

乳牙龋充填中亲水性与疏水性树脂粘接剂粘接性能的比较研究

陈泽钊, 吕炳建*

河北医科大学口腔医院儿童口腔科 河北石家庄

【摘要】目的 比较乳牙龋充填中亲水性与疏水性树脂粘接剂的粘接性能及临床效果, 评价其在乳牙修复中的适用性。**方法** 选取需行树脂充填治疗的乳磨牙患儿共 60 名 (120 颗牙), 采用随机分组方法分为两组: A 组应用亲水性粘接剂 (Embrace™ WetBond), B 组应用传统疏水性粘接剂。临床实验部分于充填后 6 个月及 12 个月随访, 依据改良 USPHS 标准评价边缘着色、边缘完整性及充填体保留情况。体外实验部分选取拔除的健康乳牙, 按相同分组制备标准化试样, 检测微剪切粘接强度 (μ SBS), 并通过染料渗透试验评价粘接界面密封性。所得数据采用 t 检验与 χ^2 检验进行统计学分析, 显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。**结果** 体外实验结果显示, 亲水性粘接剂组的微剪切粘接强度 (22.6 ± 4.3 MPa) 显著高于疏水性粘接剂组 (18.2 ± 3.9 MPa) ($P < 0.05$), 染料渗透试验结果表明, 亲水性组的平均染料渗入深度 ($42.8 \pm 10.2 \mu\text{m}$) 显著小于疏水性组 ($65.4 \pm 11.8 \mu\text{m}$) ($P < 0.05$)。临床随访结果表明, A 组 (亲水性粘接剂) 充填体在 12 个月时的保留率为 95.0%, 显著高于 B 组 (疏水性粘接剂) 的 86.7% ($P < 0.05$)。在边缘完整性方面, A 组评分显著优于 B 组 ($P < 0.05$); 边缘着色方面, 两组差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但 A 组呈轻度优势趋势。**结论** 亲水性树脂粘接剂在乳牙龋充填中表现出较高的粘接强度和良好的临床保持效果, 对乳牙牙本质湿度具有较强的适应性, 能够在相对湿润的操作环境下获得稳定、可靠的粘接界面。结果提示, 在 12 个月的随访内, 亲水性粘接体系显示更高的修复体保留率与更佳的边缘完整性; 其对湿度条件的适应性可能更契合儿童治疗场景。仍需更长随访与更严格的统计模型验证其远期优势。

【关键词】 乳牙; 龋充填; 亲水性树脂粘接剂; 疏水性粘接剂; 粘接性能

【收稿日期】 2026 年 2 月 17 日

【出刊日期】 2026 年 3 月 25 日

【DOI】 10.12208/j.ijcr.20260126

Comparative study on the bonding performance of hydrophilic and hydrophobic resin adhesives in primary tooth caries restorations

Ze Zhao Chen, Bingjian Lv*

Dentistry, Stomatological Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei

【Abstract】 Objective To compare the bonding performance and clinical outcomes of hydrophilic and hydrophobic resin adhesives in primary tooth caries restorations, and to evaluate their applicability in primary tooth repair. **Methods** A total of 60 children (120 primary molars) requiring resin restoration were randomly divided into two groups: Group A received a hydrophilic adhesive (Embrace™ WetBond), and Group B received a conventional hydrophobic adhesive. Clinical evaluation was performed at 6 and 12 months post-restoration according to the modified USPHS criteria, assessing marginal discoloration, marginal integrity, and restoration retention. In the in vitro study, extracted sound primary teeth were prepared into standardized specimens and tested for micro-shear bond strength (μ SBS). Dye penetration tests were performed to assess interfacial sealing ability. Data were analyzed using the t -test and χ^2 test, with a significance level set at $P < 0.05$. **Results** In vitro, the hydrophilic adhesive group showed significantly higher micro-shear bond strength (22.6 ± 4.3 MPa) than the hydrophobic adhesive group (18.2 ± 3.9 MPa) ($P < 0.05$). The mean dye penetration depth in the hydrophilic group ($42.8 \pm 10.2 \mu\text{m}$) was significantly lower than that in the hydrophobic group ($65.4 \pm 11.8 \mu\text{m}$) ($P < 0.05$). Clinically, the 12-month retention rate of restorations in Group A was 95.0%, significantly higher than 86.7% in Group B ($P < 0.05$). Group A also demonstrated superior marginal integrity ($P < 0.05$), while no significant difference was observed

