

# 前牙树脂充填修复长期预后及影响因素分析

陈伟洋 吴菲阳 韦曦

中山大学附属口腔医院, 光华口腔医学院, 广东省口腔医学重点实验室, 广州 510055

**[摘要]** 前牙树脂充填修复技术因具有微创、美学效果佳等优势, 广泛应用于临床诊疗。其短期疗效显著, 但长期可发生修复体断裂、颜色变化等并发症, 长期预后面临挑战。材料的选择、临床操作技术及患者相关因素均会影响修复的长期疗效。本研究对前牙树脂充填修复的长期预后进行分析, 深入探讨影响其长期疗效的因素, 为改善前牙树脂充填修复长期预后提供依据。

**[关键词]** 前牙树脂充填修复; 长期预后; 影响因素

**[中图分类号]** R781.05 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2025.2025305



本文链接 开放科学标识码

## Long-term prognosis and influencing factors of anterior composite resin restoration

Chen Weiyang, Wu Feiyang, Wei Xi

Hospital of Stomatology, Guanghua School of Stomatology, Sun Yat-sen University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Stomatology, Guangzhou 510055, China

Supported by: Key Clinical Technical Program of Guangzhou City (2023P-ZD07)

Correspondence: Wei Xi, E-mail: weixi@mail.sysu.edu.cn

**[Abstract]** With the increasing demand for dental aesthetic outcomes, techniques for composite resin restoration intended for anterior teeth have been widely applied due to their minimally invasive and superior esthetic performance. Despite promising short-term outcomes, the long-term prognosis of anterior resin restorations remains challenging. Frequently reported complications include restoration fractures and decoloration. Material selection, operative procedures, and patient-related factors can affect the long-term outcomes of restorations. This review aims to systematically analyze the long-term clinical performance of resin restorations in anterior teeth. The key factors influencing treatment efficacy are also investigated. The findings are expected to provide a basis for optimizing clinical strategies in procedures for anterior composite resin restoration.

**[Key words]** anterior composite resin restoration; long-term outcomes; influencing factor

前牙区在口腔功能与美学中承担着双重使命, 其完整性不仅关乎咬合效率与发音清晰度, 也会直接影响患者的社交形象与心理健康<sup>[1]</sup>。前牙常因龋病、外伤、磨损或牙列间隙等原因需要修复外观和颜色, 但其对修复技术的精准性和美学疗效的要求较高。间接修复(全瓷冠、瓷贴面等)可以提供稳定的美学效果, 但同时存在需要磨除较

多牙体组织、费用高、治疗周期长等局限性。因此, 探索微创、经济效益、高效便捷的前牙修复方式具有重要意义。

随着材料学与粘接技术的发展, 直接复合树脂充填修复不仅可实现个性化美学重建, 且仅需少量甚至无需牙体预备, 最大程度保留天然牙结构, 逐渐成为前牙美学修复的重要选择<sup>[2]</sup>。姜东锋等<sup>[3]</sup>对前牙纳米树脂充填修复0.5年及1年的效果进行研究, 发现其牙体形态恢复、边缘密合程度、色泽效果、邻牙接触位置及面容恢复的美观满意度与全瓷冠相比无显著差异, 同时可缩短治疗时间, 降低治疗费用。

**[收稿日期]** 2025-07-23; **[修回日期]** 2025-09-23

**[基金项目]** 广州市临床重大技术项目(2023P-ZD07)

**[第一作者]** 陈伟洋, 助理研究员, 医师, 博士, E-mail: chenwy-257@mail.sysu.edu.cn

**[通信作者]** 韦曦, 教授, 博士, E-mail: weixi@mail.sysu.edu.cn

尽管树脂充填修复的短期疗效显著,其长期耐久性仍是临床争议的焦点。一项多中心临床研究<sup>[4]</sup>表明,前牙树脂修复体2年存留率为98.8%,10年存留率为91.7%,15年存留率为77.6%。树脂充填修复的存留率与材料性能、粘接技术规范性及咬合力分布密切相关<sup>[5]</sup>。因此,系统解析前牙树脂充填修复的长期预后及其影响因素,对优化临床策略、延长修复体寿命、增加治疗成功率具有重要意义。

## 1 前牙树脂充填修复长期预后分析

### 1.1 修复体长期存留率与失败率

前牙树脂修复体的长期预后评估需基于标准化的临床评估体系。美国公共卫生服务标准及国际牙科联盟标准是目前评价修复体性能的主要标准,涵盖解剖形态、边缘适应、表面粗糙度、颜色匹配、边缘染色及继发龋、牙髓病变等评估维度<sup>[6]</sup>,为临床研究提供了统一评估框架,有助于不同研究的比较分析。

前牙直接树脂修复体与间接修复体的临床疗效存在争议。Gresnigt等<sup>[7]</sup>对48例上前牙修复体的10年随访结果显示,树脂修复体存留率为75%,瓷贴面为100%,瓷贴面在修复体断裂、脱落、颜色匹配、表面粗糙度等性能方面显著优于树脂修复体。Elkaffas等<sup>[8]</sup>研究发现,60例前牙直接树脂贴面与60例瓷贴面的2年存留率分别为93.4%、95%,二者之间无显著差异,但树脂贴面更易出现表面粗糙与边缘染色。Burke<sup>[9]</sup>基于1300万例修复病例分析发现,5年后切牙树脂修复体存留率为57%,全瓷冠存留率为74%,全瓷冠虽存留率较高,但由于牙体预备量较大,患牙牙髓暴露的风险增加1.81倍;5年后树脂修复患牙存留率为94%,冠修复患牙存留率为91%,低于树脂修复体患牙。研究表明,前牙直接树脂修复体的长期存留率低于间接修复体,但利于保留更多健康牙体组织,减少牙髓炎等并发症及保留患牙。

前牙树脂修复体的长期预后在不同研究中差异显著。一项系统评价发现随访至少3年的前牙树脂修复体存留率从53.4%到100%不等,总失败率为24.1%,年失败率(annual failure rate, AFR)从0%到4.1%不等<sup>[10]</sup>。另一项系统评价纳入了随访至少2年的研究,评估了75637个前牙修复体,发现存留率从28.6%到100%不等,AFR从0%到27.11%不等<sup>[5]</sup>。Lempel等<sup>[11]</sup>对163个前牙树脂修复

体进行7年随访,发现存留率为88.3%,AFR仅为1.43%。Vural等<sup>[12]</sup>采用美国公共卫生服务标准评估73个前牙树脂修复体,2年随访修复体存留率为82.14%,其中89.3%的修复体在解剖形态与颜色匹配上达到理想修复体Alpha级,但边缘适应随时间延长显著降低。综上,前牙树脂修复体长期失败率较高,探究其失败原因与机制有利于为提高前牙树脂充填修复长期临床疗效提供指导意义。

