

# 老化树脂表面处理方式的研究进展

李泽琴<sup>1,2</sup> 综述, 吕长海<sup>1</sup> 审校

(1.昆明医科大学附属口腔医院儿童口腔科 云南 昆明 650000; 2.安宁市第一人民医院口腔科 云南 昆明 650300)

**[摘要]**复合树脂自出现以来,因其较佳的理化性能,已逐步替代银汞合金,成为临床修复牙体缺损最常用的材料。但随着使用年限的增加,复合树脂充填体发生边缘微渗漏、继发龋、修复体折断、磨损、变色等修复失败的病例也会逐步增加。保留部分原充填体,通过对旧充填体老化树脂的表面进行处理,来增加新旧树脂间结合力的再充填治疗术,是一种微创且经济的再修复治疗方式。目前众多的体外相关实验室研究中,对采用何种方式进行老化树脂表面处理,能更有效增加新旧树脂间的结合力,仍未达成共识。本文就临床常用的几种老化树脂的表面处理方式总结,以期开展后续的相关研究提供帮助。

**[关键词]**复合树脂;再充填治疗术;老化树脂;表面处理;新旧树脂结合

**[中图分类号]**R783.1 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1008-6455(2025)02-0193-05

## Research Progress on Surface Treatment Methods of Aging Resin

LI Zeqin<sup>1,2</sup>, LYU Changhai<sup>1</sup>

(1.Department of Pediatric Dentistry, Affiliated Stomatological Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650000, Yunnan, China; 2.Department of Stomatology, Anning First People's Hospital, Kunming 650300, Yunnan, China)

**Abstract:** Since the emergence of composite resin, it has gradually replaced silver amalgam and become the most commonly used material for clinical restoration of tooth defects because of its better physical and chemical properties. However, with the increase of service life, the cases of composite resin filling such as marginal microleakage, secondary caries, restoration fracture, wear, discoloration and other restoration failures, will also increase one by one. It is a minimally invasive and economical method to retain part of the original filling body and increase the adhesion between the resins by treating the surface of the aged resin of the old filling body. In the current in vitro related laboratory research, there is still no consensus on which method to use for aging resin surface treatment can increase the binding force between the old and new resins. This paper will summarize the surface treatment methods of several aging resins commonly used in clinic, in order to provide some help for the follow-up research.

**Key words:** composite resin; refilling therapy; aged resin; surface treatment; combination of new and old resin

复合树脂因其具有良好的理化性能,易于充填、美学性能好等优点<sup>[1]</sup>,在临床治疗中应用越来越广泛,已逐步成为充填修复前、后牙牙体缺损类疾病的首选材料。然而,治疗后的树脂充填体由于持续暴露在复杂的口腔环境中,长期受到咀嚼压力,酸性物质的腐蚀、水解、温度的剧烈变化等各种因素影响,会出现树脂充填体变色、边缘微渗漏等问题,进一步导致继发龋、修复体折断等失败案例的发生<sup>[2]</sup>。同时,随着大众对美学要求的逐步提高,要求进行树脂更换的病例也日益增多。据统计,临床上各类治疗中约60%与失败的修复体再治疗有关<sup>[3]</sup>。修复体再治疗常规操作的要求是彻底去除原树脂充填体,并做适当的扩展,去除原粘接处理过的部分牙体组织,暴露新鲜牙体。此时,必然伴随着过多的健康牙体组织被去除,并对牙髓造成二次激惹,增加了椅旁操作时间。因此,适当保留部

分原树脂修复体进行的再充填治疗,目前被认为是一种微创且经济的替代方案<sup>[4-5]</sup>。

保留部分原树脂充填体进行再修复治疗,成功的关键在于新旧树脂间能否形成可靠的结合。复合树脂长期暴露在口腔中,受到咀嚼运动、口腔环境、pH值变化以及食品、饮料、微生物等影响,发生化学和机械降解<sup>[6]</sup>,导致新旧树脂间的结合力下降,因此要想获得良好的结合,需要对旧充填体表面进行处理,以获得良好结合力。研究表明,新旧树脂的结合可能涉及以下三种机制<sup>[7]</sup>:①通过旧充填体基质中残留的C=C键与新树脂产生共聚反应;②通过偶联剂与暴露在基质上的填料颗粒进行化学结合;③基质表面的微机械固位力。因此,大量不同的研究拟通过对旧充填体表面进行一定处理,提高修复体表面润湿性,增加微机械固位力,以期获得良好的粘接强度。然而,到目前