*通讯作者: 吕炳建

in marginal discoloration ($P > 0.05$), although a slight advantage was noted for the hydrophilic group. **Conclusion** The hydrophilic resin adhesive exhibited higher bond strength and better clinical retention in primary tooth restorations. Its good adaptability to dentin moisture enables stable and reliable bonding in relatively humid clinical conditions. The results suggest that within 12 months of follow-up, the hydrophilic bonding system showed higher retention rates of restorations and better marginal integrity its adaptability to humidity conditions may be more in line with the scenario of children's treatment. Longer follow-up and more rigorous statistical models are still needed to verify its long-term advantages.

【Keywords】 Primary tooth; Caries restoration; Hydrophilic resin adhesive; Hydrophobic adhesive; Bond strength

乳牙在儿童口腔健康中具有重要的生理与临床意义, 不仅承担咀嚼与语言发育等基本功能, 还在维持恒牙萌出间隙、引导颌骨与牙弓正常发育方面发挥关键作用^[1]。由于乳牙釉质较薄、矿化程度较低且牙本质含水量相对较高, 其在龋坏修复过程中较恒牙更易出现粘接界面不稳定、边缘微渗漏及继发龋等问题^[2-3]。

传统树脂粘接体系以疏水性单体为主要成分, 对操作环境的湿度要求严格。临床中, 为获得良好粘接效果, 通常需实现充分干燥与严格隔湿。然而在儿童口腔治疗场景下, 受患儿依从性不足、唾液污染风险高、治疗时间受限等因素影响, 理想的隔湿条件往往难以达成, 从而导致粘接性能下降及修复体脱落率增加^[4-5]。

近年来, 以 Embrace™ WetBond 为代表的亲水性树脂粘接材料逐渐受到关注。该类材料含有亲水单体及可与牙本质胶原纤维发生离子互作的功能性基团, 可在“微湿”牙面条件下形成更稳定的混合层结构, 提升粘接界面的密封性与抗渗漏能力^[6-7]。有研究显示, 在潮湿环境中, 亲水性粘接体系可获得不低于甚至优于传统疏水性体系的粘接强度与保持率^[8]。然而, 现有证据多基于恒牙或成人牙体组织, 对乳牙龋病修复环境下的系统性比较研究仍相对不足^[9]。

因此, 本研究以乳牙龋充填为对象, 采用临床随访与体外实验相结合的研究设计, 系统比较亲水性粘接剂 (Embrace™ WetBond) 与常用疏水性粘接剂在乳牙修复中的粘接性能与临床保持效果。研究旨在从力学表现与临床疗效双重维度, 为儿童乳牙修复材料的选择提供循证依据, 并为优化乳牙粘接修复流程、提升修复成功率提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究设计

本研究为随机、对照、双盲评价的临床-体外结合研究。临床部分采用 split-mouth (对侧对照) 设计, 每例儿童两侧相对的可修复乳磨牙分别随机分配使用亲水性或疏水性粘接剂; 体外部分采用标准化试样进行微剪切粘接强度 (μ SBS) 测试, 并辅以热循环老化

模拟口腔环境条件。

1.2 研究对象与样本量

(1) 临床对象

纳入标准: 年龄 3-8 岁; 需进行浅至中等深度 (未累及牙髓) 窝洞树脂充填的乳磨牙; 两侧存在对称可比牙; 一般健康 (ASA I-II); 监护人同意并承诺完成随访。