### 1.2 树脂修复体失败原因与机制分析

前牙树脂修复体的主要失败原因为修复体断裂(40%~60%)、边缘适应性差(15%~30%)、美学因素失败(10%~25%)<sup>[13]</sup>。修复体断裂是最常见的失败原因。边缘适应性差是指修复体与牙体组织间不密合,可导致边缘染色及继发龋。边缘染色是指修复体与患牙牙体组织之间的接触边缘出现颜色变化<sup>[14]</sup>。美学维持能力下降是前牙树脂充填修复常见的失败表现,包括修复体表面光泽度降低和颜色逐渐不匹配。Lempel等<sup>[11]</sup>研究报道,前牙树脂修复体失败的主要原因为修复体断裂(40%)和颜色不匹配(15%)。Shah等<sup>[5]</sup>指出,修复体断裂多发生于咬合力高区域(如切缘与邻接面),而边缘染色与继发龋多见于龈缘区域。虽然牙髓病变不一定是失败的直接表现,但如果修复过程中临床操作不当,可能会导致牙髓炎症甚至牙髓坏死,从而间接影响修复体的长期预后<sup>[15]</sup>。

前牙树脂充填修复的失败机制主要包括生物力学作用和边缘微渗漏。前牙区域咬合力虽然通常小于后牙,但若患者存在深覆胎或磨牙症等不良临床表现,而修复体较薄或未充分缓冲咬合接触点时,修复体可能承受过大的咬合应力,由于应力集中导致其内部裂纹扩展最终引起修复体的断裂或脱落<sup>[16]</sup>。边缘微渗漏是指修复体与牙体组织之间的界面未能实现完全的密合,出现微小的缝隙,为细菌、液体和着色剂的渗入提供通道<sup>[17]</sup>。边缘微渗漏的原因主要是由于树脂材料在聚合过程中发生收缩,以及粘接界面可能存在的粘接结合强度不足或粘接不密合,导致修复体边缘与牙体组织不密合,进而导致修复体脱落断裂、边缘染色、继发龋发生,最终影响修复体的长期预后<sup>[18]</sup>。

## 2 前牙树脂充填修复长期预后的影响因素

### 2.1 树脂材料性能

复合树脂的类型及特性是决定其抛光性、耐

磨性、抗折强度等性能的核心因素。树脂主要由有机聚合物(即树脂基质,如双酚A-甲基丙烯酸缩水甘油酯、三乙二醇二甲基丙烯酸酯、氨基甲酸酯二甲基丙烯酸酯)和无机填料组成。

根据填料颗粒的大小,复合树脂可分为纳米填料复合树脂、混合填料(纳米混合、微米混合)复合树脂、微填料复合树脂、小填料复合树脂<sup>[19]</sup>。纳米填料复合树脂的填料颗粒的尺寸在5~75 nm之间,主要优点为卓越的抛光性能、与天然牙高度相似的光泽度及较高的表面光滑度,色素吸附较混合填料复合树脂减少约40%,具有优异的美学效果<sup>[20-21]</sup>。此外,纳米颗粒和高填料含量(约80%体积比)对树脂基质具有保护作用,可减少树脂表面磨损,因此耐磨性能亦良好。但其韧性较低,在切端等咬合高应力区易发生脆性断裂<sup>[11]</sup>。纳米混合填料复合树脂由于结合了纳米填料的良好抛光性和较大填料颗粒的高强度及耐磨性,在美学和力学性能之间取得了较好的平衡,适用于前牙和后牙的充填修复<sup>[22]</sup>。微米混合复合树脂的抗折强度高于纳米填料复合树脂,但表面抛光后粗糙度较高(增加约20%),加速菌斑附着和边缘染色<sup>[21]</sup>。微填料复合树脂力学性能与小填料复合树脂相近,同时兼具较好的抛光性能和表面光滑度,可用于前牙非应力集中区缺损修复。小填料复合树脂用于前牙缺损修复时无法实现高度抛光,目前较少用于临床<sup>[19]</sup>。

填料体积百分比是影响复合树脂性能的另一个重要因素。高填料比例(如75%~85%)可提升复合树脂的强度和耐磨性,同时降低聚合收缩率,减少边缘微渗漏风险<sup>[23]</sup>。然而,过高的填料含量会降低复合树脂的流动性,增加操作难度,如分层充填时易产生界面气泡。

综上,填料颗粒与体积百分比是影响复合树脂性能的重要因素。较小的填料颗粒有助于提高复合树脂的抛光性,较高的填料体积百分比与复合树脂较高的强度和较低的聚合收缩相关。选择修复材料时,应权衡不同类型复合树脂的优缺点,根据患者的具体病情和修复需求进行应用。

## 2.2 临床操作技术

前牙树脂充填修复过程主要包括牙体预备、隔湿、粘接、树脂充填及抛光,其中的各项操作均可能对修复的长期疗效造成影响。不恰当的临床操作技术会加剧边缘微渗漏<sup>[2]</sup>。

适当的窝洞设计与预备釉质边缘对修复体的美观和长期预后具有重要意义。釉质边缘斜面预

备是一种常用的技术,斜面可增加釉质酸蚀表面积,提高复合树脂粘接强度和固位力,实现修复体与牙体组织之间的平滑过渡,改善复合树脂边缘密合性,优化美学效果,建议釉质边缘斜面预备为45°,宽度为1~2 mm<sup>[24]</sup>。然而,Korkut等<sup>[20]</sup>对复合树脂直接充填修复未露髓折断前牙的4年疗效分析发现,釉质边缘是否预备斜面二者之间差异无统计学意义,因此不建议行釉质边缘斜面预备以保留更多健康的牙体组织。目前主流观点仍建议行釉质边缘短斜面预备<sup>[20]</sup>。

确保操作区域的干燥和无污染对获得良好的粘接效果至关重要。常用的隔湿方法包括橡皮障隔湿和棉卷隔湿。橡皮障隔湿是隔湿的金标准,可有效隔离唾液、血液和龈沟液,提高粘接强度,降低边缘微渗漏和修复体脱落的风险,从而显著提高修复体的长期预后<sup>[25]</sup>。棉卷隔湿虽简便快捷,但易受唾液和龈沟液的污染。为了最大程度地提高前牙树脂修复的长期预后,尤其是在涉及粘接的关键步骤中,强烈建议使用橡皮障隔湿。保持牙面清洁无污染亦有利于提升粘接效果。牙面菌斑生物膜可形成一层物理屏障阻碍粘接剂渗透,且牙菌斑中细菌产酸易导致粘接界面水解,降低粘接强度,引发修复体边缘微渗漏,增加修复体边缘染色和继发龋的风险,最终致使修复体远期修复失败<sup>[26]</sup>。因此在牙体预备及粘接前应保证牙面清洁,减少菌斑生物膜残留,以提高前牙树脂充填修复长期预后效果。