通信作者:吕长海,科主任、副教授;研究方向为龋病、牙髓根尖周病、牙外伤等儿童各类常见口腔疾患,以及儿童行为管理、全身麻醉下口腔疾病的治疗。E-mail: wslch@126.com

第一作者:李泽琴,主治医师;研究方向为恒牙及乳牙龋病、牙髓根尖周病等口腔疾患。E-mail: 1562877424@qq.com

为止对于采用何种方案对老化树脂表面处理能获得更好的结合力, 此类研究的结果仍未达成共识。本文将对临床常用的几种老化树脂的表面处理方式总结, 以期开展后续的相关研究给予一定的帮助。

## 1 机械处理

老化树脂表面的微机械固位力是获得可靠粘接的关键机制之一, 微机械固位力的获得依靠树脂表面的机械处理。机械处理可有效去除表层树脂, 增加旧充填体表面, 从而形成一个能与新树脂产生机械连锁的微表面<sup>[8]</sup>。常用的机械处理方式包括金刚砂车针打磨、喷砂、酸蚀及激光处理等。

**1.1 金刚砂车针打磨:** 金刚砂车针打磨旨在去除龋坏牙体组织、变色充填体、清除暴露在口腔中的表层树脂。打磨后的复合树脂表面不平整, 有凹坑、凹槽、磨痕、气孔及突出的填料颗粒等<sup>[9]</sup>, 增加了老化树脂表面的粗糙度及表面积, 为机械嵌合提供了可能性, 可增加新旧树脂间的结合强度<sup>[10]</sup>。然而一般的复合树脂由于其粘度高、流动性较差, 无法有效渗透至打磨后形成的微缺陷中。而粘接剂具有低粘度, 有更强的渗透性及表面润湿性, 可渗透入微缺陷内, 提供更好的微机械保持力。因此, 粘接剂与金刚砂车针打磨联合使用, 能更大程度地增加新旧树脂间结合强度<sup>[8]</sup>。金刚砂车针的粒度影响其切削效率, 以及从复合树脂表面去除材料的能力, 粒度不同形成的树脂表面粗糙度也不同。打磨后的表面并非越粗糙越好, 表面粗糙度与粘接强度间尚未建立一致的相关性。Valente LL等<sup>[11]</sup>用不同粗细的金刚砂车针对老化树脂表面进行打磨处理, 发现粒径较大(91~126 μm)的金刚砂车针打磨后的树脂表面最粗糙, 但与粒径分别为46 μm及30 μm的相比, 树脂间的粘接强度最小, 可能与粗糙度过大, 遗留粘接剂与老化树脂表面未充分渗透的区域, 导致粘接强度降低。Wendler M等<sup>[10]</sup>分别用红标(粒度27~76 μm)及蓝标(粒度64~126 μm)金刚砂车针处理老化树脂表面, 结果显示蓝标处理过的表面粗糙度高, 且粘接强度更大。也有研究显示<sup>[12]</sup>, 不同粒度的金刚砂车针打磨, 其微拉伸强度无显著性差异, 表明即使粗糙度不同, 其微观保留模式也相似。关于金刚砂车针粒度的这些相互矛盾的发现可能与使用具有不同流动特性的粘接剂有关。此外, 有研究显示, 金刚砂车针打磨后的树脂表面形成一层涂膜层, 可能对粘接强度产生负面影响<sup>[13]</sup>。与磷酸联合使用, 可有效去除表面涂膜层, 增加表面积, 提高修复粘接强度<sup>[14]</sup>。综上所述, 金刚砂车针打磨与其他表面处理方式联合使用, 将有效增加修复体表面润湿性, 增加微机械固位力, 产生更大的修复粘接强度。