排除标准: 近髓或深龋需根管或复杂修复; 牙齿已有修复或严重破坏; 对材料已知过敏史; 存在系统性疾病或无法配合操作。

(2) 体外样本

选择近期因乳牙滞留拔除的乳磨牙 40 颗 (无龋坏或裂纹), 经患者同意按伦理要求匿名化收集。牙齿储存在 0.9% 生理盐水中 (4℃), 并在 1 个月内完成试样制作与测试。

1.3 随机化与盲法

对每例儿童, 采用计算机生成的随机序列将左/右侧牙随机分配为 A 组 (亲水性粘接剂) 或 B 组 (疏水性粘接剂)。随机分配表由独立研究协调员保管, 操作医生在治疗时知晓分组以按材料说明书要求操作, 随访评价者及统计分析者均对分组保持盲法。临床随访评分由两名经过培训的盲法评价者独立完成, 如出现分歧, 由第三位评价者协商裁定。

1.4 临床操作流程

为保证可重复性与可比性, 所有操作由同一受训操作医生执行, 具体步骤如下:

(1) 术前准备

记录患者一般信息、口腔卫生状况 (OHI-S)。

拍摄标准化术前口内照片 (相同相机、同一焦距、同一曝光设置)。

充分解释操作流程并取得监护人签字同意。

(2) 预处理与隔湿

橡皮障或棉卷隔湿, 低速旋转刷+无氟去污膏清洁窝沟区域, 随后冲洗 10 秒并吹干表面。

亲水性粘接剂 (Embrace™ WetBond): 37%磷酸

处理牙面冲洗干净后, 无油压缩空气轻吹 2 秒, 保持表面微湿(表面存在均匀水膜但无游离水滴), 立即施用材料。

疏水性粘接剂: 37%磷酸处理牙面冲洗干净后, 按常规操作流程, 完全吹干至呈玻璃光泽。

(3) 粘接与充填

按说明涂布粘接剂及光固化。

采用同一品牌的光固化复合树脂, 分层充填, (每层厚度 ≤ 2 mm), 逐层光固化。完成修整、抛光并检查咬合。

(4) 随访与评价

随访时间: 1 个月、6 个月、12 个月。

评价内容: 充填体保留情况(完全保留/部分脱落/完全脱落)、边缘完整性评分(0-3)、边缘染色(0-3)、继发龋发生(ICDAS 标准判定)。两名盲法评价者独立记录, 数据入库。

1.5 体外实验方法

(1) 试样制备

每颗牙齿去除软组织, 并嵌入环氧树脂, 暴露冠部平面。低速切片将冠部切平, 使用 600-1200 目抛光砂纸逐步抛光至标准平面。

将试样随机分为两组(亲水性组与疏水性组), 每组 $n=20$ 。每份试样在规定的湿润条件下按临床 SOP 酸蚀及粘接剂处理, 使用硅胶导模制备复合树脂圆柱体(直径 1-1.5mm, 高约 2mm), 每份试样包含 3-4 个柱体以提高重复性, 取每颗牙所包含柱体的均值作为统计单位。

(2) 光固化与老化

所有光固化操作使用同一型号光固化机, 校准输出确保功率 ≥ 1000 mW/cm² (记录校准值)。每层照射 20 s。

完成后试样在 37℃蒸馏水中保存 24 h, 再进行热循环老化 5000 次(5-55℃, 停留时间 30 s, 转换时间 10 s)以模拟长期口腔温度应激。

(3) 微剪切粘接强度(μ SBS)测试与染料渗透

将试样固定于夹具上, 微剪切加载速率 0.5 mm/min, 记录断裂载荷并计算 μ SBS (MPa)。随后将

试样浸入亚甲蓝溶液中浸泡 24 h, 纵向切片并在体视显微镜下测量染料渗透深度以评估界面密封性。

1.6 质控与偏倚控制

统一记录所有材料品牌、型号、批号及有效期。操作医生、随访评价者与实验人员在研究前统一培训并完成演练 5-10 例, 评价者间一致性 $Kappa \geq 0.8$ 。数据双录入、交叉核对, 关键变量定期核查, 不良事件按医院规定上报。

