

扫雪机技术和传统技术应用于缺损乳牙树脂修复老化后的比较研究

韩曼曼 吕晶 关健 王曼泽 吕学超 金星爱

哈尔滨医科大学附属第一医院口腔医学院儿童口腔科, 哈尔滨 150000

[摘要] **目的** 评估扫雪机技术应用于缺损乳牙树脂粘接修复与分层充填技术、衬洞技术在老化后的剪切粘接强度、边缘完整性和纳米微渗漏等方面的差异。**方法** 收集新鲜拔除、牙冠完整的乳前牙 51 颗、乳磨牙 30 颗。实验分为分层充填组、衬洞组、扫雪机组, 分别进行剪切粘接强度实验、边缘完整性实验和纳米微渗漏实验, 比较不同组别之间在老化后的粘接强度、边缘完整性和银离子纳米微渗漏方面的差异。**结果** 分层充填组、衬洞组、扫雪机组剪切粘接强度的中位数分别为 2.45、5.72、9.43 MPa, 衬洞组和扫雪机组明显大于分层充填组 ($P<0.05$), 衬洞组和扫雪机组之间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。分层充填组、衬洞组、扫雪机组整体边缘完整率的中位数分别为 55.38%、48.25%、65.63%, 3 组间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。分层充填组、衬洞组、扫雪机组纳米微渗漏的中位数分别为 11.71%、9.47%、11.55%, 3 组间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 扫雪机技术应用于乳牙缺损修复时可提高剪切粘接强度, 改善边缘完整性, 降低纳米微渗漏。

[关键词] 乳牙; 扫雪机技术; 窝洞衬洞; 分层充填; 剪切粘接强度; 边缘完整性; 纳米微渗漏

[中图分类号] R781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2025.2025096



本文链接 开放科学标识码

Post-aging comparative study of snowplow and conventional techniques for the resin restoration of defective primary teeth

Han Manman, Lü Jing, Guan Jian, Wang Manze, Lü Xuechao, Jin Xing' ai

Dept. of Pediatric Dentistry, School of Stomatology, The First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150000, China

Supported by: Natural Science Foundation of Heilongjiang Province (LH2022H042, H2016037)

Correspondence: Jin Xing' ai, E-mail: 1792704368@qq.com

[Abstract] **Objective** This study aims to evaluate the differences in shear bond strength, marginal adaptation, and nano-microleakage after aging among snowplow, layered filling, and lining techniques applied to the resin-bonded restoration of defective primary teeth. **Methods** In this study, 51 freshly extracted, crown-intact primary anterior teeth and 30 primary molars were collected. The experimental groups were as follows: layered filling group, lining group, and snowplow group. Experiments were performed to compare the differences in shear bond strength, marginal integrity, and silver ion nano-microleakage after aging among these groups. **Results** The median shear bond strength of the layered filling group, lining group, and snowplow group were 2.45, 5.72, and 9.43 MPa, respectively. The values for lining group and snowplow group were significantly higher than that for layered filling group ($P<0.05$). No statistically significant difference was found between lining group and snowplow group ($P>0.05$). The median overall margin integrity of the lay-

ered filling group, lining group, and snowplow group were 55.38%, 48.25%, and 65.63%, respectively. The difference among the three groups was not statistically significant ($P>0.05$). The median percentages of silver ion

[收稿日期] 2025-03-11; **[修回日期]** 2025-05-16

[基金项目] 黑龙江省自然科学基金 (LH2022H042, H2016037)

[第一作者] 韩曼曼, 硕士, E-mail: hanmanman123@163.com

[通信作者] 金星爱, 教授, 博士, E-mail: 1792704368@qq.com

nano-microleakage in the layered filling group, lining group, and snowplow group were 11.71%, 9.47%, and 11.55%, respectively. The difference among the three groups was not statistically significant ($P>0.05$). **Conclusion** Applying the snowplow technique to restore defective primary teeth can improve the bond strength and margin integrity and reduce nano-microleakage.

[Key words] primary teeth; snowplow technique; cavity lining; layered filling; shear bond strength; marginal integrity; nano-microleakage

树脂粘接修复术因牙体预备量小、临床操作简单、美观性好而成为乳牙牙体缺损最常用的治疗方法^[1],虽然粘接修复技术在不断进步,但修复体的长期保存仍然是一个具有挑战性的问题,边缘完整性是影响修复体临床寿命的重要因素。聚合收缩引起的微渗漏会导致术后敏感、边缘染色、继发龋、牙髓炎甚至修复体脱落,从而导致修复体边缘完整性的破坏^[2]。

目前有多种方法可减少复合树脂的聚合收缩,如分层放置树脂复合材料、修改窝洞设计、应用可流动树脂衬洞技术、改变树脂基质和填料比例等。扫雪机技术(snowplow technique)属于衬洞技术的一种改良,它是在龋壁上放置一薄层未固化的可流动复合材料,在可流动复合材料上方放置固体复合材料,两层材料同时进行固化^[3]。有研究^[4]表明这种技术产生的空隙更少,能有效改善边缘完整性。

