛推广^[7]。

iRoot BP Plus 是一种新型预混型生物陶瓷材料,由磷酸钙、氧化锆和硅酸盐等成分组成,具有高度的化学稳定性和优异的生物相容性,能在湿润环境中完成固化,具备良好的封闭性能和诱导牙本质生成的能力^[8]。因其优越的性能临幊上广泛应用

于乳恒牙活髓切断术、根尖屏障术、恒牙直接盖髓术等,但在乳牙间接牙髓治疗中应用较少。其应用于乳磨牙间接盖髓术,或可弥补传统材料的不足,为儿童牙髓治疗提供新的选择。

本研究旨在比较 iRoot BP Plus、MTA 和氢氧化钙三种材料在乳磨牙深龋间接牙髓治疗中的临床效果。通过评估治疗后的临床成功率、牙根吸收程度及不良反应发生率,探讨 iRoot BP Plus 在乳磨牙深龋 IPT 中的应用价值,旨在为儿童牙髓治疗中盖髓材料的临床选择提供循证依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究纳入 2023 年 1 月至 2023 年 12 月期间在本院儿童口腔科就诊的乳磨牙深龋患儿共 50 例,涉及乳磨牙共 50 颗,患儿年龄为 4~7 岁。纳入标准包括:①口腔检查显示龋坏累及牙本质深层;②无自发性疼痛,进食时有轻微疼痛或敏感;③去腐后牙髓未暴露;④患牙无松动、叩痛、牙龈红肿或瘘管;⑤术前 X 线检查显示龋损接近牙髓但根尖无异常。排除标准为:①口内检查龋坏已达髓腔;②牙齿松动,出现自发痛、夜间痛、牙龈红肿或瘘管;③术前 X 线检查显示龋损已达髓腔或根尖周已出现低密度影象;④伴有系统性疾病或过敏史的患儿;⑤无法配合治疗或随访的患儿。所有患儿监护人均签署知情同意书,研究方案已通过医院伦理委员会审批。

1.2 分组与盖髓材料采用随机数字表法,将 50 例患儿随机分为三组

试验组 1(iRoot BP Plus 组, n=17):采用 iRoot BP Plus 作为盖髓材料;试验组 2(MTA 组, n=17):采用矿物三氧化物聚合体(MTA)作为盖髓材料;

对照组（氢氧化钙组，n=16）：采用氢氧化钙作为盖髓材料。

1.3 治疗方法所有患牙均采用标准化的间接盖髓术进行治疗，具体操作流程如下

1) 术前拍摄 X 线片，评估患牙牙根及周围组织情况；

2) 采用 4% 阿替卡因肾上腺素进行局部浸润麻醉，并使用橡皮障进行隔湿处理。

3) 使用高速手机去除无基釉及釉质牙本质交界处的龋坏组织，扩展窝洞，继而以低速球钻去除边缘腐质，在接近牙髓区域保留部分软化牙本质，干燥。

各组治疗方案如下：

iRoot BP Plus 组：在近髓区域放置约 1mm 厚的 iRoot BP Plus 材料，轻压致密后覆盖玻璃离子，再以光固化复合树脂完成修复（图 1）；

MTA 组：在近髓区域放置约 1mm 厚的 MTA，同样覆盖玻璃离子并以复合树脂修复牙冠（图 2）；

氢氧化钙组：放置约 1 mm 厚的 Dycal 氢氧化钙材料，同法完成后续封闭及修复（图 3）。



图 1 iRoot BP Plus 组



图 2 MTA 组



图 3 氢氧化钙组

1.4 观察指标

1) 临床成功率：参考《治疗牙体牙髓疾病的临床疗效评定》^[9]标准，在治疗后 3、6、12 个月进行随访，评定分为 N（正常）、H（好转）、Po（可疑）、Px（失败）四级。本研究将 Px 判定为治疗失败，计算成功率计算公式为：(N + H + Po) 例数/总例数×100%。

2) 牙根吸收程度：通过术后 X 线片评估牙根吸收情况，分为以下四级：0 级（无根吸收）；轻度（牙根吸收小于牙根长度的 1/4）；中度（牙根吸收占牙根长度的 1/4 至 1/2）；重度（牙根吸收超过牙根长度的 1/2）。