1.7 统计学分析

采用 SPSS 27.0 进行统计, 临床数据按 split-mouth 配对结构进行分析。充填体保留率采用 McNemar 配对检验; 边缘完整性及边缘染色评分采用 Wilcoxon 配对符号秩检验; 生存分析采用 Cox 回归模型并校正同一患儿内相关性。体外实验数据经正态性检验后采用配对 t 检验。P < 0.05 为差异具有统计学意义。

1.8 伦理与知情

研究方案经所在医院伦理委员会批准(伦理号: 2021057), 所有受试者监护人签署书面知情同意书, 说明研究目的、程序、潜在风险及受试者权利。体外样本为临床废弃牙, 匿名化处理并符合生物样本使用规范。

2 结果

2.1 临床随访概况

本研究共纳入 60 例儿童(120 颗乳磨牙), 采用 split-mouth 设计, 每例患儿对侧乳磨牙分别应用亲水性粘接剂(Embrace™ WetBond)与疏水性粘接剂。6 个月时完成随访 59 例儿童(118 颗乳磨牙, 59 对配对牙位), 随访完成率为 98.3%; 12 个月时完成随访 57 例儿童(114 颗乳磨牙, 57 对配对牙位), 随访完成率为 95.0%。失访主要原因为患儿转院或家庭因素, 未见因修复失败导致的系统性退出。

2.2 临床充填体保持率

充填体保留情况见表 1。

临床充填体保留情况见表 1。6 个月随访时, 两组充填体保留率差异无统计学意义(McNemar 检验, $P=0.42$); 12 个月随访时, 亲水性组充填体保留率显著高于疏水性组(McNemar 检验, $P=0.042$), 提示亲水性粘接剂在乳牙龋充填中具有更好的中期保持效果。

表 1 临床随访充填体保留情况[n (%)]

随访时间	组别	完全保留	部分脱落	完全脱落	保留率 (%)
6 个月	亲水性组	59	1	0	98.30
	疏水性组	58	2	0	96.70
12 个月	亲水性组	57	2	1	95.00
	疏水性组	52	4	4	86.70

2.3 临床边缘完整性与边缘染色(见图 1、图 2)

12 个月随访时, 亲水性组边缘完整性评分为 0.32 ± 0.47 , 疏水性组为 0.61 ± 0.73 , 采用配对 Wilcoxon 符号秩检验比较, 两组差异具有统计学意义 ($Z = -2.11, P = 0.035$), 提示亲水性树脂粘接剂在乳牙龋充填中可更有效维持修复体边缘完整性。

12 个月随访, 边缘染色评分平均值: 亲水性组 0.45 ± 0.58 , 疏水性组 0.68 ± 0.77 , 配对 Wilcoxon 符号秩检验显示两组差异未达统计学意义 ($P = 0.07$), 但亲水性组边缘染色程度呈较低趋势。