乳恒牙牙体硬组织特点有所不同,乳牙牙本质的矿物质含量较低^[5],牙本质硬度和弹性模量从牙齿表面向牙髓方向降低^[6],越靠近牙髓,乳牙牙本质小管管状密度越高,管间牙本质越少^[7],粘接面积减少使得树脂与牙本质的粘接强度明显降低。本研究拟将扫雪机技术应用于乳牙树脂粘接修复,并与分层充填技术、衬洞技术对比,研究不同技术应用于乳牙修复时在剪切粘接强度、边缘完整性和纳米微渗漏方面的差异,为扫雪机技术临床应用于乳牙充填修复提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料和设备

3M Filtek Z350XT复合树脂、3M Filtek Z350XT流体树脂、3M Single Bond Universal Adhesive(3M ESPE公司,美国),37%磷酸酸蚀剂(Gluma公司,德国),50%氨化硝酸银溶液(上海麦克林生化科技股份有限公司),电子万能试验机(Instron 3340, Instron公司,美国),低速金刚石切割机(SYJ-160,沈阳科晶自动化设备有限公司),牙

科显微镜(苏州速迈医学科技股份有限公司),体视显微镜(OLYMPUS SZ61, OLYMPUS公司,日本),扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)(S-3400N, Hitachi公司,日本),能量色散X射线光谱仪(energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX)(Hitachi公司,日本)。

1.2 实验分组和处理

参考ISO 29022:2013^[8],按照10%样本损耗量,本研究共收集因滞留拔除的无龋或早期龋的51颗乳前牙和30颗乳磨牙,要求牙冠完整,无充填物和裂纹,去除牙石、色素及牙周膜,保存于4℃的生理盐水中,3个月内使用^[1]。研究通过了哈尔滨医科大学附属第一医院伦理委员会的批准(伦理批号2024365),所有参与研究者签署知情同意书。51颗乳前牙用于剪切粘接强度实验,21颗乳磨牙用于边缘完整性实验,剩余9颗乳磨牙用于纳米微渗漏实验,每个实验分为3组,每组样本量相同(表1、2)。

1.3 剪切粘接强度实验

51颗乳前牙包埋成9 mm×9 mm×9 mm大小,制备标准玷污层^[9],按照不同方式(表1、2)处理,树脂柱直径×高度为3 mm×4 mm。使用电子万能试验机测试粘接强度,加载头速度1 mm/min,记录断裂时的最大载荷。按照公式计算剪切粘接强度, $\sigma=F/Ab$, $Ab=\pi r^2$,其中 σ 为剪切粘接强度(MPa), F 为断裂时最大载荷(N), Ab 为粘接面积(mm^2), r 为树脂柱半径(mm)^[8]。测试完成后的所有样本置于体式显微镜下(×40)观察断裂后的粘接界面,界面断裂模式分为4种:粘接断裂、牙本质内聚断裂、复合树脂内聚断裂、混合断裂(前3种断裂界面的任意组合)^[10],分析各组断裂模式分布情况。

1.4 边缘完整性实验

21颗乳磨牙包埋成12 mm×12 mm×12 mm大小,制备Ⅱ类洞,按照不同方式(表1、2)进行处理,50%氨化硝酸银溶液避光染色24 h后,置于显影液中荧光灯照射8 h,使银离子转化为金属银^[11],随后置于定影液中8 h。切片后片状试件厚

度1.5 mm, 除去样本损耗, 每组得到10个片状试件, 采用SEM (×25) 进行观察^[10]。牙齿-复合材料界面分为连续、不连续或不可判断边缘3种^[12], 连续边缘和不连续边缘统称为可判断边缘, 边缘

完整性为连续边缘占可判断边缘总长度的百分比, 使用ImageJ软件分别计算3组整体、龈壁及侧壁边缘完整性。

表 1 实验分组和处理程序

Tab 1 Group codes and treatment procedures

组别	处理程序
分层充填组	分层放置固体树脂, 第一、二层均为2 mm, 分层固化
衬洞组	先放置0.5 mm 流体树脂, 光固化; 第二、三层分别放置1.5、2 mm 固体树脂, 分层固化
扫雪机组	先放置0.5 mm 流体树脂, 不固化, 第二层放置1.5 mm 固体树脂, 两层同时固化; 第三层放置2 mm 固体树脂, 光固化

表 2 实验处理程序

Tab 2 The treatment procedures of experiment

实验名称	实验步骤
剪切粘接强度实验	a, b ₁ , c ₁ , d ₁ , e, f, g
边缘完整性实验	a, b ₂ , c ₂ , d ₂ , d ₁ , e, f, g, h, i, j, k
纳米微渗漏实验	a, b ₃ , c ₁ , d ₁ , e, f, j, g, h, i, k