3) 不良反应率：记录治疗后出现的冷热敏感、咀嚼痛、夜间疼痛、叩痛、牙齿松动、牙龈红肿等不良反应情况，分析其发生频率及组间差异。

4) 手术相关指标：记录术中治疗时间，依据儿童疼痛行为量表（FLACC 量表）记录患儿术中主诉的疼痛程度，评估材料操作便利性及患儿舒适度。

1.5 统计学分析

所有数据使用 SPSS 25.0 软件进行分析。计数资料以频数和百分比表示，组间比较采用 χ^2 检验。当 $P \leq 0.05$ 时认为差异具有统计学意义，当 $P < 0.01$ 表示差异具有高度统计学意义。

2 结果

2.1 临床成功率

在治疗后 3 个月、6 个月和 12 个月随访中，各组的临床成功率如下（见表 1）：iRoot BP Plus 组成功率分别为 100%、94.1% 和 94.1%；MTA 组成功率分别为 88.2%、82.4% 和 76.5%；氢氧化钙组成功率分别为 81.3%、68.8% 和 62.5%。12 个月时随访数据显示，iRoot BP Plus 组的成功率显著高于氢氧化钙组，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，与 MTA 组相比，虽 iRoot BP Plus 组成功率略高，但差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

2.2 牙根吸收程度

在各随访时间点，对三组患牙的牙根吸收情况进行评估，结果如下（见表 2）：

iRoot BP Plus 组：无牙根吸收的患牙比例为 88.2%，轻度吸收为 11.8%，无中重度吸收病例；

MTA 组：无牙根吸收的比例为 75.0%，轻度吸收为 17.6%，中度吸收为 7.4%，无重度吸收病例；

氢氧化钙组: 无牙根吸收的比例为 62.5%, 轻度吸收为 18.8%, 中度吸收为 12.5%, 重度吸收为 6.2%。

统计分析显示, iRoot BP Plus 组与 MTA 组在牙根吸收程度方面均显著优于氢氧化钙组 ($P \leq 0.05$), 其中 iRoot BP Plus 组表现出最低的吸收率。

2.3 不良反应发生情况

治疗后不良反应的发生情况分别为(见表 3):

iRoot BP Plus 组不良反应发生率为 5.9% (1 例发生轻度咀嚼痛) ;

MTA 组不良反应发生率为 11.8% (2 例发生轻度冷热痛) ;

氢氧化钙组不良反应发生率为 18.8% (3 例发生冷热痛, 1 例发生夜间痛) 。

iRoot BP Plus 组的不良反应发生率显著低于氢氧化钙组 ($P < 0.05$) 。

2.4 手术相关指标 (见表 4)

三组患儿的手术时间无显著差异 ($P > 0.05$), 平均为 30 ± 5 分钟。术后疼痛感均较轻微, 且无显著组间差异。

表 1 不同时间点各组治疗成功率比较 (%)

术后时间	组别	成功 n (%)	失败 n (%)	χ^2 值	P 值
3 个月	试验组 1	17 (100.0)	0 (0.0)		
	试验组 2	15 (88.2)	2 (11.8)	3.173	0.075
	对照组	13 (81.3)	3 (18.7)		
	试验组 1 vs 试验组 2			2.063	0.051
	试验组 1 vs 对照组			3.400	0.065
6 个月	试验组 1	16 (94.1)	1 (5.9)		
	试验组 2	14 (82.4)	3 (17.6)	3.518	0.061
	对照组	11 (68.8)	5 (31.2)		
	试验组 1 vs 试验组 2			1.100	0.294
	试验组 1 vs 对照组			3.458	0.063
12 个月	试验组 1	16 (94.1)	1 (5.9)		
	试验组 2	13 (76.5)	4 (23.5)	4.718	0.030*
	对照组	10 (62.5)	6 (37.5)		
	试验组 1 vs 试验组 2			2.048	0.152
	试验组 1 vs 对照组			4.781	0.029*

注: * 表示与试验组 1 比较, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$) 。

表 2 不同组别牙根吸收程度比较 (%)

组别	例数	0 级 n (%)	轻度 n (%)	中度 n (%)	重度 n (%)	χ^2 值	P 值
试验组 1	17	15 (88.2)	2 (11.8)	0 (0.0)	0 (0.0)		
试验组 2	17	13 (75.0)	3 (17.6)	1 (7.4)	0 (0.0)		
对照组	16	10 (62.5)	3 (18.8)	2 (12.5)	1 (6.2)	4.451	0.035*
试验组 1 vs 试验组 2	—	—	—	—	—	1.156	0.282
试验组 1 vs 对照组	—	—	—	—	—	3.850	0.050
试验组 2 vs 对照组	—	—	—	—	—	4.451	0.035*