2.4 体外微剪切粘接强度 (μ SBS) 及粘接界面密封性

微剪切粘接强度结果(见表 2、图 3), 染料渗透结果(见表 3、图 4)。

结果显示, 亲水性组 μ SBS 显著高于疏水性组 ($P = 0.013$), 热循环老化后下降幅度较小, 提示其粘接界面更稳定。

染料渗透试验结果表明, 亲水性组平均渗透深度显著小于疏水性组 ($P < 0.05$), 显示其粘接界面密封性更佳。

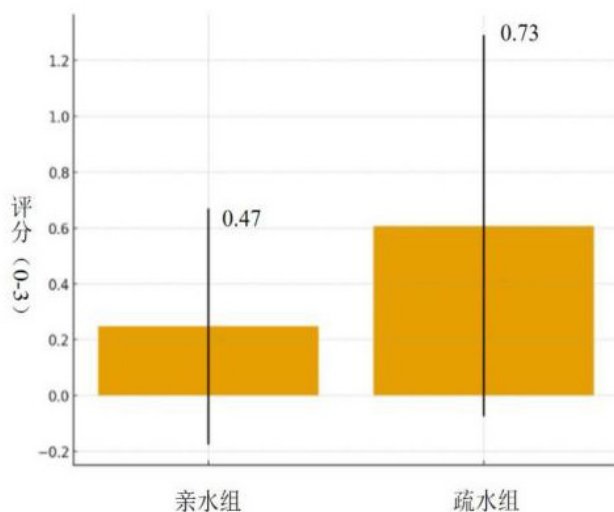


图 1 两组边缘完整性评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

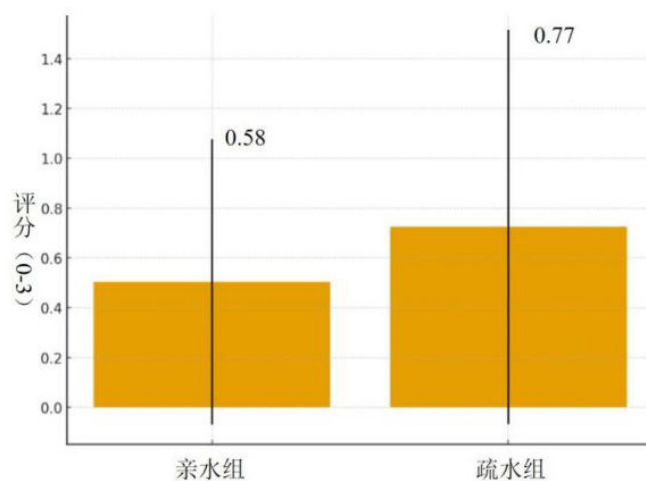


图 2 两组边缘染色评分比较 ($\bar{x} \pm s$)

表 2 体外微剪切粘接强度 (μ SBS) 比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	μ SBS (MPa)	热循环后 μ SBS (MPa)	降幅 (%)
亲水性组	20	22.6 ± 4.3	20.4 ± 4.0	9.70
疏水性组	20	18.2 ± 3.9	15.6 ± 3.5	14.30

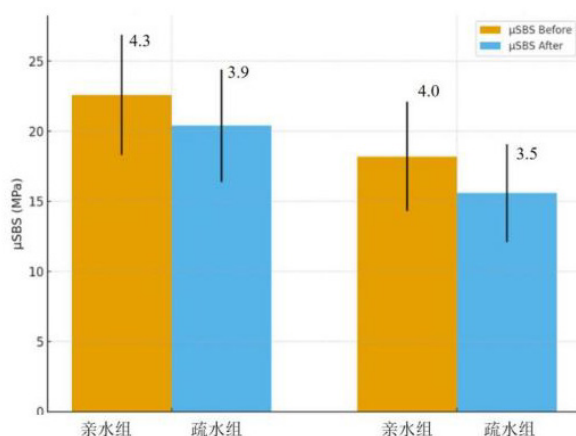


图3 体外微剪切粘接强度 (μSBS) 比较 ($\bar{x} \pm s$)

表3 粘接界面染料渗透深度比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	n	平均染料渗透深度 (μm)
亲水性组	20	42.8 ± 10.2
疏水性组	20	65.4 ± 11.8

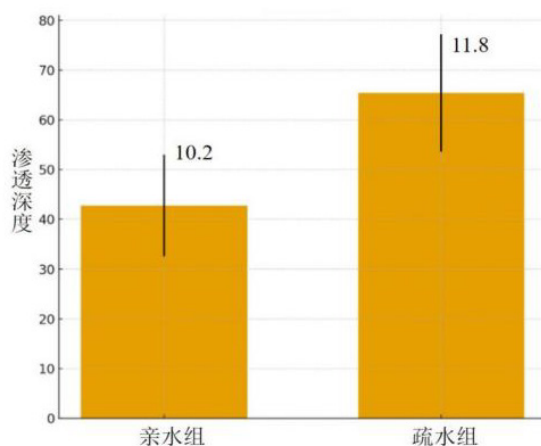


图4 体外染料渗透实验深度 (μm) 比较 ($\bar{x} \pm s$)