注: a: 截除牙根, 样本包埋; b₁: 磨除唇面釉质暴露牙本质; b₂: 制备Ⅱ类窝洞 (颊舌径×胎龈径×龈壁宽度为3 mm×4 mm×1.5 mm); b₃: 磨除胎面釉质暴露牙本质; c₁: 制备标准玷污层; c₂: 制备0.5 mm 釉质斜面; d₁: 涂布粘接剂20 s, 压缩空气轻吹5 s, 光固化10 s; d₂: 37%磷酸酸蚀20 s; e: 充填树脂; f: 蒸馏水储存24 h; g: 10%次氯酸钠老化1 h; h: 涂布两层抗酸指甲油; i: 50%氯化硝酸银染色; j: 切片; k: 抛光。

1.5 纳米微渗漏实验

9颗乳磨牙样本包埋成12 mm×12 mm×12 mm大小, 按照不同方式(表1、2)处理, 每个样本切片得到3个片状试件, 厚度2 mm, 每组共计9个片状试件, 试件进行老化处理, 每组随机选取2个试件用于酸蚀后粘接界面形貌观察, 剩余试件硝酸银染色, 显影、定影、打磨抛光后蒸馏水超声荡洗15 min, 自然干燥喷金, SEM背散射模式(×1 000)观察粘接界面银离子纳米微渗漏情况^[10]。每组随机选取50张图片, 使用ImageJ软件计算银离子占整个粘接面积的百分比^[13], 每组选取代表性图像使用EDX分析各元素分布情况。

1.6 粘接界面形貌观察

将1.5实验中预留的6个片状试件按照上述方法打磨抛光, 随后37%磷酸酸蚀20 s, 三用气枪水气加压冲洗20 s, 蒸馏水超声荡洗15 min, 乙醇溶液浓度梯度脱水^[14], SEM观察粘接界面。

1.7 统计学分析

采用SPSS 27.0软件进行统计分析, 实验所得数据为非正态分布的计量资料, 以中位数(下四分位数, 上四分位数)表示, 多组间总的比较采用Kruskal-Wallis H检验, 组内两两比较采用Mann-

Whitney U检验, 采用Fisher精确检验对不同组别断裂模式分布进行统计分析, P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 剪切粘接强度实验

2.1.1 剪切粘接强度

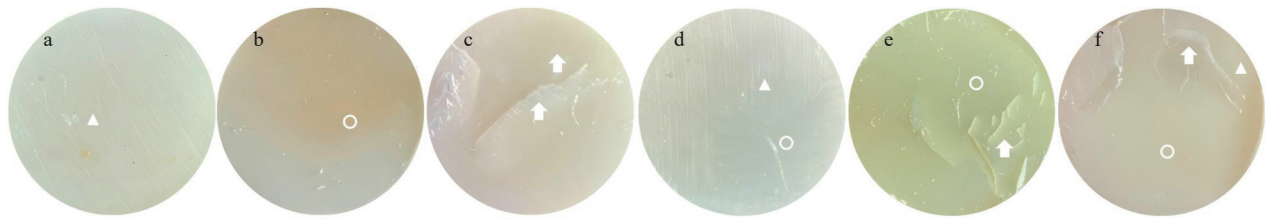
分层充填组、衬洞组、扫雪机组剪切粘接强度分别为2.45 (2.01, 2.93)、5.72 (3.66, 9.80)、9.43 (4.33, 10.54) MPa, Kruskal-Wallis H检验结果显示, 3组间差异有统计学意义 (Z=25.32, P<0.05)。组间两两比较, 衬洞组和扫雪机组明显大于分层充填组 (P<0.05), 但衬洞组和扫雪机组之间差异无统计学意义。

2.1.2 断裂模式

各组断裂模式主要为混合断裂, 分层充填组中粘接断裂和复合树脂内聚断裂最少, 占比为5.9%; 衬洞组中复合树脂内聚断裂和牙本质内聚断裂占比最少, 为5.9%; 扫雪机组中未出现复合树脂内聚断裂。断裂模式分布进行Fisher精确检验, 差异无统计学意义 (P>0.05), 断裂模式代表性图像见图1。

2.2 边缘完整性实验

分层充填组、衬洞组、扫雪机组边缘完整性结果见表3。整体边缘完整率: 扫雪机组>分层充填组>衬洞组; 龈壁边缘完整率: 扫雪机组>衬洞组>分层充填组; 侧壁边缘完整率: 分层充填组>扫雪机组>衬洞组。Kruskal-Wallis H检验结果显示, 不同组间整体边缘完整率、龈壁和侧壁边缘完整率差异均无统计学意义 (P>0.05)。Mann-Whitney U检验结果显示, 同一组内龈壁和侧壁边缘完整率差异均无统计学意义 (P>0.05)。



a: 牙本质内聚断裂; b: 粘接断裂; c: 复合树脂内聚断裂; d: 粘接断裂和牙本质内聚断裂组合型; e: 粘接断裂和复合树脂内聚断裂组合型; f: 粘接断裂、复合树脂内聚断裂和牙本质内聚断裂组合型。白色三角: 牙本质; 白色箭头: 复合树脂; 白色圆圈: 粘接剂。

图 1 断裂模式的代表性图像 体式显微镜 ×40

Fig 1 Representative images of fracture patterns stereoscopic microscope ×40

表 3 各组边缘完整性结果

Tab 3 The results of edge integrity for each group

%, n=10, P50 (P25, P75)