注: * 表示与试验组 1 或试验组 2 比较, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$) 。

表 3 各组不良反应发生率比较 (%)

组别	例数	冷热痛	咀嚼痛	异常松动	牙龈红肿	夜间痛	总发生率	χ^2 / P 值
试验组 1	17	0 (0.0)	1 (5.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (5.9)	
试验组 2	17	2 (11.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (11.8)	
对照组	16	4 (25.0)	1 (6.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (6.3)	6 (37.5)	$\chi^2=5.402$
试验组 1 vs 试验组 2	—	—	—	—	—	—	—	$\chi^2=0.355$
试验组 1 vs 对照组	—	—	—	—	—	—	—	$\chi^2=4.781$

注: * 表示与试验组 1 比较差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。

表 4 各组手术时间及术中疼痛情况比较 ($\bar{x}\pm s$, %)

组别	例数	手术时间 (min)	无疼痛	轻度疼痛	中度疼痛	重度疼痛
试验组 1	17	30.21 ± 1.25	13 (76.5)	4 (23.5)	0 (0.0)	0 (0.0)
试验组 2	17	32.32 ± 2.63	11 (70.6)	5 (29.4)	1 (5.9)	0 (0.0)
对照组	16	31.26 ± 3.15	9 (56.3)	5 (31.3)	2 (12.5)	0 (0.0)
试验组 1 vs 试验组 2	—	$t=2.523, P=0.075$	$\chi^2=0.925, P=0.336$			
试验组 1 vs 对照组	—	$t=0.435, P=0.426$	$\chi^2=2.377, P=0.123$			
组间差异	—	$F=1.203, P=0.162$	$\chi^2=2.407, P=0.121$			

注: 所有数据为 $\bar{x}\pm s$ 或百分比 (%) 表示。术中疼痛为等级分类计数资料; * 表示差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。

3 讨论

本研究通过比较 iRoot BP Plus、矿物三氧化物聚集体 (MTA) 与氢氧化钙在乳磨牙深龋间接盖髓治疗中的临床表现, 结果显示: iRoot BP Plus 在临床成功率、牙根吸收控制及不良反应发生率等方面均优于其他两种材料, 提示其在乳牙深龋治疗中具有良好的应用前景。

在临床成功率方面, iRoot BP Plus 组于治疗后 12 个月的成功率达 94.1%, 显著高于氢氧化钙组的 62.5% ($P<0.05$), 且在整个随访期间均保持较高水平。iRoot BP Plus 作为一种新型生物陶瓷材料, 具备优异的生物相容性、密封性以及在湿润环境中良好固化的性能, 能够有效减少微渗漏和细菌入侵, 从而降低牙髓炎症风险, 提高治疗成功率^[10]。相比之下, 氢氧化钙虽为传统的盖髓材料, 但其易溶解、封闭效果不稳定, 容易导致继发龋、牙髓炎或盖髓失败, 远期疗效不理想, 这与既往研究结果一致^[11]。MTA 虽具有良好的生物相容性和促愈合能力, 但由于其操作复杂、凝固时间长、费用较高, 尤其在患儿配合度较低的情况下, 临床应用受到一定限制, 这可能解释了其成功率略低于 iRoot BP Plus 组^[12]。

在牙根吸收程度方面, 随访 12 个月后, iRoot

BP Plus 组中 88.2% 的患牙未见牙根吸收, 显著高于氢氧化钙组的 62.5%。乳牙的牙根吸收既可能为生理性吸收过程, 也可能反映治疗失败的病理性吸收, 后者常由炎症反应、封闭不良或细菌渗漏所致。iRoot BP Plus 凭借其良好的密封性和化学稳定性, 能有效阻止微渗漏, 降低牙髓组织持续性刺激, 促进牙髓组织的稳定和修复, 从而降低病理性根吸收的风险^[13]。相对而言, 氢氧化钙长期稳定性差, 可能导致持续性刺激和根部炎症, 增加病理性吸收的发生率^[14-15]。

在不良反应发生率方面, iRoot BP Plus 组仅为 5.9%, 显著低于氢氧化钙组的 18.8% ($P<0.05$), 且多表现为轻度冷热敏感或咀嚼不适, 症状轻微且短暂。氢氧化钙组中部分患儿表现为明显的咀嚼痛与冷热敏感, 可能与其封闭性能差、牙髓受刺激程度大相关^[16]。MTA 组的不良反应发生率为 11.8%, 虽低于氢氧化钙组, 但高于 iRoot BP Plus 组, 其症状也多表现为轻度冷热痛, 可能与其凝固时间长、短期封闭性不完全有关^[17]。