3 讨论

本研究通过临床与体外结合的设计, 系统评估了亲水性 (Embrace™ WetBond) 与传统疏水性树脂粘接剂在乳牙龋充填中的整体表现。结果显示, 亲水性粘接剂在体外实验中具有显著更高的微剪切粘接强度 (μSBS), 且热循环老化后的降幅较小; 染料渗透试验亦表明其界面密封性优于疏水性体系, 断裂模式以混合断裂为主, 而疏水性粘接剂则多表现为界面断裂^[10-11]。这提示亲水性体系能够在乳牙牙本质表面形成更稳固、抗老化能力更强的复合层结构。

临床随访结果进一步验证了体外实验的趋势。12个月随访中, 亲水性组充填体保持率达到 95.0%, 显著高于疏水性组的 86.7%, 其边缘完整性评分也更为理想; 尽管边缘着色差异未达到统计学显著, 但呈现轻微优势趋势, 体外力学数据与临床表现的一致性表明亲水性粘接剂的结构优势能够有效转化为长期的临床稳定性^[12]。

乳牙结构具有高含水量、低矿化度、薄釉质及胶原纤维分布稀疏等特征, 使得传统疏水性粘接剂在临床操作中对隔湿要求严格, 否则易导致混合层形成不完

全、界面微渗漏及粘接失效^[13-14]。亲水性粘接剂通过引入亲水单体,提高界面润湿性,使树脂可充分渗透至牙本质胶原网络,形成稳定的机械嵌合作用及部分化学结合;固化后界面水分分布均匀,减少应力集中和断裂风险^[15]。这一机制在体外测试中表现为更高的 μ SBS值和混合断裂比例,在临床上则呈现更高的修复保持率和更佳的边缘完整性。

此外,儿童口腔操作环境复杂,患儿配合度有限,唾液污染风险增加,使严格隔湿难以实现。在此情境下,亲水性粘接剂能够在“微湿”牙面条件下仍维持稳定粘接性能,操作适应性强,无需完全干燥即可发挥作用^[16]。这一优势使其更适用于乳牙龋坏修复,可显著减少修复体脱落,提升治疗成功率。

本研究结果与既往文献报道高度一致。有研究发现,亲水性体系在潮湿牙面上能形成连续混合层,其 μ SBS明显优于疏水性体系,亲水性粘接剂在热循环后力学性能下降更小,界面稳定性更强^[17-18]。临床研究同样提示,亲水性体系在儿童乳牙修复中具有较低充填体脱落率及良好的边缘密封性^[19]。本研究结合体外力学性能与12个月临床随访数据,构建了从材料特性、界面机制到临床效果的完整证据链,增强了结论的可靠性与推广价值。

综上,亲水性树脂粘接剂在乳牙龋充填中展现出优异的粘接性能和良好的长期临床稳定性,其体外优势能够有效转化为实际应用中的高成功率与稳定边缘密封性;同时其对操作湿度要求较低,更契合儿童口腔治疗特点。未来可在更大样本量及更长随访周期下进一步验证其远期稳定性,并结合界面微观结构与湿度梯度控制研究,探索不同临床条件下亲水性粘接剂的性能变化,为儿童乳牙修复材料选择提供更加精细与循证的依据。