粘接系统的选择亦直接影响粘接强度和边缘密合性。目前临床上常用的粘接系统主要分为全酸蚀(etch-and-rinse)和自酸蚀(self-etch)两大类。全酸蚀粘接系统对釉质的粘接强度更高,对于前牙修复,尤其是釉质比例较高的年轻患者或需要承受一定咬合力的区域,更有利于获得持久的粘接<sup>[27-28]</sup>。Demarco等<sup>[10]</sup>认为,相比全酸蚀粘接系统,自酸蚀粘接系统导致边缘微渗漏的风险增加2.8倍。Heintze等<sup>[29]</sup>的Meta分析研究表明,全酸蚀技术联合釉质边缘斜面预备可显著减少边缘微渗漏,而自酸蚀系统更易因唾液污染导致粘接失败而出现修复体脱落和边缘染色。尽管自酸蚀系统具有操作简便的优点,但对以釉质为主的粘接界面一般更推荐使用全酸蚀粘接系统以获得更好的长期预后。此外,龈下病损的树脂充填修复则面临独特的挑战,因为粘接界面通常还涉及牙本质甚至牙骨质,且操作区域难以完全隔湿。对于同时涉及釉质和牙本质的龈下牙体缺损,可先

采用选择性酸蚀,即对釉质行磷酸酸蚀,再使用自酸蚀粘接剂,以兼顾釉质和牙本质的粘接效果<sup>[30]</sup>。对于牙骨质粘接,研究<sup>[31]</sup>表明自酸蚀二步法有利于获得更高的粘接强度并减少微渗漏。相较于一步法,二步法通过分步操作,可更好地控制酸蚀、渗透和聚合过程。自酸蚀粘接剂一方面酸性较弱,部分溶解并改性玷污层,形成更均匀的混合层;另一方面,其功能性单体可与牙骨质中的羟磷灰石形成稳定的钙盐化学键,增强粘接强度和耐久性<sup>[32]</sup>。然而,Andermatt等<sup>[33]</sup>采用微剪切测试评估树脂水门汀在不同牙体组织(包括牙冠釉质或牙本质、颈部釉质、釉牙骨质界和根面牙骨质)的粘接强度,并比较全酸蚀与自酸蚀粘接系统的粘接效果,发现粘接强度受牙体组织类型和粘接系统的影响,全酸蚀粘接系统的粘接强度优于自酸蚀粘接系统,尤其对于牙本质和根面牙骨质。根面牙骨质无论在何种粘接系统下都表现出最低的粘接强度,是临床粘接中最薄弱的环节,龈下粘接或涉及根面牙骨质的树脂充填修复治疗选择全酸蚀粘接系统可获得更可靠、更强的粘接效果。此外,粘接时清洁干燥的粘接界面对提高粘接界面耐久性具有重要作用,术中应使用橡皮障和排龈线,必要时使用止血药物。

分层斜形堆塑法是一种常用的复合树脂分层充填修复技术,通过斜向逐层添加树脂,使每一层树脂的聚合收缩方向尽可能地朝向已粘接的牙体组织,从而减少对粘接界面的拉应力,降低边缘微渗漏和裂纹形成的风险<sup>[34-35]</sup>。此外,分层充填修复技术允许操作者更精细地塑造患牙的解剖形态,通过使用不同色调和透明度的复合树脂分层堆塑,更好地模拟天然牙齿牙本质、釉质、切端乳光效应等光学特性,实现高度逼真的美学效果<sup>[36]</sup>。

光固化操作亦直接影响修复体的化学稳定性和机械性能。单体转化率(degree of conversion, DC)是评估树脂固化程度的重要指标。理想情况下,DC应达到75%以上,但临床实践中常因光照强度不足或时间过短导致单体转化率仅为55%~65%<sup>[37]</sup>。未反应的单体会逐渐析出,引发生物相容性问题(如牙龈刺激),并降低树脂的耐磨性和颜色稳定性。因此树脂充填后需保证足够的光照强度和光照时长<sup>[38]</sup>。光固化时光强推荐范围为750~2 000 mW/cm<sup>2</sup>。光强越高,单体转化率越高,树脂的力学性能越好,但光强过高(>2 000 mW/cm<sup>2</sup>)会导致表层树脂迅速固化致使深层树脂固化不全,

且容易造成产热过多,损伤牙髓和牙龈组织。对于2 mm以内常规树脂厚度,推荐20~40 s的光照时长。由于光强随光照距离增加呈指数衰减,每增加1 mm,光强衰减约20%,光照时应尽量贴近树脂表面。若光照距离超过5 mm,需增加光照时间或从多个角度补充照射,同时应尽可能垂直照射修复体表面避免倾斜。对于邻面、舌面等难以直射的区域,应增加光照时间或调整角度<sup>[39]</sup>。此外,临床操作中光固化时应使用一次性防护膜以控制感染,正确使用薄层高透明度塑料屏障(如专用聚乙烯或聚氯乙烯膜),确保其平整、无褶皱时仅导致5%~8%的光强衰减;若错误使用(如存在褶皱、薄膜接缝对准光导头),光强衰减会增加至14%~28%,并导致光斑不均,影响树脂固化效果<sup>[40]</sup>。通常建议在原有光照时间基础上增加10%以补偿光强损失,从而在保证感染控制的前提下实现树脂的充分固化,且建议定期使用光强计监测光固化灯的实际输出光强。

充填及光固化后应行咬合检查及调骀。咬合调整是前牙树脂修复成功的关键步骤之一。Lempel等<sup>[11]</sup>研究表明,57.1%的前牙树脂修复体断裂发生在修复后1年内,未调整的咬合高点导致的咬合负荷过载是造成修复体早期断裂的主要原因。在修复体形态恢复后,需使用咬合纸让患者在正中骀、前伸骀和侧方骀位进行咬合,调磨所有咬合高点。同时亦注意引导区的调整,前牙修复体在切导和侧方引导中可能发挥作用,不正确的引导会给修复体带来过大的侧向力进而增加断裂风险。咬合检查应当在修复体最终抛光前进行,避免修复体表面粗糙度增加。此外,正确恢复及调整修复体边缘嵴和邻接关系亦十分重要,不适合的邻接关系可引起食物嵌塞和牙周炎。

抛光技术影响树脂表面粗糙度和微硬度。复合树脂光固化后立即抛光可显著降低复合树脂的表面粗糙度,减少菌斑附着和边缘染色风险,但操作不当可能会损伤未完全固化的树脂。Chowdhury等<sup>[41]</sup>研究发现,立即抛光组的复合树脂表面粗糙度显著低于延迟24 h抛光组;延迟抛光可略微提高树脂微硬度,但可能会降低表面光滑度。立即抛光对微米混合复合树脂充填疗效更佳,可同时平衡表面光滑度与硬度<sup>[42]</sup>。多步骤的抛光系统通常能获得更理想的表面光滑度,从而提高修复体的美观性和抗染色性<sup>[21]</sup>。

### 2.3 患者相关因素

患者相关因素同样对前牙树脂充填修复的长

期预后具有重要影响,包括患牙牙位类型、牙体缺损窝洞类型、前牙咬合、患者年龄、饮食和口腔卫生习惯等方面。

患牙牙位类型显著影响前牙树脂充填修复的长期预后。上颌前牙,尤其上颌中切牙复合树脂修复体的失败率最高。一项研究对不同牙位树脂修复体进行5年随访,发现下颌侧切牙失败率最低,上颌中切牙与下颌侧切牙的失败风险比为2.46,上颌侧切牙为1.77,上颌尖牙为1.92,下颌中切牙为1.26,下颌尖牙为1.21。上颌中切牙美学要求较高,外伤发生率也较高,可能是上颌中切牙树脂充填修复失败风险较高的原因<sup>[43]</sup>。