**1.2 表面喷砂:** 表面喷砂可通过单独的氧化铝颗粒或用二氧化硅涂布的氧化铝颗粒(表面二氧化硅涂层)来实现。氧化铝喷砂是利用高速氧化铝颗粒流的冲击作用清理和粗化修复体表面, 采用压缩空气为动力, 以形成高速喷射束

将氧化铝颗粒高速喷射到修复体表面, 使修复体表面获得一定的清洁和粗糙度, 增加其与粘接剂的附着力, 提高修复粘接强度<sup>[15]</sup>。喷砂后的树脂表面不规则, 带有凹坑、裂缝、凹槽、外露填料和弥散分布的颗粒材料, 具有微观保留特征<sup>[10, 16]</sup>, 与粘接剂联合使用可以增加粘接剂的润湿性。有研究显示<sup>[10]</sup>, 氧化铝喷砂与金刚砂打磨相比, 形成的表面更均匀, 产生的总粘接面积大于金刚砂打磨。进行氧化铝喷砂时, 涉及颗粒尺寸、空气压力、时间、喷砂距离等。氧化铝喷砂通常选用25~50 μm的氧化铝粉末, 施加的空气压力范围为1.5~6 bar, 粒径及空气压力一般可选择并进行精确调整, 但控制喷砂距离具有一定的困难。有研究比较了氧化铝喷砂时不同工作距离对修复粘接强度的影响, 结果显示不同喷砂距离(1 mm、5 mm、10 mm、15 mm)下, 新旧树脂间粘接强度无显著差别<sup>[17]</sup>。

二氧化硅涂层, 是利用溶胶-凝胶技术获得二氧化硅涂布的氧化铝颗粒, 对修复体表面进行喷砂处理, 常用110 μm或30 μm的颗粒, 其中椅旁选用30 μm颗粒。随后使用硅烷偶联剂和粘接剂, 统称为摩擦化学二氧化硅涂层<sup>[18]</sup>。与直接氧化铝喷砂相比, 表面二氧化硅涂层可增加树脂表面的粗糙度来降低水接触角, 同时增加表面暴露的硅百分比, 形成粗糙、富含二氧化硅的表面, 之后涂布硅烷偶联剂, 硅烷偶联剂可有效吸附到SiO<sub>2</sub>颗粒上, 并促进粗糙表面的湿润, 与新的复合材料结合<sup>[19]</sup>。目前常用的有CoJet系统, 包括30 μm二氧化硅涂布的氧化铝喷砂、Espe-Sil硅烷、Visio-bond粘接剂。有研究显示<sup>[20]</sup>, 对老化树脂表面进行摩擦二氧化硅涂层, 显示出与单独氧化铝喷砂相当或更好的修复粘接强度。但也有结果表明, 与50 μm的颗粒相比, 二氧化硅涂层中30 μm颗粒的粒径更小, 对树脂表面的磨损小, 即使与硅烷偶联剂联合使用, 其修复粘接强度小于50 μm氧化铝喷砂, 表明喷砂后的结合强度取决于形成的微表面。喷砂的主要缺点是细磨粒的气溶胶会污染环境, 并且可能对患者和操作人员有害。因此, 在操作时可通过特殊的预防措施, 如橡皮障及强吸等来减少此类危害的发生。

## 1.3 酸蚀

**1.3.1 磷酸:** 临床进行牙体粘接时, 通常对牙釉质或牙本质进行磷酸酸蚀, 提高微机械固位力, 进一步增加粘接强度, 同样也有研究希望通过对老化树脂表面进行酸蚀来增加粘接强度。Wendler M等<sup>[10]</sup>发现磷酸酸蚀老化树脂, 其表面粗糙度没有显著影响; 然而酸蚀有助于去除老化树脂表面的碎屑, 暴露填料颗粒, 增加树脂的表面积和润湿性<sup>[13]</sup>。如果与金刚砂车针打磨联合使用, 可有效去除打磨后表面形成的碎屑, 产生更具固位力的粗糙表面, 进一步提高新旧树脂间的结合<sup>[14]</sup>, 与硅烷偶联剂联合使用可引发偶联剂与二氧化硅之间的反应, 增加修复粘接强度<sup>[14]</sup>。然而仅磷酸酸蚀, 新旧树脂间修复粘接强度不会显著增加<sup>[21]</sup>。Jafarzadeh Kashi TS等<sup>[22]</sup>研究显示, 老化树脂



表面经磷酸酸蚀后粘接强度降低,但高于未处理组。综上,磷酸的使用对树脂结合未见负面影响,因此,再充填治疗时可对树脂表面进行磷酸酸蚀,若存在暴露的新鲜釉质,也可进一步增加粘接剂与牙体组织间的粘接强度。

**1.3.2 氢氟酸:**氢氟酸是一种强酸,可酸蚀无定形的二氧化硅、石英或玻璃,通常用于酸蚀陶瓷修复体,来改善其性能。大量研究发现,将其应用于树脂表面后,氢氟酸能分解 $\text{SiO}_2$ 中的 $\text{Si-O}$ 键,部分溶解复合树脂的玻璃颗粒,去除老化树脂表面的污染层及外露的填料颗粒,进而增加树脂表面粗糙度,提高修复粘接强度<sup>[23]</sup>。氢氟酸的效果与自身浓度、酸蚀时间以及复合树脂无机填料的组成百分比、大小和类型有关<sup>[24]</sup>,浓度越高,酸蚀时间越长,表面越粗糙,越多的填料颗粒被溶解或去除,但此时酸蚀后的树脂表面仅有树脂单体组成,这种结构较脆弱,可能无法为新树脂提供足够的支撑,对修复粘接强度产生影响,因此酸蚀后的表面粗糙度并非越粗糙越好。一般选择4%~10%的氢氟酸进行酸蚀,效果相对较好。Ayar MK等<sup>[23]</sup>发现,用10%氢氟酸酸蚀老化树脂20 s,其表面粗糙度增加,与粘接剂联合使用,粘接强度显著增强。也有研究发现<sup>[25]</sup>,用10%氢氟酸酸蚀60 s效果更佳。这种差异可能与不同种类复合树脂的组成、结构等有关。树脂填料中的氧化锆或石英对氢氟酸有较强的抵抗力,经氢氟酸酸蚀后其表面变化不明显,此时可适当增加酸蚀时间。氢氟酸存在酸烧伤及软组织坏死的风险,因此在使用时要注意防护。

**1.4 激光:**近年来,激光应用对复合树脂修复粘接强度的影响越来越受到人们的关注。包括Er:YAG、Er,Cr:YSGG、Nd:YAG和 $\text{CO}_2$ 激光,激光作用于树脂表面,通过材料表面的微爆炸,导致宏观和微观不规则,以宏观不规则为主<sup>[26]</sup>,复合树脂的单体首先被磨损,随后填料颗粒被释放,表面形成点状凹陷,且表面无碎屑,增加微机械固位<sup>[14]</sup>。Alizadeh Oskoei P等<sup>[27]</sup>比较了Er,Cr:YSGG、Nd:YAG、 $\text{CO}_2$ 三种激光处理后新旧树脂间的粘接强度,电镜下发现Er,Cr:YSGG处理后的表面呈现微孔状及不规则的形貌,其余两种显示出烧灼区域及表面粗糙度的增加,Er,Cr:YSGG处理后的树脂显示出最高的粘接强度,而其余两组与未处理组粘接强度无显著性差异。Dursun MN等<sup>[28]</sup>分别模拟了复合树脂在体内使用1年、3年、5年的老化情况,电镜下发现,模拟3年、5年临床使用期限的复合树脂经Er,Cr:YSGG激光表面处理后,试样表面观察到裂纹,对树脂间的结合造成影响,表明树脂的老化程度影响树脂粘接强度。同时,激光的能量和功率也影响粘接强度,功率越大,破坏越大,导致填料和基体分离,复合树脂块内产生裂隙,从而对粘接强度产生负面影响<sup>[29]</sup>。除了老化时间及功率参数外,复合树脂的化学成分和结构对激光烧蚀的体积和深度也有影响,当复合树脂具有更高的填充基体键能和内聚力时,更能抵抗激光烧蚀。