参考文献

- [1] Leroy R,Cecere S,Lesaffre E,et al.Caries experience in primary molars and its impact on the variability in permanent tooth emergence sequences[J].J Dent,2009,37(11):865-871.
- [2] Jordan AR,Becker N,Johren HP,et al. Early childhood caries and caries experience in permanent dentition:a 15-year cohort study[J]. Swiss Dent J,2016,126:120-125.
- [3] Rajendra RE,Srikanth S,Kiranmayi M,et al. Evaluation of flowrate,pH,and buffering capacity of saliva in children with caries,fluorosis,and caries with fluorosis[J]. Int J Clin Pediatr Dent,2023,16(4):587-590.
- [4] OLIVEIRA G R,MACHRY R V,CADORE-RODRIGUES A C,et al.Fatigue Properties of Weakened and Non - weakened Roots Restored with CAD-CAM Milled Fiber Post,Prefabricated Fiber Post,or Cast Metal Post [J]. Operative dentistry,2022,47(6):658-669
- [5] SPARKS J,FUNDERBURK J M,TANTBIROIN D,et al.Tooth Structure Removed in Primary Molar Prefabricated Crown Preparations of Typodont Teeth[J]. Pediatric dentistry,2022,44(2):136-140.
- [6] FEHRENBACH J,ISOLAN C P,MUNCHOW E A. Is the presence of 10-MDP associated to higher bonding performance for self-etching adhesive systems?A meta-analysis of in vitro studies[J].Dent Mater,2021,37(10):1463-1485.
- [7] SEBOLD M,ANDRE C B,SAHADI B O,et al. Chronological history and current advancements of dental adhesive systems development:a narrative review[J]. J Adhes Sci Technol,2021,35(18):1941-1967.
- [8] SRI GANESH A. Comparative evaluation of shear bond strength between fifth,sixth,seventh,and eighth generation bonding agents:an in vitro study[J]. Indian J Dent Res,2020,31(5):752-757.
- [9] 陈晔,杨松,郑明,等.通用型与全酸蚀型粘接剂在即刻牙本质封闭中的粘接效果比较[J].中国卫生标准管理,2022,13(20):65-70.
- [10] Erturk Avunduk AT,Ba glar S.Evaluation of microleakage in class V cavities prepared by different caries removal methods[J].Microsc Res Tech,2019,82(9):1566-1574.
- [11] Atilan Yavuz S,Erturk Avunduk AT,Karatas O,et al. Impact of acid and laser etching of enamel on microleakage in different adhesive systems [J].Lasers MedSci,2024,39(1):181.
- [12] Comba A,Baldi A,Saratti CM,et al.Could different direct Restoration techniques affect interfacial gap and fracture resistance of end odontically treated anterior teeth? [J].Clin Oral Ivestig,2021,25(10):5967-5975.
- [13] Seow WK. Early childhood caries[J]. Pediatr Clin North Am,2018,65(5):941-954.
- [14] West NX,Joiner A. Enamel mineral loss[J]. J Dent,2014,42(Suppl 1):S2-S11.
- [15] Nawrocka A,Lukomska-Szymańska M.Extracted human

- teeth and their utility in dental research.Recommendations on proper preservation:A literature review [J].Dent Med Probl,2019,56 (2):185-190.
- [16] SAMARTZI T K,PAPALEXOPOULOS D,NTOVAS P,et al. Deep margin elevation:a literature review[J]. Dent J,2022,10(3):48.
- [17] Perdigao JD,Perdigao J, Munoz MA, Sezinando A, et al. Immediate Adhesive Properties to Dentin and Enamel of a Universal Adhesive Associated With a Hydrophobic Resin Coat. Operative Dentistry, 2014,39(5), 489-499.
- [18] Zhu J,Fu C,Deng X,et al.Effects of stamp material and Restoration depth on the accuracy of direct composite resin Restorations using stamp technique[J].JDent,2024,150: 105369.
- [19] Rajendra RE,Srikanth S,Kiranmayi M,et al. Evaluation of flow rate,pH,and buffering capacity of saliva in children with caries,fluorosis,and caries with fluorosis[J]. Int J Clin Pediatr Dent,2023,16(4):587-590.

版权声明: ©2026 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