牙体缺损窝洞类型与树脂充填修复失败率密切相关。Demarco等<sup>[10]</sup>的系统综述报道,Ⅲ类洞的年失败率为0%~2.74%,而Ⅳ类洞的年失败率升至12.6%。Korkut等<sup>[44]</sup>对168例Ⅳ类洞修复体的4年随访研究显示,应力负荷集中切端区域的修复体断裂风险增加3.7倍,10年失败率高达62%。这些研究均表明,Ⅲ类洞的长期预后优于Ⅳ类洞。

前牙咬合力过大者不利于树脂修复体的长期使用。Aziz等<sup>[45]</sup>的系统综述报道,对于局部重度磨损前牙,瓷贴面修复10年存留率为85%~95%,树脂修复体则为68%~93%。树脂充填修复可作为磨损前牙中短期修复的有效选择,但应告知患者需长期定期复诊监测,必要时修复或重新充填树脂修复体。

患者年龄亦影响前牙树脂充填修复的长期存留率。Collares等<sup>[43]</sup>对72 196例前牙复合树脂修复体按照不同年龄组进行统计,结果显示5~12岁病例的修复体失败风险比18~25岁病例高17%,大于等于65岁病例的失败风险比25~34岁病例高81%。儿童及老年人前牙树脂充填修复失败风险高的原因:相较于龋齿,儿童前牙修复需求主要源于牙外伤,外伤牙常致牙髓损伤或坏死,需后续行根管治疗(即视为树脂充填修复失败),且在儿童成长过程中复合树脂修复体易因二次外力脱落或折裂;老年人唾液分泌减少、行动不便或认知衰退影响日常口腔卫生维护,易致菌斑堆积发生继发龋,同时老年人后牙缺损或缺失导致前牙咬合力负荷增加。

饮食和口腔卫生习惯对前牙树脂充填修复的长期美学效果至关重要。频繁摄入色素含量高的饮食(如咖啡、茶、红酒)或吸烟时,亲水性树脂基质易吸附咖啡、茶、烟草等外源性色素,导致复合树脂发生染色。通过浸泡和冷热循环树脂

修复体模拟临床使用1年效果,结果显示茶和红酒均导致树脂表面颜色显著深染,光泽度显著降低<sup>[46]</sup>。树脂长期使用后均会出现一定程度染色,需依赖定期抛光维持美观色泽稳定性<sup>[47]</sup>。

### 3 提升前牙树脂充填修复长期预后的策略

#### 3.1 创新材料研发

材料科学的不断发展为研发新型树脂改善前牙树脂修复的长期疗效提供新的可能性。针对目前复合树脂临床应用的情况,可从开发新型单体及优化填料降低聚合收缩、添加纳米银及季铵盐等抗菌材料赋予树脂抗菌功能、掺入纳米羟磷灰石等生物填料增强树脂再矿化生物活性、实现树脂微裂纹自修复能力等方面进行改进优化<sup>[48]</sup>。

早期的流动树脂因填料含量低、颗粒大,机械性能不足,聚合收缩率大,易导致微渗漏和继发龋,限制其在高应力部位的应用。然而,随着纳米技术等材料科学的进步,新一代流动树脂通过增加纳米填料含量和优化颗粒大小,显著提升强度、耐磨性、抛光性及抛光保持性等性能,使聚合收缩率降低约20%<sup>[49-50]</sup>。研究显示,改良流动树脂在机械性能和3年临床疗效方面(如修复体完整性、边缘适应、术后敏感性和继发龋等方面)与传统膏体复合树脂之间无显著差异<sup>[50-52]</sup>;但在颜色稳定性方面,流动树脂在1年随访中出现明显的颜色变化,而预加热膏体树脂则维持良好的美学效果和稳定性,未出现变色问题<sup>[53]</sup>。目前,流动树脂的应用范围正在逐步扩大,例如通过基于数字化美学设计的注射充填技术,流动树脂可用于关闭前牙间隙或修复牙外伤缺损,实现与天然牙外形精准匹配的美学效果,且操作简便、可预测性高,显著提升流动树脂在前牙美学修复中的应用价值。

复合树脂充填技术对聚合收缩应力的控制至关重要。分层充填技术要求每次充填树脂的层厚度不超过2 mm,确保彻底光固化的同时通过分层多次固化来分散聚合收缩产生的应力,从而减少微渗漏和术后敏感的风险。该技术允许医生精细控制每层树脂的颜色、透明度和形态,是实现前牙高美学修复的金标准。为了简化修复流程、节省临床操作时间,大块充填树脂应运而生,能够实现超过4 mm的固化深度,一次性完成较深窝洞的充填。目前临床上使用的大块充填树脂根据填料比例分为低黏型和高黏型。为了获得较好的机

械性能,低黏型大块充填树脂(填料比例64%~75%)通常用于窝洞内层充填,传统复合树脂覆盖外层;高黏型大块充填树脂(填料比例74%~87%)则可同时充填内层和外层<sup>[54]</sup>。研究<sup>[55]</sup>表明,对于修复后牙区牙体缺损,大块充填树脂与传统分层充填在边缘密合性和继发龋发生率等方面的临床效果相似。尽管大块充填树脂在操作流程方面优势显著,但因其美学性能的局限性,现普遍认为其主要适应证为后牙修复。为了实现深层光固化,大块充填树脂通常具有较高的半透明性,且可供选择的颜色较少,通常为单一或少数几种颜色;且大块充填树脂比传统复合树脂材料更容易变色,在复合树脂聚合后,大块充填树脂的颜色变化较为显著。树脂基质的组成及填料的种类和尺寸影响了大块充填树脂的颜色稳定性,树脂基质可能是大块充填树脂变色的决定性因素<sup>[56]</sup>。此外,由于大块充填树脂的填料含量较低,与传统混合填料的复合树脂相比,大块充填树脂耐磨性较低,表面粗糙度增加,抛光性能较差。在大块树脂表面覆盖传统复合树脂,可改善修复美学性能及提高树脂材料机械性能。未来大块充填树脂的发展方向为在保证材料低聚合收缩性的同时改善其美学和机械性能,以拓宽大块充填树脂的临床应用范围。一项为期24个月的随机临床试验研究<sup>[57]</sup>评估在无额外覆盖层的情况下,3种流动大块充填树脂(Admira Fusion x-base, Estelite Bulk Fill Flow, SDR flow+)直接用于42名患者138个Ⅲ类洞修复的临床疗效,结果显示3种材料在术后24个月的总体成功率均为100%,无修复体脱落或继发龋发生。然而所有材料的表面纹理及染色性能在术后24个月均显著下降,但仍在临床可接受范围内。该研究表明流动大块充填树脂材料短期内是Ⅲ类洞修复的可行选择,但其长期性能及在美学要求极高区域的应用仍需进一步研究。