项目	分层充填组	衬洞组	扫雪机组	Z值	P值
整体边缘完整率	55.38 (43.56, 75.46)	48.25 (20.97, 84.68)	65.63 (44.96, 87.40)	1.81	0.40
龈壁边缘完整率	31.04 (14.31, 94.01)	36.86 (00.00, 86.72)	70.86 (46.41, 100.00)	5.03	0.08
侧壁边缘完整率	56.02 (35.02, 69.81)	48.08 (30.86, 92.10)	54.85 (32.81, 91.90)	0.21	0.90
Z值	-0.61	-0.80	-1.10		
P值	0.58	0.44	0.28		

2.3 纳米微渗漏实验

2.3.1 粘接界面银离子纳米微渗漏

分层充填组、衬洞组、扫雪机组纳米微渗漏百分数分别为 11.71 (5.33, 18.28)、9.47 (6.83, 13.45)、11.55 (9.06, 16.79), Kruskal-Wallis *H* 检验结果显示, 差异无统计学意义 ($Z=5.11, P>0.05$)。SEM 下可见银离子在粘接界面处线性沉积; EDS 能谱分析图中青色部分为复合树脂中的主要元素硅, 绿色代表牙本质的主要元素钙, 金色为银元素; 粘接界面和牙本质小管内存在银离子沉积; EDS 能谱分析特征峰图显示硅元素、钙元素占比最高, 碳元素、银元素比例较低。分层充填组、衬洞组和扫雪机组银离子沉积重量百分比分别为 15.38%、25.62%、12.27% (图 2)。

2.3.2 老化后粘接界面形貌观察

老化后粘接界面分为完整界面和不完整界面, 3组样本均出现 2种界面, 不完整界面混合层出现溶解断裂, 树脂突及牙本质小管暴露。每种界面选取 2张代表性图像, 图 3上为完整粘接界面, 混合层完整性好, 未见明显缝隙, 厚度为 10 μm; 图 3下为不完整粘接界面, 上半部分为树脂层, 充填致密, 未见明显缝隙, 中央间隙为断裂后的混合层, 下方可见牙本质小管暴露, 直径为 3~4 μm, 树脂突直径为 2~3 μm。

2.4 酸蚀后粘接界面形貌观察

37% 磷酸酸蚀后粘接界面分为完整界面、部分溶解界面及全部溶解界面, 每种界面在 3组样本

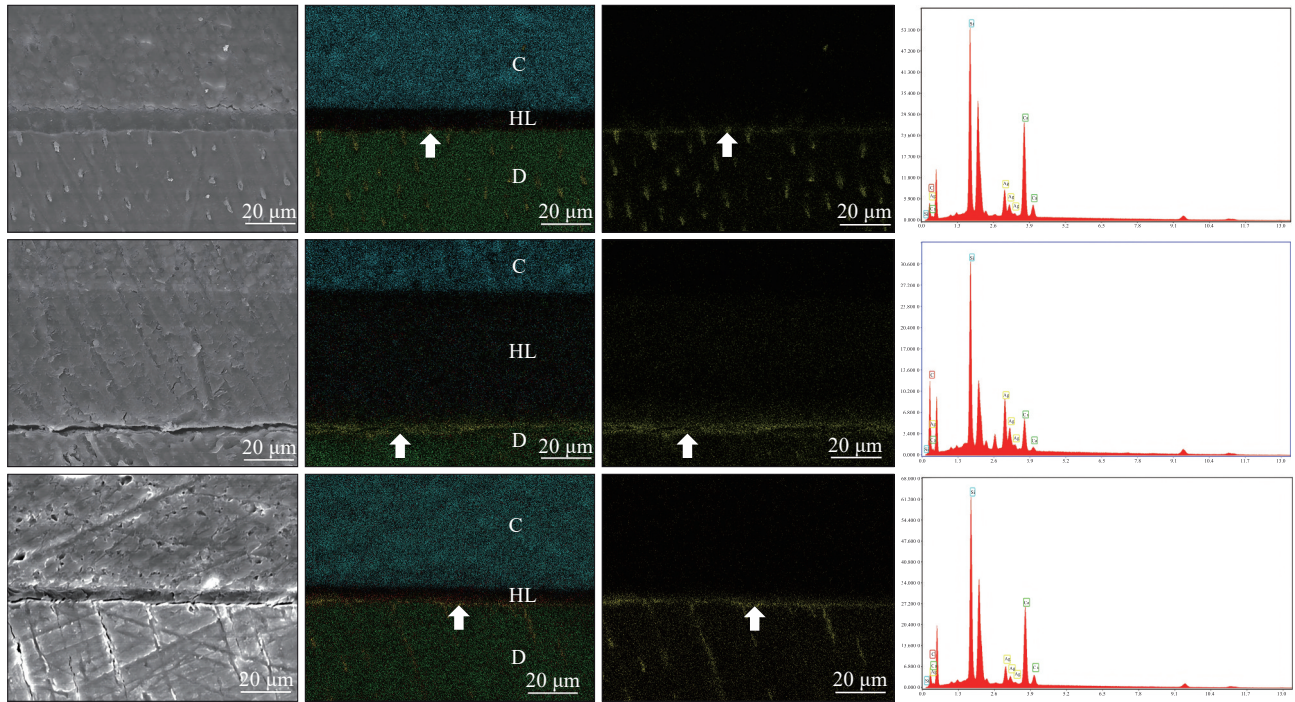
中均有出现。每种界面选取 2张代表性图像, 图 4上为完整粘接界面, 混合层完整未见明显缝隙; 图 4中为粘接界面混合层部分溶解, 牙本质小管暴露直径为 4~5 μm; 图 4下为混合层全部溶解断裂, 牙本质小管暴露。