## 2 化学结合

新旧树脂结合除了机械嵌合,还需要形成一定的化学结合。通过增加老化树脂表面润湿性,与老化树脂表面暴露的填料颗粒及新复合树脂化学反应形成强化学键以增加结合强度。常用的化学处理方式有硅烷偶联剂和粘接剂。

**2.1 硅烷偶联剂:**硅烷偶联剂含有两个主要官能团<sup>[30]</sup>,包括与二氧化硅结合的硅醇以及与甲基丙烯酸酯聚合的有机官能团。分别通过与树脂表面暴露的二氧化硅颗粒作用形成共价键,并且与甲基丙烯酸酯基团聚合,增加树脂间的结合强度。同时,硅烷偶联剂还可增加老化树脂表面的润湿性,促进粘接剂扩散,因此在粘接剂前使用硅烷偶联剂可有效提高粘接强度<sup>[31]</sup>,但单独使用无法提供足够的粘接强度<sup>[32]</sup>。有时临床上使用含有硅烷的通用型粘接剂来简化方案。有研究发现<sup>[33]</sup>,单独使用含硅烷的通用型粘接剂与分别使用硅烷偶联剂和粘接剂,粘接强度无显著性差异。但是若粘接剂的pH值较低,硅烷偶联剂将发生水解和脱水缩合,导致通用型粘接剂中的硅烷存在长期的不稳定性<sup>[34]</sup>。因此,有研究<sup>[35]</sup>建议单独的硅烷偶联剂与含硅烷的通用型粘接剂联合使用将产生更大的粘接强度。同时,含硅烷的通用型粘接剂所含的酸性单体10-甲基丙烯酰氧基二氢磷酸酯(10-MDP)可与牙体组织中的钙以及修复体中的氧化物,如 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 等化学结合,从而使粘接界面更耐生物降解<sup>[36]</sup>,提高修复粘接强度。也有文献显示<sup>[19]</sup>,硅烷偶联剂的作用效果与树脂填料颗粒的成分、含量、尺寸等有关,硅烷偶联剂可与二氧化硅形成强结合,而与钡玻璃等较难形成可靠的化学结合。此外,部分纳米复合树脂当填料颗粒暴露不足时,无法与硅烷偶联剂充分作用,影响粘接强度。综上,硅烷偶联剂对于新旧树脂间修复粘接强度可产生积极影响,复合树脂的组成在其中起着关键作用。

**2.2 粘接剂:**粘接剂的使用被证明可以显著提高新旧树脂间的粘接强度<sup>[19]</sup>。粘接剂中的单体成分可通过改变树脂表面张力来润湿老化树脂,从而深入到表面粗糙后形成的凹坑、凹槽及孔隙中,提高微机械保持力,同时形成新的氧抑制层,在光固化时与单体发生化学结合<sup>[9]</sup>。粘接系统与老化树脂结合的能力取决于其化学亲和力及复合树脂的亲水性。树脂表面呈疏水性,但在使用过程中吸收一部分水,粘接剂中含有的亲水性单体羟乙基甲基丙烯酸酯(HEMA),能够渗透到含有水的复合材料中,增加树脂表面润湿性,并在光固化时与单体发生化学键合<sup>[37]</sup>。此外,自酸蚀粘接剂中一般含有酸性单体10-MDP,10-MDP是一种功能性单体,可有效提高树脂表面润湿性,增加修复粘接强度。单体不同导致不同粘接系统对树脂间粘接强度存在一定差异。Irmak O等<sup>[38]</sup>发现两步法全酸蚀、两步法自酸蚀粘接剂作用于老化树脂表面,粘接强度明显优于一步法自酸蚀粘接剂。使用全酸蚀粘接系统时,酸蚀有助于去除树脂表面的碎屑,暴露填料颗粒,将提高老化树脂的表面积和润湿性;对于自酸蚀系统,系统

中的酸性单体可达到类似的效果, 两步法自酸蚀粘接剂作用过程中, 涉及亲水性的处理剂先作用于树脂表面, 再覆盖一层疏水性的粘接树脂, 而一步法自酸蚀粘接剂更具亲水性, 不存在单独的粘接剂层, 可能对粘接强度产生负面影响, 同时由于其亲水性过大, 在老化过程中, 粘接剂易水解, 影响使用年限, 而三步法全酸蚀和两步法自酸蚀粘接剂由于增加了额外的疏水性粘接树脂, 其耐久性更好<sup>[39]</sup>。此外, 粘接层的厚度可影响粘接强度, 增加粘结层的厚度可能会由于溶剂蒸发不良而降低粘接强度<sup>[31]</sup>。综上所述, 不管哪种粘接系统, 粘接剂的使用均能增加新旧树脂间的结合强度, 从水解稳定性及远期使用年限来看, 似乎三步法全酸蚀及两步法自酸蚀粘接剂的效果更好。

目前, 对于老化树脂表面处理常采用机械处理与化学处理相结合, 发挥协同作用。机械处理可增加树脂表面粗糙度, 为粘接剂的渗入提供微机械表面, 酸蚀剂有助于去除树脂表面碎屑及涂膜层, 增加树脂表面积, 同时硅烷偶联剂与粘接剂联合使用可促进粘接剂的扩散, 提高树脂表面润湿性, 以上处理方式联合使用将显著增加修复粘接强度<sup>[40]</sup>。临床上也进行了大量的研究, 如: 金刚砂车针打磨与粘接剂联合使用<sup>[8]</sup>; 氧化铝喷砂或二氧化硅涂层与硅烷偶联剂和粘接剂联合使用<sup>[17]</sup>; Er:YAG激光与粘接剂联合使用等<sup>[27]</sup>。化学处理方式中, 通用型粘接剂由于含有硅烷及酸性单体10-MDP, 相对于自酸蚀或全酸蚀粘接剂, 显示出更好的粘接强度<sup>[41]</sup>, 因此在临床中广泛使用。相同条件下, 何种机械处理方式产生的粘接强度最大, 尚无统一的观点, 可能与复合树脂的组成、表面涂膜层和微观结构、老化时间和方案等有关。总之, 无论采用何种机械和化学处理方法, 与单独使用相比, 两者联合使用将产生更大的修复粘接强度。

### 3 小结

虽然大量的研究证实, 不同的表面处理能一定程度上提高新旧树脂间的结合强度。但目前对于老化树脂表面处理方式仍没有相对统一的标准, 新旧树脂间结合的能力, 不仅与表面处理方式有关, 还受老化方法、时间及复合树脂组成等多种因素的影响<sup>[19]</sup>, 因此, 为了获得临床上最佳的修复效果, 还需要充分了解树脂的组成。有研究发现<sup>[42]</sup>, 使用相同的复合树脂进行再修复治疗效果较好, 但在临床上再修复治疗时往往并不清楚原老化树脂的组成。Lemos CA等<sup>[43]</sup>的研究显示, 新旧树脂组成的不同, 对修复粘接强度无显著影响, 认为树脂间的粘接力更多取决于微机械保持力及化学结合。但此类研究仅局限于某几类树脂, 且老化方法、表面处理方式等不同, 无法代表所有的商用复合树脂。因此, 目前临床上尚没有一种表面处理方式可以推荐为普遍适用的修复技术。同时, 对于复合树脂微观结构及成分特征对不同表面处理方式影响的相关研究较少, 模拟树脂老化的方法也无

统一标准, 为了能获得更好的临床修复效果、完善实验室的研究, 应进一步开展针对树脂组成对老化效果及表面处理方式影响的研究。

### 【参考文献】

- [1] Song H B, Sowan N, Shah P K, et al. Reduced shrinkage stress via photo-initiated copper(I)-catalyzed cycloaddition polymerizations of azide-alkyne resins[J]. *Dental Materials*, 2016,32(11):1332-1342.
- [2] Demarco F F, Collares K, Correa M B, et al. Should my composite restorations last forever? Why are they failing?[J]. *Braz Oral Res*, 2017,31(suppl 1):e56.
- [3] Brendeke J, Ozcan M. Effect of physicochemical aging conditions on the composite-composite repair bond strength[J]. *J Adhes Dent*, 2007,9:399-406.
- [4] Kanzow P, Wiegand A, Schwendicke F. Cost-effectiveness of repairing versus replacing composite or amalgam restorations[J]. *J Dent*, 2016,221(11):716.
- [5] Kanzow P, Wiegand A, Wilson N H F, et al. Contemporary teaching of restoration repair at dental schools in Germany—Close to universality and consistency[J]. *J Dent*, 2018,75:121-124.
- [6] Opdam N J, Sande F H, Bronkhorst E, et al. Longevity of posterior composite restorations: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Dent Res*, 2014,93(10):943-949.
- [7] Brosh T, Pilo R, Bichacho N, et al. Effect of combinations of surface treatments and bonding agents on the bond strength of repaired composites[J]. *Prosthet Dent*, 1997,77:122-126.
- [8] Celik E U, Ergücü Z, Türkün L S, et al. Tensile bond strength of an aged resin composite repaired with different protocols[J]. *J Adhes Dent*, 2011,13(4):359-366.
- [9] Staxrud F, Dahl J E. Role of bonding agents in the repair of composite resin restorations[J]. *Eur J Oral Sci*, 2011,119(4):316-322.
- [10] Wendler M, Belli R, Panzer R, et al. Repair bond strength of aged resin composite after different surface and bonding treatments[J]. *Materials (Basel)*, 2016,9(7):547.
- [11] Valente L L, Silva M F, Fonseca A S, et al. Effect of diamond bur grit size on composite repair[J]. *J Adhes Dent*, 2015,17(3):257-263.
- [12] Dieckmann P, Baur A, Dalvai V, et al. Effect of composite age on the repair bond strength after different mechanical surface pretreatments[J]. *J Adhes Dent*, 2020,22(4):365-372.
- [13] Fawzy A S, El-Askary F S, Amer M A. Effect of surface treatments on the tensile bond strength of repaired water-aged anterior restorative micro-fine hybrid resin composite[J]. *J Dent*, 2008,36(12):969-976.
- [14] Ahmadizenouz G, Esmaeili B, Taghvaei A, et al. Effect of different surface treatments on the shear bond strength of nanofilled composite repairs[J]. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 2016,10(1):9-16.
- [15] 李睿, 王晨, 张文怡, 等. 多种表面处理方式及树脂水门汀类型对氧化锆陶瓷粘接强度的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2021,25(10):1528-1532.

- [16]Pilo R, Brosh T, Geron V, et al. Effect of silane reaction time on the repair of a nanofilled composite using tribochemical treatment[J]. J Adhes Dent,2016,18(2):125-134.
- [17]Burrer P, Costermani A, Par M, et al. Effect of varying working distances between sandblasting device and composite substrate surface on the repair bond strength[J]. Materials (Basel), 2021,14(7):1621.
- [18]Ozcan M, Corazza P H, Marocho S M, et al. Repair bond strength of microhybrid, nanohybrid and nanofilled resin composites: effect of substrate resin type, surface conditioning and ageing[J]. Clin Oral Investig, 2013,17(7):1751-1758.
- [19]Nagano D, Nakajima M, Takahashi M, et al. Effect of water aging of adherend composite on repair bond strength of nanofilled composites[J]. J Adhes Dent, 2018,20(5):425-433.
- [20]Ritter A V, Sulaiman T, Altitnchi A, et al. Effect of tribochemical coating on composite repair strength[J]. Oper Dent, 2020,45(6):E334-E342.
- [21]Sismanoglu S. Efficiency of self-adhering flowable resin composite and different surface treatments in composite repair using a universal adhesive[J]. Niger J Clin Pract, 2019,22(12):1675-1679.
- [22]Jafarzadeh Kashi T S, Erfan M, Rakhshan V, et al. An in vitro assessment of the effects of three surface treatments on repair bond strength of aged composites[J]. Oper Dent, 2011,36(6):608-617.
- [23]Ayar M K, Guven M E, Burduglu H D, et al. Repair of aged bulk-fill composite with posterior composite: Effect of different surface treatments[J]. J Esthet Restor Dent, 2019,31(3):246-252.
- [24]Loomans B A, Cardoso M V, Opdam N J, et al. Surface roughness of etched composite resin in light of composite repair[J]. J Dent, 2011,39(7):499-505.
- [25]Antonucci J M, Dickens S H, Fowler B O, et al. Chemistry of silanes: interfaces in dental polymers and composites[J]. J Res Natl Inst Stand Technol, 2005,110(5):541-58.
- [26]Kiomarsi N, Saburian P, Chiniforush N, et al. Effect of thermocycling and surface treatment on repair bond strength of composite[J]. J Clin Exp Dent, 2017,9(8):e945-e951.
- [27]Alizadeh Oskoe P, Savadi Oskoe S, Rikhtegaran S, et al. Effect of various laser surface treatments on repair shear bond strength of aged silorane-based composite[J]. J Lasers Med Sci, 2017,8(4):186-190.
- [28]Dursun M N, Ergin E, Ozgunaltay G. The effect of different surface preparation methods and various aging periods on microtensile bond strength for composite resin repair[J]. Niger J Clin Pract, 2021,24(2):282-291.
- [29]Moezizadeh M, Ansari Z J, Fard F M. Effect of surface treatment on micro shear bond strength of two indirect composites[J]. J Conserv Dent, 2012,15(3):228-232.
- [30]Matinlinna J P, Lung C Y K, Tsoi J K H. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review[J]. Dent Mater, 2018,34(1):13-28.
- [31]Mendes L T, Loomans B A C, Opdam N J M, et al. Silane coupling agents are beneficia for resin composite repair: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies[J]. J Adhes Dent, 2020,22(5):443-453.
- [32]Kiomarsi N, Espahbodi M, Chiniforush N, et al. In vitro evaluation of repair bond strength of composite: Effect of surface treatments with bur and laser and application of universal adhesive[J]. Laser Ther, 2017,26(3):173-180.
- [33]Fornazari I A, Wille I, Meda E M, et al. Effect of surface treatment, silane, and universal adhesive on microshear bond strength of nanofilled composite repairs[J]. Oper Dent, 2017,42(4):367-374.
- [34]Yoshihara K, Nagaoka N, Sonoda A, et al. Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives[J]. Dent Mater, 2016,32(10):1218-1225.
- [35]Silva C L D, Scherer M M, Mendes L T, et al. Does use of silane-containing universal adhesive eliminate the need for silane application in direct composite repair?[J]. Braz Oral Res, 2020,34:e045.
- [36]Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa V P, et al. Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia[J]. Sci Rep, 2017,7:45563.
- [37]Van Landuyt K L, Snauwaert J, De Munck J, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives[J]. Biomaterials, 2007,28(26):3757-3785.
- [38]Irmak O, Celiksoz O, Yilmaz B, et al. Adhesive system affects repair bond strength of resin composite[J]. J Istanbul Univ Fac Dent, 2017,51(3):25-31.
- [39]Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, et al. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface[J]. Dent Mater, 2008,24(1):90-101.
- [40]Chuenweravanich J, Kuphasuk W, Saikaew P, et al. Bond durability of a repaired resin composite using a universal adhesive and different surface treatments[J]. J Adhes Dent, 2022,24(1):67-76.
- [41]Yin H, Kwon S, Chung SH, et al. Performance of universal adhesives in composite resin repair[J]. Biomed Res Int, 2022,2022:7663490.
- [42]Baur V, Ilie N. Repair of dental resin-based composites[J]. Clin Oral Investig, 2013,17:601-608.
- [43]Lemos CA, Mauro SJ, de Campos RA, et al. Repairability of aged resin composites mediated by different restorative systems[J]. Acta Odontol Latinoam, 2016,29(1):7-13.

[收稿日期]2023-03-25

本文引用格式: 李泽琴, 吕长海. 老化树脂表面处理方式的研究进展[J]. 中国美容医学, 2025, 34(2): 193-197.