低聚合收缩树脂可降低聚合过程中产生的应力,从而减少边缘微渗漏的风险。新型树脂例如纳米凝胶改性树脂通过添加纳米级预聚物减少反应基团浓度,在三乙二醇二甲基丙烯酸酯树脂中添加5%~40%的纳米级预聚物可使聚合收缩降低24%~43%。在复合树脂中添加20%纳米级硫代氨基甲酸酯低聚物可降低35%收缩应力,并显著提高树脂强度<sup>[58]</sup>。液态醚基单体通过醚键结构提升树脂水解稳定性,减少材料降解和微渗漏风险,并延缓树脂聚合反应时的凝胶点(gel point,树脂从非固态即黏流态向固态即玻璃态转变的临界

点),可显著降低57%收缩应力<sup>[59]</sup>。其原理为延长应力释放窗口,当树脂最终达到凝胶点完全硬固前,大部分聚合收缩反应已完成,仍保持一定流动性的树脂可通过自身形变和流动补偿部分收缩。

除了改进树脂成分,辅助使用特定试剂材料也有利于提高树脂充填修复的长期疗效。树脂在空气中进行光固化时,空气中的氧气会渗透到树脂表面,抑制聚合反应,从而形成一层黏性、未固化的树脂表层,即氧阻聚层。氧阻聚层主要由未反应的单体和寡聚体组成,会增加修复体表面精修和抛光的困难。在最后一层树脂光固化前涂布一层阻氧剂(如甘油)可在树脂聚合过程中减少氧气抑制层的形成,从而提高复合树脂表面硬度和修复体层间的粘接强度,确保树脂表面的充分固化,并提升抛光效果,降低后续菌斑附着诱发继发龋和表面染色的风险,获得光滑、抗着色的表面<sup>[60-61]</sup>。边缘封闭剂的应用有助于封闭修复体边缘的微小缝隙,减少边缘微渗漏和边缘染色<sup>[62]</sup>。抗水解粘接剂,尤其是含有磷酸酯单体的粘接剂,可与牙体组织形成更稳定和持久的粘接,提高修复体的长期耐久性<sup>[63-64]</sup>。

对于前牙树脂充填修复,应优先选择美学性能好、低聚合收缩、高强度、易抛光的复合树脂。虽然目前已研发多种新型树脂,但仍需更多临床研究及应用评价以指导新材料的合理使用。未来的研究方向以研发抗菌、再矿化等多功能集成、力学性能优化的复合树脂为目标,以突破临床转化瓶颈,提升树脂修复体长期耐久性。

### 3.2 新型技术应用

随着技术发展,多种辅助前牙美学修复的新型技术已广泛运用于临床实践。使用激光预处理牙体组织可增强粘接效果。使用导板辅助修复可提升修复体外形精度并降低操作难度。数字化技术的引入推动前牙美学修复的显著发展,不仅可实现口内扫描、计算机辅助设计与计算机辅助制造、3D打印导板等操作,而且数字化比色与分层设计工具可进一步实现更准确的颜色匹配与材料选择策略,显示出良好的临床应用潜力。

研究<sup>[65-66]</sup>表明,使用特定类型的激光(如Er:YAG激光)预处理釉质和牙本质表面,可改变牙体表面的微观结构、去除玷污层、改善粘接剂的渗透性,增强粘接效果。然而,激光预处理在前牙树脂充填修复中的长期疗效和应用方案,仍需更多的临床研究来验证。

导板辅助树脂充填修复技术在前牙美学树脂

修复中展现出一定的临床疗效,有利于获得更精确的修复体外形,降低临床操作技术敏感性及减少椅旁治疗时间。早期使用腭侧硅橡胶导板引导树脂堆塑,可简化恢复腭侧形态的操作流程,但难以精确控制牙本质层和釉质层的厚度,且在处理多间隙修复时易发生树脂溢出和难以重建患牙邻面<sup>[67]</sup>。透明硅橡胶导板制作简便,透明度高,便于观察、辅助塑形牙齿解剖形态及光固化,但其质地偏软且具有弹性,在流动树脂注射压力下易变形,可导致修复精度降低,且仅支持单色树脂充填修复<sup>[53]</sup>。此外,预加热可增强导板内树脂流动性,提高边缘密合度,建议39~45℃预加热,以利于导板内多余树脂有效溢出,提高填充效率及减少边缘微渗漏<sup>[68]</sup>。

数字化技术正逐渐应用于前牙美学树脂修复领域<sup>[69]</sup>。随着口内扫描、计算机辅助设计与计算机辅助制造、3D打印技术的快速发展,数字化辅助前牙树脂修复流程应运而生,实现从数据采集、虚拟设计到导板精确制造的全链条数字化,联合流动树脂注射充填修复可显著提高治疗效率,适用于多种前牙美学树脂充填修复病例<sup>[70]</sup>。口内扫描可快速获取牙体和周围组织精确的三维数据,避免传统印模的变形和误差。利用计算机辅助设计软件,医生可在计算机上精确设计修复体的形态、与周围牙齿的咬合关系,辅助进行修复体的精细加工,从而优化修复体的功能和美观。相比透明硅橡胶导板,数字化3D打印导板由刚性材料(如刚性树脂或聚对苯二甲酸乙二醇酯)构建,可有效抵抗流动树脂注射压力,准确转移数字化设计形态,显著提高修复精度<sup>[71]</sup>。其次,数字化3D打印导板可精确重建邻面,如设计0.2 mm间隙结构,支持多颗邻牙同期修复<sup>[67]</sup>。此外,数字化3D打印导板可完成多层美学修复,实现更逼真可控的美学效果,如使用数字化回切法制作含牙本质核心导板和釉质导板的分层导板,实现分层流动树脂注射,精确控制牙本质层核心形态和釉质层厚度<sup>[71-72]</sup>。研究<sup>[73]</sup>表明,理想的导板应同时具备高精度、足够的刚度与尺寸稳定性、良好的边缘密合性、透明性及与不同树脂材料和技术兼容的多功能特性,可设计固定杆等结构增加导板稳定性辅助精准就位,为进一步优化数字化3D打印导板技术提供思路。数字化技术还可应用于辅助医生进行精确比色,并根据比色结果制定多色树脂分层充填策略。Manauta等<sup>[74]</sup>使用OptiShade比色仪数字化工具,通过张口及闭口状态下双背景模式,

精准测量牙齿的色度值与透光性,消除邻牙及牙龈干扰,解决前牙复合树脂修复中的颜色匹配难题;并基于比色数据使用CompoShade数字化工具生成分层充填策略,包括树脂材料选择、堆叠顺序及每层精确厚度,从而达到良好的修复效果,术后2个月随访显示美学树脂充填修复效果稳定。

### 3.3 患者管理建议

患者个体差异是影响修复体长期疗效的重要因素。针对上颌中切牙等高失败风险牙位,应注重术前治疗方案设计及定期随访复诊。避免过大的咬合力有利于增加树脂修复体的长期存留率。对前牙树脂修复体进行精细的咬合调整至关重要。去除可能导致修复体受力过大的早接触点和咬合干扰,可有效降低修复体发生断裂或脱落的风险<sup>[75]</sup>。对于夜磨牙患者,佩戴夜磨牙防护垫是保护前牙树脂修复体的有效措施。针对IV类洞等高应力缺损类型,建议选择力学性能较强的树脂。针对儿童及老年患者,应加强口腔卫生宣教和定期复查,及时发现并处理继发龋、修复体断裂等问题。

良好的依从性及口腔卫生习惯是维持树脂修复体长期疗效的有效保证。患者在接受前牙树脂充填修复后,应定期进行复诊检查,通常建议每6~12个月复诊一次。复诊时应修复体的功能、美观、边缘密合性、表面状态及周围牙体组织的情况进行全面评估,及时发现并处理早期问题,如轻微的表面粗糙或边缘染色可通过抛光等简单方法进行修复,避免问题进一步恶化,从而延长修复体的使用寿命<sup>[2]</sup>。

## 4 结语和展望

前牙树脂修复的长期预后受到树脂材料性能、临床操作技术和患者相关因素等多方面因素的动态影响。目前,如何提升前牙树脂修复长期稳定性仍是临床面临的重要挑战。为获得更持久且美观的修复效果,应在术前全面评估牙体缺损类型、咬合关系、患者年龄、口腔卫生状况及美学期望;术中需规范操作,包括合理的牙体预备、应用橡皮障隔湿、选择合适的粘接系统、采用分层充填与精确光固化技术、调骀及精细抛光。使用数字化技术等新型技术辅助前牙树脂美学设计与修复,亦有助于在实现良好美学效果的同时,保证修复体长期预后的稳定。

未来的研究和临床实践应继续致力于研发创

新材料, 推广标准化和精细化的临床操作技术, 并加强对患者的个性化管理和长期维护。通过材料、技术和患者管理的协同优化, 有望进一步改善前牙树脂修复的长期预后, 为患者提供更持久、更美观的修复效果。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

### [参考文献]

- [1] 刘云松, 周侗, 叶红强. 前牙美学修复的整体策略及细节剖析[J]. 北京大学学报(医学版), 2022, 54(1): 1-6.  
Liu YS, Zhou T, Ye HQ. Comprehensive strategy and detailed analysis of anterior tooth aesthetic restoration[J]. *J Peking Univ (Health Sci)*, 2022, 54(1): 1-6.
- [2] 张海英, 侯本祥. 复合树脂美学直接粘接修复术的临床应用[J]. 中华口腔医学杂志, 2023, 58(5): 409-413.  
Zhang HY, Hou BX. Clinical application of direct composite resin in esthetic restoration[J]. *Chin J Stomatol*, 2023, 58(5): 409-413.
- [3] 姜东锋, 顾海佳, 娄亮, 等. 纳米树脂美学修复前牙缺损牙的临床观察[J]. 实用口腔医学杂志, 2014, 30(6): 861-863.  
Jiang DF, Gu HJ, Lou L, et al. Repair of anterior tooth defect by nano resin aesthetic restoration[J]. *J Pract Stomatol*, 2014, 30(6): 861-863.
- [4] Frese C, Wohlrab T, Soliman S, et al. A multicenter trial on the long-term performance of direct composite buildups in the anterior dentition—survival and quality outcome[J]. *J Adhes Dent*, 2020, 22(6): 573-580.
- [5] Shah Y, Shiraguppi V, Deosarkar B, et al. Long-term survival and reasons for failure in direct anterior composite restorations: a systematic review[J]. *J Conserv Dent*, 2021, 24(5): 415-420.
- [6] 陈智. 牙修复体的临床评价标准[J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(9): 612-617.  
Chen Z. Clinical criteria for the assessment of dental restoration[J]. *Chin J Stomatol*, 2019, 54(9): 612-617.
- [7] Gresnigt MMM, Cune MS, Jansen K, et al. Randomized clinical trial on indirect resin composite and ceramic laminate veneers: up to 10-year findings[J]. *J Dent*, 2019, 86: 102-109.
- [8] Elkaffas AA, Alshehri A, Alqahtani AR, et al. Randomized clinical trial on direct composite and indirect ceramic laminate veneers in multiple diastema closure cases: two-year follow-up[J]. *Materials*, 2024, 17(14): 3514.
- [9] Burke FJT. Longevity of indirect and direct restorations in anterior teeth[J]. *Prim Dent J*, 2023, 12(2): 76-84.
- [10] Demarco FF, Collares K, Coelho-De-souza FH, et al. Anterior composite restorations: a systematic review on long-term survival and reasons for failure[J]. *Dent Mater*, 2015, 31(10): 1214-1224.
- [11] Lempel E, Lovász BV, Meszarics R, et al. Direct resin composite restorations for fractured maxillary teeth and diastema closure: a 7 years retrospective evaluation of survival and influencing factors[J]. *Dent Mater*, 2017, 33(4): 467-476.
- [12] Vural UK, Kiremitçi A, Gökalp S. Clinical performance and epidemiologic aspects of fractured anterior teeth restored with a composite resin: a two-year clinical study [J]. *J Prosthodont*, 2019, 28(1): e204-e209.
- [13] Lima VP, Crins LAMJ, Opdam NJM, et al. Deterioration of anterior resin composite restorations in moderate to severe tooth wear patients: 3-year results[J]. *Clin Oral Invest*, 2022, 26(12): 6925-6939.
- [14] Aljehani W, Almakinah A, Alshahri A, et al. Microleakage among different dental restorative materials: causes, detection, and impact on marginal integrity[J]. *J Health Sci*, 2023, 3(11): 489-497.
- [15] Ferdeghini R. Pulp damage following composite resins use[J]. *Dent Cadmos*, 2007, 75: 101-111.
- [16] Dionysopoulos D, Gerasimidou O. Wear of contemporary dental composite resin restorations: a literature review[J]. *Restor Dent Endod*, 2021, 46(2): e18.
- [17] Rathi SD, Nikhade P, Chandak M, et al. Microleakage in composite resin restoration—A review article[J]. *Jemds*, 2020, 9(12): 1006-1011.
- [18] Albeshir EG, Alshahafi R, Albluwi R, et al. Low-shrinkage resin matrices in restorative dentistry—narrative review[J]. *Materials*, 2022, 15(8): 2951.
- [19] 中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会. 复合树脂直接粘接修复操作规范的专家共识[J]. 中华口腔医学杂志, 2019, 54(9): 618-622.  
Society of Cariology and Endodontology, Chinese Stomatological Association. Consensus recommendations from Chinese experts on the standard operational procedure for direct restorations using adhesive composite resins[J]. *Chin J Stomatol*, 2019, 54(9): 618-622.
- [20] Korkut B, Türkmen C. Longevity of direct diastema closure and recontouring restorations with resin composites in maxillary anterior teeth: a 4-year clinical evaluation

- [J]. *J Esthet Restor Dent*, 2021, 33(4): 590-604.
- [21] Hegde S, Madhyastha P, Srikant N, et al. Effect of finishing/polishing techniques and time on surface roughness of esthetic restorative materials[J]. *Dent Res J (Isfahan)*, 2017, 14(5): 326-330.
- [22] Lyapina M, Cekova M, Krasteva A, et al. Physical properties of nanocomposites in relation to their advantages [J]. *J IMAB*, 2016, 22(1): 1056-1062.
- [23] Hamouda IM. Evaluation the mechanical properties of nanofilled composite resin restorative material[J]. *J Biomater Nanobiotech*, 2012, 3(2): 238-242.
- [24] Rajagopal S, Sharma S. Comparative evaluation of marginal leakage of various bevel designs using direct composite restoration in fractured anterior teeth: an *in vitro* study[J]. *Cureus*, 2024, 16(3): e56860.
- [25] 邹慧儒, 王雅南, 张洪杰, 等. 橡皮障技术在口腔临床中的应用状况[J]. *中华口腔医学杂志*, 2016, 51(2): 119-123.
- Zou HR, Wang YN, Zhang HJ, et al. An overview on rubber dam application in dental treatments[J]. *Chin J Stomatol*, 2016, 51(2): 119-123.
- [26] Bourbia M, Ma D, Cvitkovitch DG, et al. Cariogenic bacteria degrade dental resin composites and adhesives [J]. *J Dent Res*, 2013, 92(11): 989-994.
- [27] 凌均荣, 欧阳勇, 韦曦. 复合树脂粘接修复技术规范与效果评价[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2008, 1(7): 409-412.
- Ling JQ, Ouyang Y, Wei X. Standards and effect evaluation of composite adhesive technique[J]. *Chin J Pract Stomatol*, 2008, 1(7): 409-412.
- [28] Vieira BR, Dantas ELA, Cavalcanti YW, et al. Comparison of self-etching adhesives and etch-and-rinse adhesives on the failure rate of posterior composite resin restorations: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Eur J Dent*, 2022, 16(2): 258-265.
- [29] Heintze SD, Rousson V, Hickel R. Clinical effectiveness of direct anterior restorations: a Meta-analysis[J]. *Dent Mater*, 2015, 31(5): 481-495.
- [30] 沈嵩, 高学军. 复合树脂直接粘接修复IV. 前牙直接粘接修复[J]. *中华口腔医学杂志*, 2008, 43(9): 568-570.
- Shen S, Gao XJ. Direct restoration with composite resin IV. Direct anterior restoration[J]. *Chin J Stomatol*, 2008, 43(9): 568-570.
- [31] 冯杭都, 陈建治. 不同表面处理方式影响牙骨质粘接效果的研究进展[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2023, 24(3): 229-234.
- Feng HD, Chen JZ. Research progress in the effect of different surface treatment methods on cementum bonding[J]. *Chin J Prosthodont*, 2023, 24(3): 229-234.
- [32] Yuan Y, Shimada Y, Ichinose S, et al. Hybridization quality in cervical cementum and superficial dentin using current adhesives[J]. *Dent Mater*, 2008, 24(5): 584-593.
- [33] Andermatt L, Özcan M. Micro-shear bond strength of resin composite cement to coronal enamel/dentin, cervical enamel, cementoenamel junction and root cementum with different adhesive systems[J]. *J Adhesion Sci Technol*, 2021, 35(19): 2079-2093.
- [34] Rudrapati L, Chandrasekhar V, Badami V, et al. Incremental techniques in direct composite restoration[J]. *J Conserv Dent*, 2017, 20(6): 386-391.
- [35] Dietschi D. Layering concepts in anterior composite restorations[J]. *J Adhes Dent*, 2001, 3(1): 71-80.
- [36] Dietschi D, Fahl N Jr. Shading concepts and layering techniques to master direct anterior composite restorations: an update[J]. *Br Dent J*, 2016, 221(12): 765-771.
- [37] Santos M, Fidalgo-Pereira R, Torres O, et al. The impact of inorganic fillers, organic content, and polymerization mode on the degree of conversion of monomers in resin-matrix cements for restorative dentistry: a scoping review[J]. *Clin Oral Invest*, 2024, 28(8): 454.
- [38] Ernst CP, Brand N, Frommator U, et al. Reduction of polymerization shrinkage stress and marginal microleakage using soft-start polymerization[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2003, 15(2): 93-104.
- [39] 中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会. 复合树脂直接粘接修复中光固化灯使用及操作规范的专家共识[J]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2019, 13(1): 1-6.
- Society of Cariology and Endodontology, Chinese Stomatological Association. Consensus recommendations from Chinese experts on the standard operation procedure of curing light in direct composite resin adhesive restorations[J]. *Chin J Stomatol Res (Electron Ed)*, 2019, 13(1): 1-6.
- [40] Soares CJ, Braga SSL, Ribeiro MTH, et al. Effect of infection control barriers on the light output from a multi-peak light curing unit[J]. *J Dent*, 2020, 103: 103503.
- [41] Chowdhury D, Mukherjee S, Maity I, et al. Surface roughness and microhardness evaluation of composite resin restorations subjected to three different polishing

- systems immediately and after 24 h: an *in vitro* study[J]. *J Conserv Dent Endod*, 2023, 26(6): 639-645.
- [42] Baroudi K, Kaminedi R, Penumatsa N, et al. The influence of finishing/polishing time and cooling system on surface roughness and microhardness of two different types of composite resin restorations[J]. *J Int Soc Prevent Communit Dent*, 2014, 4(Suppl 2): S99-S104.
- [43] Collares K, Opdam NJM, Laske M, et al. Longevity of anterior composite restorations in a general dental practice-based network[J]. *J Dent Res*, 2017, 96(10): 1092-1099.
- [44] Korkut B, Özcan M. Longevity of direct resin composite restorations in maxillary anterior crown fractures: a 4-year clinical evaluation[J]. *Oper Dent*, 2022, 47(2): 138-148.
- [45] Aziz IM, Locke M. Success and survival of composite resin restorations for the management of localized anterior tooth wear: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 2024, 32(4): 403-414.
- [46] El-Rashidy AA, Abdelraouf RM, Habib NA. Effect of two artificial aging protocols on color and gloss of single-shade versus multi-shade resin composites[J]. *BMC Oral Heal*, 2022, 22: 321.
- [47] Sekundo C, Frese C, Frankenberger R, et al. Direct composite restorations on permanent teeth in the anterior and posterior region—An evidence-based clinical practice guideline—Part 2: recommendations for composite processing[J]. *J Adhes Dent*, 2024, 26: 201-212.
- [48] 麦穗, 韦曦, 凌均荣. 复合树脂充填材料的研发策略和进展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2021, 56(1): 51-56.
- Mai S, Wei X, Ling JQ. Development strategies and progress of composite resin filling material[J]. *Chin J Stomatol*, 2021, 56(1): 51-56.
- [49] 薛晶. 流动树脂注射充填技术的临床应用[J]. *国际口腔医学杂志*, 2024, 51(6): 653-661.
- Xue J. Clinical applications of flowable composite injection technique[J]. *Int J Stomatol*, 2024, 51(6): 653-661.
- [50] Shaalan O, Abou-Auf E, El Zoghby A. Clinical evaluation of flowable resin composite versus conventional resin composite in carious and noncarious lesions: systematic review and Meta-analysis[J]. *J Conserv Dent*, 2017, 20(6): 380-385.
- [51] Szesz A, Parreiras S, Martini E, et al. Effect of flowable composites on the clinical performance of non-carious cervical lesions: a systematic review and Meta-analysis [J]. *J Dent*, 2017, 65: 11-21.
- [52] Boruziniat A, Gharaee S, Sarraf Shirazi A, et al. Evaluation of the efficacy of flowable composite as lining material on microleakage of composite resin restorations: a systematic review and meta-analysis[J]. *Quintessence Int*, 2016, 47(2): 93-101.
- [53] Krajangta N, Leeraponglit S, Paaopanchon C, et al. Evaluation of proximal contact tightness in anterior resin composite restorations: a comparative *in vitro* study of injectable, flowable, and universal composites[J]. *J Int Soc Prev Community Dent*, 2025, 15(2): 144-154.
- [54] 薛晶. 大块充填树脂的临床应用影响因素[J]. *华西口腔医学杂志*, 2020, 38(3): 237-243.
- Xue J. Factors influencing clinical application of bulk-fill composite resin[J]. *West China J Stomatol*, 2020, 38(3): 237-243.
- [55] Furness A, Tadros MY, Looney SW, et al. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites[J]. *J Dent*, 2014, 42(4): 439-449.
- [56] Barutcigil Ç, Barutcigil K, Özarslan MM, et al. Color of bulk-fill composite resin restorative materials[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2018, 30(2): e3-e8.
- [57] Signore A, Solimei L, Arakelyan M, et al. A 24-month randomized clinical study of flowable bulk-fill resin composites in Class III restorations[J]. *J Clin Exp Dent*, 2024: e111-e123.
- [58] Chen C, Liu JC, Sun F, et al. Tuning the surface microstructure and gradient properties of polymers with photopolymerizable polysiloxane-modified nanogels[J]. *RSC Adv*, 2014, 4(55): 28928-28936.
- [59] Navarro R, Bierbrauer K, Mijangos C, et al. Modification of poly (vinyl chloride) with new aromatic thiol compounds. Synthesis and characterization[J]. *Polym Degrad Stab*, 2008, 93(3): 585-591.
- [60] Torres CRG, Zanatta RF. Composite restoration on anterior teeth[M]//Textbooks in Contemporary Dentistry. Cham: Springer International Publishing, 2019: 465-575.
- [61] Ghivari S, Chandak M, Manvar N. Role of oxygen inhibited layer on shear bond strength of composites[J]. *J Conserv Dent*, 2010, 13(1): 39-41.
- [62] 郭亚丽, 董金凤, 徐红艳. 表面封闭剂对树脂充填体边缘微渗漏的影响[J]. *牙体牙髓牙周病学杂志*, 2013, 23(2): 104-106.
- Guo YL, Dong JF, Xu HY. Effects of surface sealant on the marginal micro-leakage of composite resin restora-

- tions[J]. Chin J Conservative Dent, 2013, 23(2): 104-106.
- [63] Etiennot L, Ordies M, Yao C, et al. Effective 10-MDP bonding to saliva-contaminated dentin[J]. J Adhes Dent, 2025, 27: 65-74.
- [64] Mokeem LS, Garcia IM, Melo MA. Degradation and failure phenomena at the dentin bonding interface[J]. Biomedicines, 2023, 11(5): 1256.
- [65] 姚淳, 马艳红, 齐忆虹, 等. 酸蚀、喷砂及Er:YAG激光处理恒牙釉质表面的临床研究[J]. 中国医药科学, 2024, 14(16): 164-167.
- Yao C, Ma YH, Qi YH, et al. Clinical study on treatment of permanent enamel surface by acid etching, sandblasting and Er:YAG laser[J]. China Med Pharm, 2024, 14(16): 164-167.
- [66] 陈敏乐, 丁江峰, 江千舟, 等. Er:YAG激光在口腔医学中的应用[J]. 国际口腔医学杂志, 2012, 39(6): 797-800.
- Chen ML, Ding JF, Jiang QZ, et al. The applications of Er:YAG laser in oral science[J]. Int J Stomatol, 2012, 39(6): 797-800.
- [67] Shui YS, Wu JC, Luo T, et al. Three dimensionally printed template with an interproximal isolation design guide consecutive closure of multiple diastema with injectable resin composite[J]. J Esthet Restor Dent, 2024, 36(10): 1381-1387.
- [68] 高一. 数字化技术引导前牙复合树脂分层修复的研究[D]. 成都: 四川大学, 2021.
- Gao Y. Digitally guided composite resin layered restorations of anterior teeth[D]. Chengdu: Sichuan University, 2021.
- [69] 张海英, 陈旖婷, 侯本祥. 数字化技术辅助复合树脂直接粘接修复上颌中切牙冠折1例[J]. 中华口腔医学杂志, 2025, 60(4): 413-416.
- Zhang HY, Chen YT, Hou BX. Esthetic restoration of maxillary central incisor crown fracture with composite resin direct bonding assisted by digital technology[J]. Chin J Stomatol, 2025, 60(4): 413-416.
- [70] 李依玲, 邹丽, 陈红梅, 等. 基于数字化美学设计的流动树脂注射充填修复技术[J]. 华西口腔医学杂志, 2025, 43(2): 289-296.
- Li YL, Zou L, Chen HM, et al. Digital aesthetic-driven flowable resin injection restoration[J]. West China J Stomatol, 2025, 43(2): 289-296.
- [71] Liaropoulou YM, Jiménez AK, Chierico F, et al. The multilayer flowable injection technique for highly esthetic restorations[J]. J Esthet Restor Dent, 2025, 37(10): 2161-2170.
- [72] 高一, 高原, 李继遥, 等. 数字化回切法辅助前牙缺损复合树脂美学修复1例[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 2025, 30(5): 278-281.
- Gao Y, Gao Y, Li JY, et al. Digital cutback technique assisted aesthetic restoration of anterior tooth defect with composite resin: a case report[J]. Chin J Conservative Dent, 2025, 30(5): 278-281.
- [73] Chen L, Lin WS, Polido WD, et al. Accuracy, reproducibility, and dimensional stability of additively manufactured surgical templates[J]. J Prosthet Dent, 2019, 122(3): 309-314.
- [74] Manauta J, Almeida G, Kovacs-Vajna ZM, et al. Precision layering techniques: integrating digital tools for accurate color matching and realistic try-ins in anterior composite restorations[J]. J Esthet Restor Dent, 2024, 36(12): 1638-1650.
- [75] Murchie B, Jiwan N, Edwards D. What are the success rates of anterior restorations used in localised wear cases?[J]. Evid Based Dent, 2025, 26(1): 54-56.

### · 专家简介 ·



韦曦, 教授、主任医师、博士生导师, 中山大学附属口腔医院牙体牙髓病科主任, 中华口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会副主任委员, 广东省口腔医学会牙体牙髓病学专业委员会主任委员。主要从事牙体牙髓疾病的临床防治及研究, 发表学术论文200余篇, 其中第一或通讯作者SCI论文70余篇。主编、副主编专著7部, 参编教材专著8部。主持国家自然科学基金7项, 获省部级科技进步奖7项, 省级教学成果一等奖3项。

(本文编辑 李彩)