3 讨论

儿童龋齿治疗程序同成人一样, 正逐步转向保留组织的微创治疗, 粘接技术的发展使得微创保守治疗得以实现。传统树脂粘接技术存在不足之处, 如技术敏感性高, 操作时间长, 需要良好的隔湿, 同时要求儿童有良好的配合度, 并且牙体组织与充填物边缘容易产生间隙^[15-16], 扫雪机技术在保留传统技术优点的同时, 缩短了操作时间, 减少污染的可能性, 保证树脂粘接的耐久性。

树脂粘接的耐久性是保证修复体临床成功的重要因素之一, 树脂-牙本质即刻粘接强度较高, 但粘接界面易发生老化变性, 体内老化实验近似真实环境但操作难度高, 10% 次氯酸钠溶液浸泡作为一种快速老化方法可模拟混合层在体内发生的降解。牙本质的有机成分主要是 I 型胶原和非胶原蛋白^[17], 次氯酸钠具有水解非特异性蛋白的作用^[18], 在水溶液中形成超氧自由基引起肽链氧化和断裂, 溶解粘接剂-牙本质界面的有机物, 使胶原纤维网支架坍塌, 进而影响粘接强度^[19]。关于老化效果, 有研究^[20]证实 10% 次氯酸钠老化 1 h

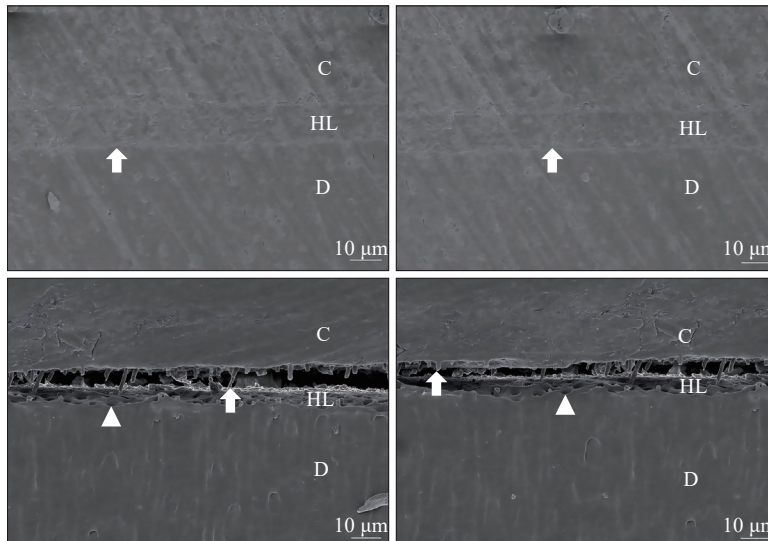
与水老化6个月、热循环10 000次、30 000次都可以促进树脂-牙本质界面的降解, 获得相似的降解效果。



上: 分层充填组; 中: 衬洞组; 下: 扫雪机组。第1列: SEM形貌观察图; 第2列: EDS能谱分析图; 第3列: EDS银元素分布图; 第4列: EDS能谱分析特征峰图。C: 树脂; HL: 混合层; D: 牙本质; 白色箭头: 牙本质粘接界面处银离子。

图 2 粘接界面银离子纳米微渗漏SEM和EDS能谱分析

Fig 2 SEM and EDS analysis of silver ion nano-microleakage at the dentin-bonding interface



上: 完整粘接界面, 白色箭头示牙本质粘接界面; 下: 不完整粘接界面, 白色箭头示树脂突, 白色三角形示牙本质小管。C: 树脂; HL: 混合层; D: 牙本质。

图 3 粘接界面形貌 SEM

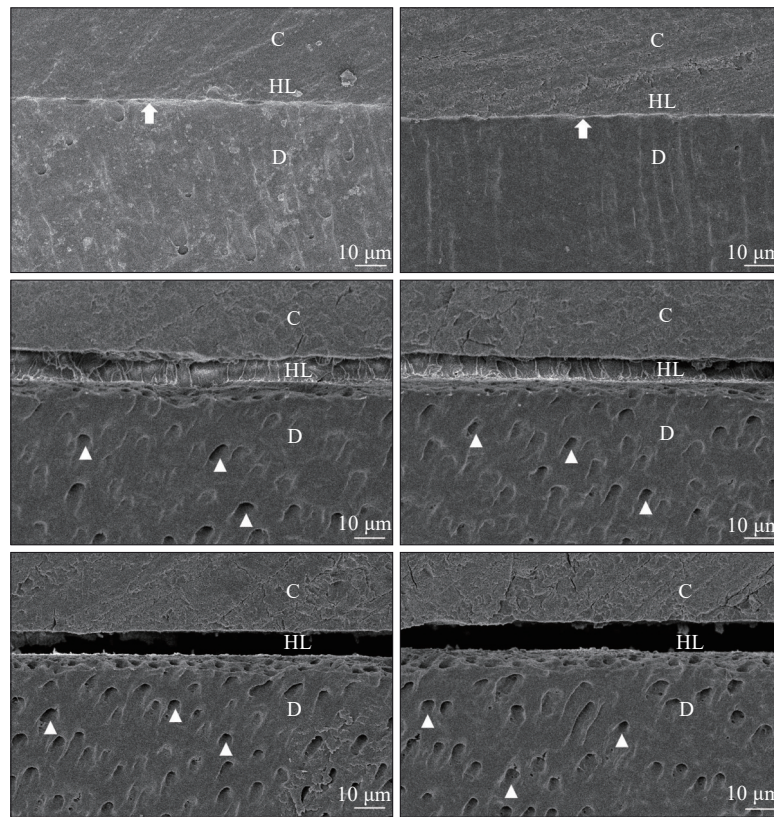
Fig 3 The images of bonding interface SEM

近年来有研究关注扫雪机技术在恒牙树脂粘接方面的应用, Dugar等^[21]证实扫雪机技术结合流体树脂应用于恒磨牙时剪切粘接强度高于扫雪机技术结合流动复合体; Ali等^[22]证明扫雪机技术结

合普通树脂分层充填应用于恒磨牙时的纳米微渗漏要小于扫雪机技术结合大块树脂充填, 龈壁的纳米微渗漏大于侧壁; Boruziniat等^[23]将扫雪机技术用于恒磨牙充填修复, 进行为期4年的病例随

访，结果表明扫雪机技术并不能提高后牙复合材料修复体的临床保留率；Tee等^[3]证明酸蚀冲洗和自酸蚀2种模式下，大块充填流体树脂加衬洞技

术、大块充填流体树脂加扫雪机技术均获得了最高的粘接强度，但扫雪机技术在乳牙树脂粘接方面的应用仍然需要进一步探索。



上：完整粘接界面；中：部分溶解粘接界面；下：全部溶解界面。C：树脂；HL：混合层；D：牙本质；白色箭头：牙本质粘接界面；白色三角形：牙本质小管。

图 4 酸蚀处理后粘接界面形貌 SEM

Fig 4 The images of bonding interface after acid etching SEM

剪切粘接强度实验结果表明，扫雪机组强度最高，是衬洞组的1.6倍、分层充填组的3.8倍，与后者差异有统计学意义，但与前者差异无统计学意义，与Tee等^[3]研究有相似结论。本实验中分层充填组的粘接强度、龈壁边缘完整性最差，可能是因为分层充填时固体树脂材料流动性差，材料与牙体组织之间可能存在空隙^[24]，此外固体树脂虽然填料含量高，材料体积收缩率低，但弹性模量大，缺少应力缓冲作用，也可导致粘接强度降低。收缩应力是材料体积收缩率和弹性模量的乘积^[25]，体积收缩率受树脂基质和填料的比例影响，高填料含量会降低体积收缩率^[26]；弹性模量也会影响收缩应力，流体树脂弹性模量较小，在复合树脂和牙本质之间起到应力缓冲作用。

扫雪机技术的粘接强度和龈壁边缘完整性高于衬洞技术的原因，推测可能是可流动复合材料填料含量较低，流体树脂衬洞时预固化产生的应

力可能破坏边缘密封性，扫雪机技术通过确保可流动材料被推挤到牙体组织与复合材料之间而只保留一薄层，两者同时固化时可以相对减轻可流动层收缩的负面影响，这与Ferracane等^[27]的研究结论一致，提示扫雪机技术在一定程度上改善了龈壁边缘完整性。

目前关于乳牙边缘完整性的研究^[12,28]有限，尚未有研究比较不同充填技术在乳牙边缘完整性方面的差异。本实验结果表明3组在侧壁边缘完整性方面差异无统计学意义，可能是因为3组窝洞上方都是复合树脂进行增量充填。扫雪机组的龈壁边缘完整性明显高于其他2组，虽然其侧壁边缘完整性低于分层充填组，但综合之后整体边缘完整性最佳，这与Sampaio等^[29]应用扫雪机技术时产生的缝隙明显减少的结论相一致；分层充填组和衬洞组在龈壁边缘完整性方面的差异小于两者在侧壁的差异，分层充填组侧壁边缘完整性高于衬洞组，

综合之后整体边缘完整性更高,但2组间整体边缘完整性差异较小。分层充填组、衬洞组侧壁边缘完整性均高于龈壁,但扫雪机组龈壁高于侧壁,再次证实了扫雪机技术能有效改善龈壁边缘完整性。

纳米微渗漏会影响牙本质和修复材料之间粘接的长期稳定性,硝酸银染色作为检测混合层内纳米级孔隙的渗漏测试方法,其结果被认为是评估修复材料密封性和混合层质量的重要指标^[22]。本实验结果表明3种充填方法在纳米微渗漏方面不存在差异。有研究^[30]认为纳米微渗漏一般取决于粘接剂的类型和应用技术的不同,如酸蚀时间、牙本质水分多少等。基于此理论本实验3组使用同一品牌粘接剂,酸蚀时间相同,所有样本保存方法相同,认为牙本质水分不存在差异,因此纳米微渗漏结果差异无统计学意义。有学者^[21]采用纳米微渗漏方法证实了乳磨牙Ⅱ类洞中扫雪机技术结合分层充填法获得的纳米微渗漏低于扫雪机技术结合大块充填法,但应用不同树脂充填技术修复缺损乳牙是否有差异需要进一步研究。

本研究以离体乳牙作为研究对象,与口腔真实环境有差异。修复体在口腔内还受到牙齿生理动度、温度变化、pH值、微生物菌群等动态变化的影响,扫雪机技术结合复合树脂的充填效果还受到咀嚼力载荷及方向的影响,为了更好地研究扫雪机技术对乳牙缺损树脂粘接修复远期耐久性的影响,后期实验将更换不同类型树脂、不同粘接剂来比较剪切粘接强度、边缘完整性和纳米微渗漏的差异,同时对门诊就诊患者应用该技术的临床效果进行研究。

综上所述,扫雪机技术应用于乳牙缺损修复时能提高剪切粘接强度,改善边缘完整性,降低纳米微渗漏,这为扫雪机技术应用于乳牙树脂粘接修复提供了一定的理论基础。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] 董鑫荷,吕晶,刘宇昊,等.超高分子量聚乙烯纤维结合不同树脂修复缺损乳磨牙的断裂载荷及边缘密闭性研究[J].口腔疾病防治,2024,32(8):589-597.
Dong XH, Lü J, Liu YH, et al. Fracture resistance and marginal adaptation of primary molar defects repaired with ultra-high-molecular-weight polyethylene combined with various restorative materials[J]. J Prevent Treat Stomatol Dis, 2024, 32(8): 589-597.
- [2] Ölçer Us Y, Aydınoglu A, Erşahan Ş, et al. A comparison of the effects of incremental and snowplow techniques on the mechanical properties of composite restorations [J]. Aust Dent J, 2024, 69(1): 40-48.
- [3] Tee R, Vach K, Schlueter N, et al. High C-factor cavities: how do “Snowplow Technique”, adhesive application mode and aging influence the microtensile bond strength to dentin[J]. J Adhes Dent, 2024, 26: 1-10.
- [4] Opdam NJ, Roeters JJ, de Boer T, et al. Voids and porosities in class I micropreparations filled with various resin composites[J]. Oper Dent, 2003, 28(1): 9-14.
- [5] Bossù M, Matassa R, Relucanti M, et al. Morpho-chemical observations of human deciduous teeth enamel in response to biomimetic toothpastes treatment[J]. Materials (Basel), 2020, 13(8): 1803.
- [6] Yi Q, Feng X, Zhang C, et al. Comparison of dynamic mechanical properties of dentin between deciduous and permanent teeth[J]. Connect Tissue Res, 2021, 62(4): 402-410.
- [7] Sultan S, Chaudhary S, Chaitra TR, et al. Evaluation of the dentinal shear bond strength and resin interface in primary molars after pre-treatment with various dentin bio-modifiers: an *in vitro* study[J]. J Funct Biomater, 2024, 15(2): 41.
- [8] International Organization for Standardization. Dentistry-Adhesion-Notched-edge shear bond strength test: BS EN ISO 29022-2013[S]. 2013.
- [9] Kamatchi M, Ajay R, Gawthaman M, et al. Tensile bond strength and marginal integrity of a self-adhering and a self-etch adhesive flowable composite after artificial thermomechanical aging[J]. Int J Clin Pediatr Dent, 2022, 15(2): 204-209.
- [10] 刘恩娣,吕晶,刘英群,等.不同预处理剂对乳牙牙本质粘接耐久性的影响[J].口腔疾病防治,2022,30(7): 475-482.
Liu ED, Lü J, Liu YQ, et al. Effects of different pretreatment agents on primary tooth dentin bonding durability [J]. J Prev Treat Stomatol Dis, 2022, 30(7): 475-482.
- [11] Arslan I, Baygin O, Tuzuner T, et al. The effects of cavity disinfection on the nanoleakage of compomer restorations: an *in vitro* study[J]. Eur Oral Res, 2020, 54(1): 16-24.
- [12] Frank J, Tauböck TT, Zimmermann M, et al. Influence of high-irradiance light curing on the marginal integrity

- of composite restorations in primary teeth[J]. BMC Oral Health, 2023, 23(1): 569.
- [13] 马鸿翼, 丁宁, 马平, 等. 不同类型大块树脂固化深度、硬度及对乳牙微渗漏影响的对比研究[J]. 中华口腔医学杂志, 2023, 58(11): 1131-1137.
- Ma HY, Ding N, Ma P, et al. A comparative study on the depth of cure, hardness and microleakage applied to primary teeth of different types of bulk-fill resins[J]. Chin J Stomatol, 2023, 58(11): 1131-1137.
- [14] Tu Y, Deng S, Wang Y, et al. Adhesive ability of different oral pathogens to various dental materials: an *in vitro* study[J]. Can J Infect Dis Med, 2022, 2022: 9595067.
- [15] 潘悦萍, 李婷婷. 两种复合树脂与牙本质剪切粘接强度的比较[J]. 口腔材料器械杂志, 2024, 33(2): 107-110.
- Pan YP, Li TT. Comparison of the shear bond strength for two kinds of composite resins against dentin[J]. Chin J Dent Mater Dev, 2024, 33(2): 107-110.
- [16] Pedram P, Hooshmand T, Heidari S. Effect of different cavity lining techniques on marginal sealing of class II resin composite restorations *in vitro*[J]. Int J Periodontics Restorative Dent, 2018, 38(6): 895-901.
- [17] 赵璐, 殷婷, 孙江伟, 等. 山柰酚对炎症状态下人根尖乳头干细胞成骨/成牙本质向分化的影响及相关机制研究[J]. 临床口腔医学杂志, 2024, 40(12): 707-712.
- Zhao L, Yin T, Sun JW, et al. The effect of kaempferol on the osteogenic/dentinogenic differentiation of stem cells from the human apical papilla under inflammation and its related mechanism[J]. J Clin Stomatol, 2024, 40(12): 707-712.
- [18] 张小爽, 苏静, 辛鹏举. 微酸性次氯酸水对牙本质全酸蚀粘接的影响[J]. 北京口腔医学, 2022, 30(5): 331-334.
- Zhang XS, Su J, Xin PJ. Effect of slightly acidic hypochlorous acid water on dentin total-etching bonding[J]. Beijing J Stomatol, 2022, 30(5): 331-334.
- [19] Bahari M, Oskoe SS, Chaharom MEE, et al. Effect of accelerated aging and double application on the dentin bond strength of universal adhesive system[J]. Dent Res J, 2021, 18: 25.
- [20] Teixeira GS, Pereira GKR, Susin AH. Aging methods-an evaluation of their influence on bond strength[J]. Eur J Dent, 2021, 15(3): 448-453.
- [21] Dugar M, Ikhar A, Nikhade P, et al. Comparative evaluation of shear bond strength of nanohybrid composite restoration after the placement of flowable compomer and composite using the snowplow technique[J]. Cureus, 2022, 14(9): e28663.
- [22] Ali AM, Mostafa D, Sakr A, et al. Comparing nanoleakage between class II bulkfill and incremental composite restorations using snowplow technique[J]. Saudi Dent J, 2023, 35(1): 46-52.
- [23] Borouzinia A, Khaki H, Majidinia S. Retrospective evaluation of the clinical performance of direct composite restorations using the snow-plow technique: up to 4 years follow-up[J]. J Clin Exp Dent, 2019, 11(11): e964-e968.
- [24] 马鸿翼, 杨东梅. 大块充填树脂在乳牙修复中的应用和研究进展[J]. 口腔医学研究, 2022, 38(12): 1124-1127.
- Ma HY, Yang DM. Application and research progress of bulk-fill resin-based composites on primary teeth[J]. J Oral Sci Res, 2022, 38(12): 1124-1127.
- [25] Par M, Burrer P, Prskalo K, et al. Polymerization kinetics and development of polymerization shrinkage stress in rapid high-intensity light-curing[J]. Polymers (Basel), 2022, 14(16): 3296.
- [26] 王月月, 黄佳慧, 孔红星, 等. 载银放射状介孔二氧化硅的制备及其在牙科树脂中的应用[J]. 无机材料学报, 2025, 40(1): 77-83.
- Wang YY, Huang JH, Kong HX, et al. Silver loaded radial mesoporous silica: preparation and application in dental resins[J]. J Inorg Mater, 2025, 40(1): 77-83.
- [27] Ferracane JL, Lawson NC. Probing the hierarchy of evidence to identify the best strategy for placing class II dental composite restorations using current materials[J]. J Esthet Restor Dent, 2021, 33(1): 39-50.
- [28] de Boer M, Zimmermann M, Attin T, et al. Marginal integrity of simplified adhesive strategies in primary teeth [J]. Int Dent J, 2023, 73(6): 881-888.
- [29] Sampaio CS, Garcés GA, Kolakarnprasert N, et al. External marginal gap evaluation of different resin-filling techniques for class II restorations—A micro-CT and SEM analysis[J]. Oper Dent, 2020, 45(4): E167-E175.
- [30] Pioch T, Staehle HJ, Duschner H, et al. Nanoleakage at the composite-dentin interface: a review[J]. Am J Dent, 2001, 14(4): 252-258.