综合上述结果, iRoot BP Plus 在乳磨牙深龋间接盖髓治疗中表现出较高的临床成功率、更低的病理性牙根吸收风险以及更小的不良反应发生率, 同

时具备操作简便、固化快速等优势，相较于 MTA 更适用于乳牙治疗的临床实际，具有成为优选盖髓材料的潜力。

然而，本研究仍存在一定局限性。首先，间接牙髓治疗中对于盖髓材料的要求在 1-2mm,iRoot BP Plus 固化后不可修整形态，在乳磨牙的深龋窝洞中难以精准控制厚度，增加治疗失败的风险。其次，研究样本量相对较小，且随访时间为 12 个月，尚不足以全面反映材料的长期疗效和远期安全性。最后，乳牙的生理性牙根吸收过程与病理变化之间界限模糊，需通过更标准化的诊断标准进行区分。未来应开展更大样本、长期随访的多中心随机对照研究，以进一步验证 iRoot BP Plus 在乳牙间接盖髓治疗中的临床优势，并为儿童龋病的精准治疗提供更为坚实的循证依据。

参考文献

- [1] 吴偲,刘映伶,邹静,等. 乳牙深龋的间接牙髓治疗[J]. 华西口腔医学杂志,2018,36(4):94-99
- [2] 刘鹏,李轶杰,殷悦.乳牙活髓切断术及间接盖髓术治疗乳磨牙深龋近髓的临床效果观察[J].临床误诊误治,2022,35(06):110-113
- [3] 张薇,鲁旭.乳牙龋源性露髓的活髓保存治疗研究进展[J].继续医学教育,2024,38(05):188-191.
- [4] Mahgoub N,Alqadasi B, Aldhorae K, et al. Comparison between iRoot BP Plus (EndoSequence Root Repair Material) and mineral trioxide aggregate as pulp-capping agents: a systematic review[J]. J Int Soc Prev Community Dent, 2019, 9(6): 542-552.
- [5] 杨蕊琦,韦曦 . 恒牙活髓保存治疗新进展 [J]. 牙体牙髓牙周病学杂志,2017,27(7):410-417.
- [6] MENTE J,HUFNAGEL S,LEO M,et al. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping:long-term results[J]. J Endod,2014,40(11):1746-1751.
- [7] 王子扬,左恩俊 . 生物材料在活髓保存中的应用 [J]. 中国组织工程研究,2023,27(3):427-433.
- [8] 张露,陈智 . 生物活性材料在牙髓治疗中的应用 [J]. 中华口腔医学杂志,2022,51(7):31-37.
- [9] 王嘉德,郭惠杰. 治疗牙体牙髓疾病的临床疗效评定 [J]. 现代口腔医学杂志,2001,15(1): 62-63.
- [10] 王子瑞,陈宇江,惠泽明,等.新型生物陶瓷材料在儿童牙髓治疗中的临床研究进展[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2019,13(04):247-251.
- [11] Kunert M, Lukomska-Szymanska M. Bio-inductive materials indirect and indirect pulp capping-A review article[J]. Materials(Basel), 2020, 13(5): 1204.
- [12] Marconyak LJ,Kirkpatrick TC,Roberts HW,et al.A Comparison of Coronal Tooth Discoloration Elicited by Various Endodontic Reparative Materials[J]. J Endod,2016, 42(3):470-473.
- [13] Machado J, Johnson JD, Paranjpe A. The effects of endosequence root repair material on differentiation of dental pulp cells. J Endod, 2016,42(1):101-105
- [14] SAHIN N,SAYGILI S,AKCAY M. Clinical,radiographic, and histological evaluation of three different pulp-capping materials in indirect pulp treatment of primary teeth:a randomized clinical trial[J]. Clin Oral Investig,2021,25(6): 3945-3955.
- [15] 韦曦,凌均柒 . 直接盖髓术的现代理念与临床进展 [J]. 中华口腔医学杂志,2019,54(9):577-583. [16] 杜智敏,印晶晶,苗雷.三种盖髓剂用于恒牙活髓保存治疗疗效的 Meta 分析[J]. 现代口腔医学杂志,2022,6(36):396-403
- [16] Mente J, Hufnagel S, Leo M, et al. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: longterm results. J Endod, 2014,
- [17] Belobrov I, Parashos P. Treatment of tooth discoloration after the use of white mineral trioxide aggregate. J Endod, 2011,37(7):1017-1020.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS