

自粘接树脂水门汀的临床应用及展望

王淑君¹ 张楚晗¹ 唐一阳¹ 赵雨桐¹ 李佳伦¹ 付佳乐²

¹中国医科大学口腔医学院,沈阳 110002;²中国医科大学口腔医学院口腔材料学教研室,中国医科大学附属口腔医院修复二科,沈阳 110002

通信作者:付佳乐,Email:fullers@126.com

【摘要】 自粘接树脂水门汀是一种可以独立完成修复体粘接的新型水门汀材料,因其操作简便,被广泛应用到冠、嵌体、桥和桩核等间接修复体的粘接,有着极大的发展前景。本文归纳了自粘接树脂水门汀的发展历史、组分及固化机制、性能特点,系统地总结了自粘接树脂水门汀的临床应用与注意事项,并对现阶段自粘接树脂水门汀存在的问题及未来发展趋势进行了探讨,以期为未来自粘接树脂水门汀更好的发展和临床应用提供参考依据。

【关键词】 自粘接树脂水门汀; 口腔修复材料; 临床应用; 性能

基金项目:中国医科大学大学生创新创业训练计划项目(202310159028)

引用著录格式:王淑君,张楚晗,唐一阳,等.自粘接树脂水门汀的临床应用及展望[J/OL].中华口腔医学研究杂志(电子版),2024,18(4):276-286.

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2024.04.010

Clinical application and prospect of self-adhesive resin cements

Wang Shujun¹, Zhang Chuhan¹, Tang Yiyang¹, Zhao Yutong¹, Li Jialun¹, Fu Jiale²

¹School of Stomatology, China Medical University, Shenyang 110002, China; ²Department of Dental Materials, the Second Department of Prosthodontics, School and Hospital of Stomatology, China Medical University, Shenyang 110002, China

Corresponding author: Fu Jiale, Email: fullers@126.com

【Abstract】 Self-adhesive resin cement is a new type of cement material that can independently complete the adhesion of prostheses. Due to its simplified application step, it has been widely used in the cementation of indirect restorations, such as crowns, inlays, bridges, and post-and-cores, which has a great development prospect. In this review, the development history, components, curing mode, properties, clinical application and precautions of self-adhesive resin cement were systematically summarized. The existing problems and future development trends of self-adhesive resin cement were discussed in order to provide a reference for the better development and clinical

application in the future.

【Key words】 Self-adhesive resin cement; Dental restorative material; Clinical application; Properties

Fund program: China Medical University College Students Innovation and Entrepreneurship Training Program (202310159028)

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2024.04.010

随着患者对口腔美学修复需求的不断增加,针对牙体缺损的口腔修复技术及口腔粘接材料也在不断革新。美学修复材料的临床性能很大程度上取决于粘接系统的发展与技术的进步。其中,自粘接树脂水门汀自问世以来,因其操作简便被广泛应用于临床,成为日常使用的间接修复体黏固系统。尽管自粘接树脂水门汀具有诸多优点,但由于市售产品性能各有不同,临床医生在使用时仍需规范操作,以确保修复效果。因此,本文围绕自粘接树脂水门汀的临床应用进展、性能特点等方面进行综述。

一、自粘接树脂水门汀的发展历史

自1955年在口腔修复粘接中首次采用酸蚀技术开始^[1],粘接材料便开始不断地更新。基于甲基丙烯酸甲酯(methyl methacrylate, MMA)的粘接树脂已广泛应用于牙冠、嵌体及其他间接性修复治疗。1979年日本学者Fusayama等^[2]提出全酸蚀粘接的方法,1989年Chigira等^[3]提出了自酸蚀理论。与全酸蚀系统通过磷酸酸蚀-冲洗技术去除牙本质表面全部玷污层不同,自酸蚀粘接系统仅部分溶解并改性玷污层。因此,相比于全酸蚀技术,自酸蚀粘接系统可显著减少术后敏感不适症状、避免“湿粘接”技术导致的技术敏感性等问题,且简化临床操作步骤及缩短操作时间,提升治疗效率。全酸蚀树脂水门汀和自酸蚀树脂水门汀是基于全酸蚀和自酸蚀技术、较为经典的树脂水门汀系统。

在牙科市场上,粘接材料发展的一个明显趋势是在保证粘接效果的同时创造能够简化步骤、降低技术敏感性的材料,自粘接树脂水门汀的出现顺应了这种需求。2002年,3M公司发布了第一款自粘接树脂水门汀进入市场^[4],其简单方便的操作方法和较好的粘接效果使口腔医生很快接受。自粘接树脂水门汀具备双固化属性,添加了功能性酸性单体,可直接用于天然牙与修复体之间,仅需一步即可完成修复体粘接,且可在一定程度上耐受基牙表面的潮湿^[5]。在

此后20多年间,学者们对其进行了大量的体外测试和临床研究,发现胶囊输送系统使其获得比其他混合系统更强的粘接强度和保留率^[6-7]。伴随着临床应用,自粘接树脂水门汀的强度、性能等一些问题也逐渐显露,其化学组分也不断调整与更新,性能不断优化,已经出现了10余种自粘接树脂水门汀品类。

2006年,Imazato等^[8]首次将季铵盐分子接枝到甲基丙烯酸酯单体上,合成了抗菌型树脂粘接剂。众多学者也在研究通过添加季铵盐和无机填料,对自粘接树脂水门汀进行抗菌性能的改进^[9]。针对边缘产生微裂纹的问题,Wu等^[10]于2017年首次开发出含微胶囊的自愈自粘接树脂水门汀,可通过愈合液修复微裂纹,延长临床寿命。还有研究将自粘接树脂水门汀与一种通用型粘接剂联用,牙齿和修复体均可使用而不需要另外的底漆系统,来提高粘接强度。自粘接树脂水门汀面世以来成为了科学研究和临床试验的关注对象,有着良好的前景和发展空间。

二、自粘接树脂水门汀的成分及固化机制

1. 成分和固化机制:自粘接树脂水门汀的主要成分为树脂基质、功能性酸性单体、无机填料、活化剂-引发剂体系和稳定剂^[11]。由于酸性单体与碱性无机填料、叔胺可能发生过早的酸碱反应,因此必须分隔这些化学成分^[11]。自粘接型树脂水门汀主要为双糊剂型,由基质糊剂和催化糊剂组成,分别置于管内。其固化反应以丙烯酸酯的聚合反应为主,通过化学和光化学途径激活,常见的自凝引发剂和光引发剂分别为过氧化苯甲酰(benzoyl peroxide, BPO)和樟脑醌^[12]。常用的树脂基质成分主要为树脂双酚A-双甲基丙烯酸缩水甘油酯(bisphenol-A diglycidyl methacrylate, Bis-GMA)、双甲基丙烯酸二缩三乙二醇酯(triethylene glycol dimethylacrylate,

TEGDMA)和二甲基丙烯酸氨基甲酸酯(urethane dimethacrylate, UDMA)^[13]。纳米二氧化钛填料的应用改善了自粘接树脂水门汀的物理化学性能、力学性能和生物学性能^[14]。目前,市场上在售的部分自粘接树脂水门汀主要成分及适用范围如表1所示。

2. 常用酸性单体:在各组成成分中,其黏合性能主要归因于酸性功能单体的存在。酸性单体使牙齿基体脱矿,树脂成分可随之渗入脱矿的牙齿结构内,与牙齿形成微机械嵌合^[15]。且其可与羟基磷灰石(HA)之间形成化学键,在甲基丙烯酸酯网络和牙齿之间形成稳定附着物^[16]。酸蚀过程中牙本质结构被树脂水门汀涂层覆盖,其通透性保持在较低水平,同时酸性单体大多数很快被中和而恢复中性,对牙齿的酸蚀持续时间也较短^[6]。

常用于自粘接树脂水门汀中的酸性功能单体包括10-甲基丙烯酰氧基癸基磷酸二氢酯(10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate, 10-MDP)、4-甲基丙烯酰氧基乙基偏苯三酸酐(4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride, 4-META)、季戊四醇五丙烯酸酯单磷酸酯(dipentaerythritol pentaacrylate phosphate, PENTA)、二[2-(甲基丙烯酰氧基)乙基]磷酸酯(bis[2-(methacryloyloxy) ethyl] phosphate, BMPE)和2-甲基丙烯酰氧基乙基苯基磷酸二氢酯(2-methacryloyloxyethyl phenyl hydrogen phosphate, Phenyl-P)等^[11,17]。当以1%~5%的浓度范围添加到常规丙烯酸树脂中时,4-META参与形成兼具亲水性和疏水性的甲基丙烯酸酯,并产生混合层,显著增强与牙本质的结合能力^[18]。此外,由于4-META具有极性,它能够与金属表面氧化层的氧或羟基形成氢键,提高与金属的结合强度^[18]。PENTA能够吸附在牙本质HA上而不形成PENTA-Ca盐,并且由于其优异的亲水性,

表1 部分代表性自粘接树脂水门汀临床产品的成分及适用范围

自粘接树脂水门汀产品	主要成分	临床适用范围
Rely X U200 (3M, 美国)	甲基丙烯酸酯单体、10-MDP、碱性填料、硅烷化填料、氧化锆/二氧化硅填料、引发剂、稳定剂、染色剂和流变添加剂等。	全瓷、金属、复合树脂嵌体,高嵌体,种植基牙的全瓷、复合树脂、金属修复体,桥,桩。
Speedcem Plus (Ivoclar Vivadent, 列支敦士登)	二甲基丙烯酸酯、10-MDP、钡玻璃填料、三氟化钇填料、高分散二氧化硅填料、引发剂、稳定剂和染色剂等。	氧化锆陶瓷(冠、桥、桩),金属(嵌体、高嵌体、冠、桥、桩),二硅酸锂玻璃陶瓷(冠、桥),纤维增强复合材料(桩),种植基牙的氧化锆、二硅酸锂玻璃陶瓷、金属修复体。
Clearfil SA Cement (Kuraray, 日本)	疏水芳香族/脂肪族二甲基丙烯酸酯、Bis-GMA、TEGDMA、10-MDP、表面处理的氟化钠填料、硅烷化胶体二氧化硅填料、硅烷化钡玻璃填料、引发剂、催化剂和染色剂等。	金属、氧化锆/氧化铝等金属氧化物类陶瓷,含无机填料的树脂类材料制成的冠、桥、嵌体/高嵌体等。 金属桩,玻璃纤维桩,金属核,树脂核。
G-CEM ONE (GC, 日本)	甲基丙烯酸酯、10-MDP、3-(甲基丙烯酰氧)丙基三甲氧基硅烷、氟铝硅酸盐玻璃、二氧化硅微粉末填料、引发剂、催化剂、稳定剂和染色剂等。	所有嵌体,高嵌体,冠,桥,贴面。 金属桩,陶瓷桩,纤维桩,铸造桩,核。
BeautiCem SA (松风, 日本)	二甲基丙烯酸氨基甲酸酯、甲基丙烯酸羟乙酯、氟铝硅酸盐玻璃、S-PRG填料(可缓释以氟离子为主的多种有益离子)、引发剂和染色剂等。	牙釉质、牙本质与各类金属、瓷、树脂制作的修复体(嵌体、高嵌体、贴面、冠、桥体)之间的粘接。

注:10-MDP为甲基丙烯酰氧基癸基磷酸二氢酯;Bis-GMA为树脂双酚A-双甲基丙烯酸缩水甘油酯;TEGDMA为双甲基丙烯酸二缩三乙二醇酯;S-PRG为表面预处理玻璃。

PENTA可以深入渗透到牙本质中,促进微机械固位和牙本质小管的封闭,增强与牙本质的初始结合强度^[19]。通过氢键和范德华力的作用,PENTA作为交联剂与胶原相互作用,增强牙本质胶原对酶解的抵抗力^[19]。BMEP单体能够在HA存在时自发聚合,且转化率较高^[20]。同时,其亲水性与短碳链特性可以增强润湿能力,而BMEP较小的三维尺寸及其所含的二甲基丙烯酸酯基团使其能够实现交联,促进粘接系统中共聚单体的共聚反应^[21-22]。其中10-MDP被描述为最有效的酸性功能单体,改善氧化锆-树脂键的稳定性,以获得更好的长期效果^[23]。10-MDP分子能够与氧化锆发生化学反应,从而形成较高粘接强度。基于研究有学者提出了3种可能的相互作用机制:(1)10-MDP分子的P=O与氧化锆形成氢键;(2)P-OH基团与氧化锆形成离子键,同时通过P=O与氧化锆形成氢键;(3)P-OH基团与氧化锆形成离子键,而另一OH基团与相邻10-MDP分子的P=O形成氢键相互作用^[24]。10-MDP与氧化锆结合形成离子键的化学式如图1所示。由于在实验中观察到相邻10-MDP之间也会产生化学结合,据此在自粘接树脂水门汀的未来研究中,10-MDP的浓度与材料自身稳定性及活髓牙术后反应相关性有待深入研究。

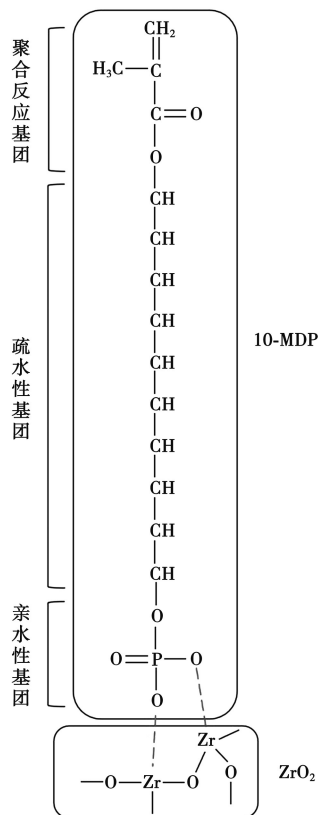


图1 10-甲基丙烯酸酯氧基癸基磷酸二氢酯(10-MDP)与氧化锆结合形成离子键的化学式

三、自粘接树脂水门汀的性能特点

1. 粘接性能:对于基牙粘接,普遍的观点认为酸蚀-冲洗类树脂水门汀的粘接强度最大,自酸蚀类树脂水门汀次之,而自粘接类树脂水门汀最小^[25-26]。自粘接类树脂水门汀虽然也含有酸性单体,酸性单体在黏固初期对基牙有类似于自酸

蚀类粘接剂的脱矿、粘接作用,但由于其稠度较大,在基牙表面的脱矿、渗透作用较弱,因此对基牙的粘接强度较低^[11]。但是,自粘接类树脂水门汀的粘接强度强于玻璃离子和树脂改性玻璃离子水门汀^[27-28]。

自粘接类树脂水门汀对非贵金属(如铬合金、钛合金)和氧化锆陶瓷修复体均具有一定的化学粘接作用;但其对贵金属(如金合金、金银钯合金)或硅酸盐陶瓷的粘接作用较弱^[29-30]。因此,当其用于黏固贵金属或硅酸盐陶瓷修复体时,需要应用相应的粘接底涂剂^[31]。

通常认为,酸蚀预处理可以提高自粘接树脂水门汀的粘接性能^[32-33]。但是,也有少数文献报道,对牙釉质进行酸蚀预处理不会显著提高自粘接树脂水门汀的剪切粘接强度;另一方面,对牙本质进行酸蚀预处理反而会降低自粘接树脂水门汀的粘接强度^[34]。这可能是由于自粘接树脂水门汀中的酸性单体和37%磷酸溶液协同作用会导致牙本质的过度脱矿,损害管周和管间牙本质^[34]。为了提高自粘接树脂水门汀的粘接性,有研究使用弱酸去除或改性玷污层,采用即刻牙本质封闭技术,或使用次氯酸钠、葡萄糖氯己定溶液等牙本质预处理方法^[35-38]。

此外,与化学固化相比,光固化和双重固化均能提高自粘接树脂水门汀的粘接强度、转化率及其他机械性能^[39-41]。3项不同的研究分别测定了化学固化时自粘接树脂水门汀 RelyX Unicem 的转化率,结果分别为11.05%、26%和28.7%,而双重固化时其转化率分别提高至37.27%、58%和54.9%^[42-44]。有相似研究表明,未对自粘接树脂水门汀进行光固化会导致粘接强度显著降低^[45]。

2. 机械性能、吸水性和溶解性:有研究对共计12种不同品牌的水门汀进行机械性能对比测试,结果表明自粘接树脂水门汀的弯曲强度和压缩强度强于磷酸锌水门汀、玻璃离子水门汀和树脂改性玻璃离子水门汀,但是弱于自酸蚀树脂水门汀^[46]。

传统树脂水门汀的吸水率和溶解率较低,低于无机水门汀。自粘接树脂水门汀含有酸性单体,其吸水率和溶解率大于传统树脂水门汀^[47]。有研究发现,与pH中和能力低的自粘接树脂水门汀相比,pH中和能力高的自粘接树脂水门汀在24h后疏水性更强,7d后吸湿膨胀应力更低^[48]。因此,更建议在临床中使用初始pH低、中和反应强的自粘接树脂水门汀,以防止水门汀界面应力积聚和硅酸盐陶瓷修复体的远期粘接失效。

3. 美学特性:大多数双重固化或化学固化树脂水门汀的成分都包括过氧化苯甲酰和叔胺,固化后水门汀颜色随着时间延长而泛黄,影响透明性高的瓷修复体的颜色美观性^[49]。而光固化树脂水门汀只含有更稳定的脂肪胺,胺含量少,颜色稳定性较好,因此前牙贴面黏固一般使用光固化树脂水门汀^[50]。关于基质组成,据报道基于UDMA的树脂水门汀不易吸水,因此比含有Bis-GMA的水门汀更耐水老化变色^[51-52]。近期,一些新型树脂水门汀采用了无胺引发体系,以改善颜色稳定性^[53-55]。此外,有体外研究表明含有新型二苯甲酰锆

衍生物光引发剂的树脂水门汀比含有传统催化剂的树脂水门汀具有更优异的颜色稳定性和更高的转化率^[56]。

4. 牙髓刺激性、生物相容性:自粘接类树脂水门汀含有酸性单体,凝固后90 d的pH为2~4,48 h后pH为2.5~7,凝固过程中可能对牙髓产生一定的刺激^[57]。但是与传统树脂水门汀或树脂改性玻璃离子水门汀相比,使用自粘接树脂水门汀粘接牙冠的术后敏感度更低。这主要是因为,传统树脂水门汀去除玷污层,打开牙本质小管的外周端,暴露的牙本质显著增加了牙髓敏感性;而自粘接的化学反应是发生于牙齿表面的,没有进一步的水解和组分扩散穿过牙本质小管,故而对牙髓刺激性较小^[58]。

自粘接树脂水门汀的生物相容性主要取决于其化学成分^[57]。有研究显示,暴露于含有UDMA、Bis-GMA、甲基丙烯酸羟乙酯(2-hydroxyethyl methacrylate, HEMA)等单体自粘接树脂水门汀的细胞活力明显低于暴露于其他种类自粘接树脂水门汀的细胞,可能是因为这些单体会诱导细胞凋亡^[59]。此外,含有较高比例氟铝硅酸盐玻璃成分的自粘接树脂水门汀生物相容性较低,这是因其具有氟释放和回充特性,而高浓度的氟会产生细胞毒性作用,如产生氧化应激反应,导致抗氧化防御系统退化、形成炎症和诱导细胞凋亡等^[59-60]。还有研究发现,暴露于4种自粘接树脂水门汀的细胞存活率均高于树脂改性的玻璃离子水门汀,且细胞凋亡数量均低于树脂改性的玻璃离子水门汀,表明自粘接树脂水门汀具有较好的生物相容性^[61]。

5. 抗菌性能、自修复性能:树脂-牙本质粘接界面是粘接修复中的薄弱环节,界面继发龋的产生影响粘接的远期效果^[62]。有研究将纳米抗菌无机填料添加到树脂粘接剂中,生成具有抗菌功能的新型树脂粘接剂^[8]。为防止随着抗菌成分的丢失而降低材料的抗菌性能和机械性能,有学者将改良的季铵盐抗菌剂如甲基丙烯酸十六烷基二甲胺(dimethylaminohexadecyl methacrylate, DMAHDM)混入自粘接树脂水门汀中,双键季铵盐与基质形成共价键结合,从而实现良好的长期抗菌效果^[63-65]。

树脂水门汀受聚合收缩、循环应力作用等因素的影响易产生微裂纹,并最终导致水门汀断裂。有研究发现,在水门汀中加入7.5%的以TEGDMA为愈合液的聚脲甲醛(polyurea-formaldehyde, PUF)外壳微胶囊可实现有效的自修复,而不会对牙本质粘接强度和原始机械性能产生不利影响^[66]。为实现多功能改性,有学者将长链烷基季铵盐修饰的纳米二氧化硅抗菌填料添加到含自修复微胶囊的自粘接树脂水门汀中,生成了具有抗菌性能且弯曲强度、弹性模量、断裂韧度及自修复效率良好的新型自修复自粘接树脂水门汀^[9]。

四、自粘接树脂水门汀的临床应用及注意事项

如前文所述,在3类树脂水门汀中,自粘接树脂水门汀能够在不对基牙表面酸蚀及涂布粘接剂的基础上直接粘接,简化了操作步骤^[7],技术敏感性较低,在易使用性和节约椅旁时间、节省潜在成本等方面有明显的优势,临床上具有良好的应用前景^[15]。随着性能的不断改善,自粘接树脂水门汀已被

应用于粘接间接修复体、桩核修复和粘接正畸附件等方面。

1. 粘接间接修复体:随着性能的逐渐改进,自粘接树脂水门汀可对牙齿与多种材质、多种类型的间接修复体进行高强度粘接,包括硅基陶瓷修复体、氧化锆、金属烤瓷、金属修复体、树脂修复体及各种桩核修复体等,其黏固力、机械强度和边缘密封性均符合临床要求。值得注意的是,修复体固位形及正确的粘接界面处理方法仍是影响不同材质修复体固位力的决定性因素。

自粘接树脂水门汀更适合应用于主要暴露结构是牙本质界面的粘接修复。二者通过微机械嵌合和化学作用相结合,化学反应的低pH值能够使玷污层及下方牙齿结构发生脱矿,同时溶解又不将玷污层完全去除^[7]。且由于自粘接树脂水门汀中酸性单体在酸蚀时不会过多暴露牙本质小管^[67],酸性被很快中和,pH值迅速达到中性,牙齿术后敏感性发生率较低,可将对牙髓的刺激降至很低,这使一些深龋近髓、剩余牙本质较薄的患牙修复可以考虑使用自粘接树脂水门汀^[4]。有研究报道,对患有深龋的基牙分别使用自粘接树脂水门汀和酸蚀-冲洗树脂水门汀粘接修复,12周后自粘接树脂水门汀组表现出明显更低的粘接后敏感,同时免于牙髓治疗^[4]。

而对于牙釉质作为粘接界面的情况则不宜单独应用自粘接树脂水门汀^[67-68]。对牙釉质而言,自粘接树脂水门汀内所含酸性单体对牙釉质酸蚀效果远远弱于磷酸,难以对牙釉质充分脱矿,粘接效果差于酸蚀-冲洗,牙釉质粘接金标准仍是酸蚀-冲洗三步法^[69]。尤其对于贴面一类高度依靠粘接力的修复方式,自粘接树脂水门汀难以实现满意的固位^[10]。同时由于有部分传统的双固化自粘接树脂水门汀中含有叔胺成分,在光照下易发生变色,也不适合用于前牙贴面。对于嵌体、部分冠等涉及牙釉质、牙本质两种结构同时粘接的情况^[4],可考虑使用选择性酸蚀技术^[70]:即对牙釉质进行磷酸酸蚀,牙本质不做处理,可在保证牙本质粘接的同时增加牙釉质的粘接力。

目前,自粘接树脂水门汀更多地应用于全冠、根管内部纤维桩等的粘接修复,对此类固位较好的修复体,自粘接树脂水门汀能提供更好的粘接耐久度,具有良好的效果^[10]。

自粘接树脂水门汀在金属烤瓷全冠临床应用中表现良好。在应用自粘接树脂水门汀粘接金属烤瓷全冠的病例中,经过6年的随访,修复体成功率到达97.7%,证明其为可行的粘接方案^[71]。另一研究中也表明,在随访的62个月内存活率达到91.5%,结果表明自粘接树脂水门汀可以作为金属烤瓷冠黏固的长期选择^[72]。

对于全瓷材料,自粘接树脂水门汀也适用于氧化锆及硅基陶瓷全冠。自粘接树脂水门汀应用于固位形良好的氧化锆粘接,能够取得较高的初期粘接强度^[73]。尽管老化后粘接强度出现下降,仍维持在较高水平,粘接效果和耐久性均较好^[74]。一项系统评价与荟萃分析中分析了多篇文章,发现在氧化锆修复体黏固中,自粘接树脂水门汀与自酸蚀类对氧化锆的粘接强度无显著差异,且显著高于酸蚀-冲洗类,表明自粘接树脂水门汀适合于黏固氧化锆修复体^[73]。有研究对比

发现,应用于氧化锆全瓷冠黏固时,自粘接树脂水门汀的临床疗效强于玻璃离子,同时对患者牙周健康也有良好的改善效果,美学性能及舒适度更强^[75]。同时,其机械强度高于磷酸锌水门汀、玻璃离子水门汀及树脂增强型玻璃离子等^[15],能够承担咀嚼压力,可在粘接后牙修复体中使用。

自粘接树脂水门汀在硅基陶瓷全冠的粘接也有较好的表现。陶瓷由于其脆性特点,粘接时由于粘接材料膨胀导致陶瓷破裂现象时有发生,因此水门汀的尺寸变化应越小越好^[76]。根据ISO标准(ISO 4049:2019)^[77],吸水值低于 $40\ \mu\text{g}/\text{mm}^3$ 、水溶解值低于 $7.5\ \mu\text{g}/\text{mm}^3$ 可被临床接受,自粘接树脂水门汀吸水性及溶解性均符合要求^[78],由吸水导致的膨胀率也较低^[79]。这使其具有良好的尺寸稳定性。同时自粘接树脂水门汀在牙本质边缘具有较好的边缘密封性和较低的微渗漏,有利于减少继发龋的发生^[15]。在一项研究中,使用自粘接树脂水门汀粘接二硅酸锂全冠,10年保存率达83.5%^[80];硅基陶瓷部分修复体也可成功使用自粘接树脂水门汀进行粘接,且在1年的随访内表现出与传统树脂水门汀相似的效果^[81]。

自粘接树脂水门汀适用于金属与牙齿的粘接。在相关实验中,镍铬合金与自粘接树脂水门汀的剪切粘接强度最高^[82]。据报道,自粘接树脂水门汀中含有的10-MDP可有效地增强与金属和瓷的结合强度,在粘接固位、术后敏感性、机械强度等整体临床表现方面,使用自粘接树脂水门汀的金属和陶瓷修复体成功率为100%,临床成功维持2~4年^[7]。

而对于固位力较单一的部分冠、短基牙等的粘接,自粘接树脂水门汀是否能够应用还存在一定的争议^[83]。尽管在单牙修复体的粘接中,自粘接树脂水门汀的失效率与传统酸蚀-冲洗类没有明显差异^[25],但目前对于部分冠等部分修复体仍推荐以自酸蚀系统为主,自粘接树脂水门汀的长期应用效果仍需更多临床试验验证^[84]。

2. 粘接根管内部修复体:自粘接树脂水门汀常被应用于将金属桩或纤维桩粘接固定在残根残冠的根管内,为修复体提供支持^[85]。由于根管解剖形态的变异性、可视性较差、水分控制困难等因素,技术敏感性低、不易水解、粘接性能好的自粘接树脂水门汀成为了很好的选择^[86]。自粘接树脂水门汀的粘接强度值大于自酸蚀,与酸蚀-冲洗系统相当或更强,因此使用自粘接树脂水门汀粘接纤维桩具有积极作用^[86]。同时对于较深的根管,光固化聚合至关重要。自粘接树脂水门汀黏固根管桩时应适当增大光照强度或延长光照时间,促进根管深部充分聚合,获得更大的机械强度^[87]。由于根管条件的复杂性、树脂水门汀-牙本质粘接界面属于薄弱部位,一些研究尝试对桩道进行预处理以提高粘接强度^[88-90]。结果显示,超声清洗等措施及使用复合树脂按桩道形态预衬均可提高粘接强度,并对耐久性具有积极作用^[90]。

3. 粘接正畸附件:自粘接树脂水门汀用于将托槽粘接至牙齿表面或一些临时修复体表面。一步法自粘接系统可节省时间并减少操作中失误或污染的可能,为患者提供更大的舒适度,已成功应用于正畸治疗^[89]。但自粘接树脂水门汀对计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)聚甲基丙烯酸酯临时修

复体与金属托槽的粘接强度较低,在喷砂处理后应用硅烷可以提高其粘接强度^[90]。这可能是因为硅烷与CAD/CAM聚甲基丙烯酸酯材料中的无机/有机填料发生了化学结合^[90]。

自粘接树脂水门汀最大的缺陷之一就在于其高黏度导致的低润湿性,难以充分渗透进牙体硬组织中。有研究表明,自粘接树脂水门汀在单独使用时,没有观察到界面有混合层或树脂突形成,若在未粘接树脂水门汀之前使用粘接剂,两者结合后可产生更规整的界面,从而改善其与牙釉质牙本质的结合^[91]。因此,联合使用通用型粘接剂与自粘接树脂水门汀也是改善自粘接树脂水门汀粘接性能的有效方法之一^[10]。

4. 注意事项:临床使用自粘接树脂水门汀进行粘接时,有以下事项需要注意。

(1)清洁:临床上,修复体口内试戴后表面会形成唾液薄膜降低粘接强度^[92-93]。有实验证明使用 Ivoclean 后自粘接树脂水门汀粘接强度得到了提高^[94]。因此,在试戴结束后、正式黏固前,推荐使用强碱性清洗液 Ivoclean 清洗去除唾液蛋白膜。

(2)必要的表面处理:在进行粘接操作时,若固位形良好且修复体是非贵金属,其粘接面一般不必使用粘接底涂剂。对于氧化锆、硅基陶瓷等修复体材料,为了实现更好的粘接效果,仍建议进行表面预处理。临床中氧化锆修复体通常采用喷砂和底漆化学处理相结合的方式有效提高粘接强度^[95]。有实验证实与牙本质粘接中,进行了预处理的氧化锆粘接效果显著大于未处理的氧化锆^[8]。硅基陶瓷类修复体也是如此,粘接前通常需要用氢氟酸(hydrofluoric acid, HF)蚀刻后涂布硅烷偶联剂,增强修复体的黏固强度^[96]。

(3)粘接剂的影响:由于自粘接树脂水门汀自身含有酸性单体(如10-MDP),因此,在应用时基牙粘接面通常无须酸蚀和应用牙齿粘接剂。有实验表明,自粘接树脂水门汀能够在不需要表面处理性能的情况下对牙齿提供足够的粘接强度^[79]。但目前也有研究发现,若在牙齿表面预先使用通用型粘接剂,粘接强度会得到显著提高^[94]。若通用型粘接剂未能在统计学意义上显著提高自粘接树脂水门汀的粘接强度,或许与树脂水门汀自身含有的10-MDP的纯度与含量较高有关^[97]。因此,临床中当基牙的固位形不良时可以尝试自粘接树脂水门汀与通用型粘接剂联合使用。

(4)粘接操作:粘接时还应注意光固化条件、施加持续压力及隔湿等处理。自粘接树脂水门汀属于双固化系统,自固化条件下粘接效果和机械性能等较差。尤其是修复体边缘处,较长时间的光固化有利于提高边缘密封性。另外,在粘接固化时应提供持续的压力,可促进树脂向牙本质小管内渗透,有利于增强粘接强度^[7]。自粘接树脂水门汀在湿润环境中发生水解会导致粘接强度降低,因此操作时应注意隔湿^[98]。

五、自粘接树脂水门汀的总结与展望

自粘接树脂水门汀是一种可以独立完成修复体粘接的新型水门汀材料,被广泛应用于冠、嵌体、桥和桩核等间接修复体的粘接,并满足后牙修复的要求^[15, 84, 99-100]。自粘接树脂

表2 酸蚀-冲洗类、自酸蚀类、自粘接类树脂水门汀的区别

分类	应用步骤	优点	缺点
酸蚀-冲洗类树脂水门汀	磷酸处理基牙;基牙、修复体表面涂布处理剂;应用酸蚀-冲洗树脂水门汀	基牙粘接强度大;机械性能良好;耐老化能力强;减小微渗漏	粘接方法复杂;椅旁时间长;技术敏感性高;术后敏感性高;多余水门汀难以去除,不适于临时修复
自酸蚀类树脂水门汀	基牙、修复体表面涂布处理剂;应用自酸蚀树脂水门汀	缩短操作时间;降低技术敏感性;降低术后敏感性;脱矿和渗透过程基本同时进行	粘接强度较低;H ⁺ 残留,持续脱矿,易发生微渗漏;各组分混合,降低储存期限
自粘接类树脂水门汀	直接应用自粘接类树脂水门汀(贵金属、硅酸盐陶瓷粘接面仍需涂布处理剂)	操作流程极简;椅旁时间短;技术敏感性低;术后敏感性低;临床适用范围广;具有释氟性	基牙粘接强度小;贵金属和硅酸盐陶瓷粘接作用弱;受老化影响较大;机械性能较低

水门汀集酸蚀剂、底涂剂、粘接剂和树脂水门汀糊剂于一体,一般直接涂布在基牙表面无须进行预处理,通过自身的酸性单体进行表面处理和粘接,从而更大程度上降低了操作的技术敏感性,这是其与传统的树脂粘接剂的主要区别^[10,25]。酸蚀-冲洗类、自酸蚀类和自粘接类树脂水门汀的临床应用步骤和优缺点比较详情见表2。

在成分方面,酸性功能性单体具有重要作用^[101]。但是,未聚合的酸性功能单体具有细胞毒性^[102-103]。此外,自粘接树脂水门汀材料还需加入相对稳定的氧化还原体系,提高材料中和pH值的能力,以改善初始粘接性能,并最终实现所需的长期稳定性和生物安全性。

自粘接型树脂水门汀的固化模式大多为双固化,但其化学固化能力不足,在化学固化条件下的聚合表现不如光照射条件下的双重固化模式^[104-105]。然而在临床实际应用中,光照射不到的位置大量存在甚至无法避免^[106]。因此,自粘接树脂水门汀未来发展趋势之一是实现自固化时粘接强度接近甚至达到光固化模式时的粘接强度。

在基牙同时存在牙釉质与牙本质界面时推荐使用“选择性酸蚀”的方法提高自粘接树脂水门汀的粘接性能^[33,107]。目前,有大量研究探讨自粘接树脂水门汀与其他粘接系统混合使用,多数结果表明:在黏固前使用牙本质预处理剂、修复体清洁剂、自酸蚀粘接剂或通用型粘接剂可以增强自粘接树脂水门汀与牙体之间的粘接效果^[108-111]。但由于每个实验中的指标很难达到标准化及一致化,例如玷污层的性状及厚度,针对这方面的研究结果尚不统一,仍需要更多实验佐证。

制备具有高强度、抗菌、自修复和促进再矿化等多功能的自粘接树脂水门汀并提高粘接的耐久性是当前研究的热点方向。研究者们通过添加高分子填料、优化树脂基质等方法,提高了自粘接树脂水门汀的硬度和耐磨性^[112]。虽然其机械性能不断提高,但粘接界面仍然容易受到细菌微生物的损害^[113]。抗菌改性方面,在自粘接树脂水门汀中加入3,5-二甲基-1-硫代甲酰胺吡啶、DMAHDM、三氯生(triclosan, TCS)衍生物和纳米二氧化硅抗菌填料等以提高材料的抗菌性能^[64,114-116]。同时,随着含微胶囊自愈材料的不断开发^[9,117],自粘接树脂水门汀的制备和临床应用将具有广阔的前景。

此外,尽管含氟填料的自粘接树脂水门汀具有释放氟离

子的能力,但相比于玻璃离子水门汀,其氟释放能力较低,且氟释放性会影响其粘接性能^[118]。这些问题使自粘接树脂水门汀依旧无法完全取代其他类型的水门汀。

综上所述,自粘接树脂水门汀在口腔修复领域的使用场景日趋多元化,伴随成分改良及制备工艺的不断提高,有望开发出兼顾操作便利与良好性能的自粘接树脂水门汀应用于临床。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces [J]. J Dent Res, 1955, 34(6): 849-853. DOI: 10.1177/00220345550340060801.
- [2] Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, et al. Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin [J]. J Dent Res, 1979, 58(4): 1364-1370. DOI: 10.1177/00220345790580041101.
- [3] Chigira H, Koike T, Hasegawa T, et al. Effect of the self etching dentin primers on the bonding efficacy of a dentin adhesive [J]. Dent Mater J, 1989, 8(1): 86-92. DOI: 10.4012/dmj.8.86.
- [4] Weiser F, Behr M. Self-adhesive resin cements: A clinical review [J]. J Prosthodont, 2015, 24(2): 100-108. DOI: 10.1111/jopr.12192.
- [5] Sokolowski G, Szczesio A, Bociong K, et al. Dental resin cements - the influence of water sorption on contraction stress changes and hygroscopic expansion [J]. Materials (Basel), 2018, 11(6): 973. DOI: 10.3390/ma11060973.
- [6] Burgess JO, Ghuman T, Cakir D, et al. Self-adhesive resin cements [J]. J Esthet Restor Dent, 2010, 22(6): 412-419. DOI: 10.1111/j.1708-8240.2010.00378.x.
- [7] Makkar S, Malhotra N. Self-adhesive resin cements: A new perspective in luting technology [J]. Dent Update, 2013, 40(9): 758-760, 763-764, 767-768. DOI: 10.12968/denu.2013.40.9.758.
- [8] Imazato S, Kuramoto A, Takahashi Y, et al. In vitro antibacterial effects of the dentin primer of Clearfil Protect Bond [J]. Dent Mater, 2006, 22(6): 527-532. DOI: 10.1016/j.dental.

- 2005.05.009.
- [9] 胡格,张新艳,赵家鑫,等. 新型抗菌自修复自粘接树脂水门汀的制备及性能研究[J]. 华西口腔医学杂志, 2020, 38(3): 260-266. DOI:10.7518/hxkq.2020.03.005.
- [10] Wu J, Zhang Q, Weir MD, et al. Novel self-healing dental luting cements with microcapsules for indirect restorations[J]. J Dent, 2017, 66: 76-82. DOI: 10.1016/j.jdent.2017.08.006.
- [11] Manso AP, Carvalho RM. Dental cements for luting and bonding restorations: Self-adhesive resin cements[J]. Dent Clin North Am, 2017, 61(4): 821-834. DOI: 10.1016/j.cden.2017.06.006.
- [12] 王景卉,朱晶,丛景科. 自粘接树脂水门汀的研究进展[J]. 北京口腔医学, 2020, 28(3):174-176.
- [13] 林双,黄艳苓,王晓晴,等. 树脂水门汀的临床应用进展[J]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2018, 12(6): 379-382. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2018.06.010.
- [14] Ramos - Tonello CM, Lisboa - Filho PN, Arruda LB, et al. Titanium dioxide nanotubes addition to self - adhesive resin cement: Effect on physical and biological properties [J]. Dent Mater, 2017, 33(7): 866-875. DOI: 10.1016/j.dental.2017.04.022.
- [15] Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ. Self - adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations [J]. J Oral Rehabil, 2011, 38(4): 295 - 314. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2010.02148.x.
- [16] de Munck J, Vargas M, van Landuyt K, et al. Bonding of an auto - adhesive luting material to enamel and dentin [J]. Dent Mater, 2004, 20(10): 963 - 971. DOI: 10.1016/j.dental.2004.03.002.
- [17] Yoshihara K, Hayakawa S, Nagaoka N, et al. Etching efficacy of self-etching functional monomers [J]. J Dent Res, 2018, 97(9): 1010-1016. DOI:10.1177/0022034518763606.
- [18] Nakagawa K, Saita M, Ikeda T, et al. Biocompatibility of 4-META/MMA - TBB resin used as a dental luting agent [J]. J Prosthet Dent, 2015, 114(1): 114-121. DOI: 10.1016/j.prosdent.2014.10.016.
- [19] Han F, Jin X, Yuan X, et al. Interactions of two phosphate ester monomers with hydroxyapatite and collagen fibers and their contributions to dentine bond performance [J]. J Dent, 2022, 122: 104159. DOI: 10.1016/j.jdent.2022.104159.
- [20] Liu Y, Bai X, Liu YW, et al. Light-cured self-etch adhesives undergo hydroxyapatite - triggered self - cure [J]. J Dent Res, 2016, 95(3): 334-341. DOI: 10.1177/0022034515618959.
- [21] Wang R, Shi Y, Li T, et al. Adhesive interfacial characteristics and the related bonding performance of four self - etching adhesives with different functional monomers applied to dentin [J]. J Dent, 2017, 62: 72 - 80. DOI: 10.1016/j.jdent.2017.05.010.
- [22] Alkattan R, Koller G, Banerji S, et al. Bis[2-(methacryloyloxy) ethyl] phosphate as a primer for enamel and dentine [J]. J Dent Res, 2021, 100(10): 1081 - 1089. DOI: 10.1177/00220345211023477.
- [23] Tatiana R, Bérangère C, Prudence Felix T, et al. Shear bond strength between standard or modified zirconia surfaces and two resin cements incorporating or not 10-MDP in their matrix [J]. Dent Mater, 2024, 40(2): 370 - 378. DOI: 10.1016/j.dental.2023.12.015.
- [24] Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa VP, et al. Chemical interaction mechanism of 10 - MDP with zirconia [J]. Sci Rep, 2017, 7: 45563. DOI: 10.1038/srep45563.
- [25] Alvarenga M, Machado L, Prado A, et al. Self-adhesive resin cement versus conventional cements on the failure rate of indirect single-tooth restorations: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials [J]. J Prosthet Dent, 2024: S0022 - 3913 (24) 00308 - 1. DOI: 10.1016/j.prosdent.2024.04.027.
- [26] Miotti LL, Follak AC, Montagner AF, et al. Is conventional resin cement adhesive performance to dentin better than self-adhesive? A systematic review and meta-analysis of laboratory studies [J]. Oper Dent, 2020, 45(5): 484-495. DOI: 10.2341/19-153-L.
- [27] Mann NK, Chahal GK, Singh Gil J, et al. Evaluation of bond strength of resin and non-resin cements to different alloys [J]. Cureus, 2023, 15(3): e36894. DOI: 10.7759/cureus.36894.
- [28] Maño EP, Algarra RM, Fawzy A, et al. *In vitro* bonding performance of modern self - adhesive resin cements and conventional resin-modified glass ionomer cements to prosthetic substrates [J]. Appl Sci, 2020, 10(22): 8157. DOI: 10.3390/app10228157.
- [29] 张君,林捷,郑志强,等. 自粘接树脂水门汀对口腔修复用金属材料剪切粘接强度的影响 [J]. 实用口腔医学杂志, 2014, 30(3): 336-339. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3733.2014.03.09.
- [30] Fouquet V, Dantagnan CA, Abdel - Gawad S, et al. *In vitro* shear bond strength over zirconia and titanium alloy and degree of conversion of extraoral compared to intraoral self - adhesive resin cements [J]. BDJ Open, 2023, 9(1): 54. DOI: 10.1038/s41405-023-00178-0.
- [31] Matsumura H, Kamada K, Tanoue N, et al. Effect of thione primers on bonding of noble metal alloys with an adhesive resin [J]. J Dent, 2000, 28(4): 287-293. DOI: 10.1016/s0300-5712(99)00070-6.
- [32] Junior LR, Baroudi K, Barroso LS, et al. Bond strength of self-adhesive resin cement to dentin using different adhesion protocols [J]. J Clin Exp Dent, 2022, 14(1): e35 - e39. DOI: 10.4317/jced.59043.
- [33] Hammal M, Chlup Z, Ingr T, et al. Effectiveness of dentin pre-treatment on bond strength of two self-adhesive resin cements compared to an etch-and-rinse system: An *in vitro* study [J]. PeerJ, 2021, 9: e11736. DOI: 10.7717/peerj.11736.
- [34] Moghaddas MJ, Hossainipour Z, Majidinia S, et al. Comparison of the shear bond strength of self - adhesive resin cements to enamel and dentin with different protocol of application [J].

- Electron Physician, 2017, 9(8): 4985-4991. DOI: 10.19082/4985.
- [35] Han SH, Shimada Y, Sadr A, et al. Effect of pretreatment and activation mode on the interfacial adaptation of nanoceramic resin inlay and self-adhesive resin cement [J]. Dent Mater, 2020, 36(9): 1170-1182. DOI: 10.1016/j.dental.2020.05.005.
- [36] Ustun S, Ayaz EA. Effect of different cement systems and aging on the bond strength of chairside CAD-CAM ceramics [J]. J Prosthet Dent, 2021, 125(2): 334-339. DOI: 10.1016/j.prosdent.2019.11.025.
- [37] Antoniou I, Mourouzis P, Dionysopoulos D, et al. Influence of immediate dentin sealing on bond strength of resin-based CAD/CAM restoratives to dentin: A systematic review of *in vitro* studies [J]. Biomimetics (Basel), 2024, 9(5): 267. DOI: 10.3390/biomimetics 9050267.
- [38] Choque - Apaza W, Sánchez - Tito M. Effect of dentin surface pretreatment with four conditioning agents on micro-shear bond strength of a self-adhesive cement [J]. J Clin Exp Dent, 2022, 14(5): e390-e395. DOI: 10.4317/jced.59438.
- [39] Aldhafyan M, Silikas N, Watts DC. Influence of curing modes on conversion and shrinkage of dual-cure resin-cements [J]. Dent Mater, 2022, 38(1): 194-203. DOI: 10.1016/j.dental.2021.12.004.
- [40] Carek A, Dukaric K, Miler H, et al. Post-cure development of the degree of conversion and mechanical properties of dual-curing resin cements [J]. Polymers, 2022, 14(17): 3649. DOI: 10.3390/polym14173649.
- [41] Desai K, S MK. Comparative evaluation of bond strengths between dual cure resin cement and light cure resin cement in root surface indirect restorations: An *in vitro* analysis study [J]. Cureus, 2024, 16(2): e55009. DOI: 10.7759/cureus.55009.
- [42] Vrochari AD, Eliades G, Hellwig E, et al. Curing efficiency of four self-etching, self-adhesive resin cements [J]. Dent Mater, 2009, 25(9): 1104-1108. DOI: 10.1016/j.dental.2009.02.015.
- [43] Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, et al. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements [J]. Int J Prosthodont, 2004, 17(3): 357-363.
- [44] Tezvergil - Mutluay A, Lassila LV, Vallittu PK. Degree of conversion of dual-cure luting resins light-polymerized through various materials [J]. Acta Odontol Scand, 2007, 65(4): 201-205. DOI: 10.1080/00016350701311632.
- [45] Ling L, Ma Y, Chen Y, et al. Physical, mechanical, and adhesive properties of novel self-adhesive resin cement [J]. Int J Dent, 2022; 4475394. DOI: 10.1155/2022/4475394.
- [46] Piowarczyk A, Lauer HC. Mechanical properties of luting cements after water storage [J]. Oper Dent, 2003, 28(5): 535-542.
- [47] Labban N, AlSheikh R, Lund M, et al. Evaluation of the water sorption and solubility behavior of different polymeric luting materials [J]. Polymers, 2021, 13(17): 2851. DOI: 10.3390/polym13172851.
- [48] Roedel L, Bednarzig V, Belli R, et al. Self-adhesive resin cements: pH-neutralization, hydrophilicity, and hygroscopic expansion stress [J]. Clin Oral Investig, 2017, 21(5): 1735-1741. DOI: 10.1007/s00784-016-1947-4.
- [49] Schneider LFJ, Ribeiro RB, Liberato WF, et al. Curing potential and color stability of different resin-based luting materials [J]. Dent Mater, 2020, 36(10): e309-e315. DOI: 10.1016/j.dental.2020.07.003.
- [50] Hardan L, Bourgi R, Hernández - Escamilla T, et al. Color stability of dual-cured and light-cured resin cements: A systematic review and meta-analysis of *in vitro* studies [J]. J Prosthodont, 2024, 33(3): 212-220. DOI: 10.1111/jopr.13757.
- [51] Paolone G, Formiga S, de Palma F, et al. Color stability of resin-based composites: Staining procedures with liquids—A narrative review [J]. J Esthet Restor Dent, 2022, 34(6): 865-887. DOI: 10.1111/jerd.12912.
- [52] Mazzitelli C, Paolone G, Sabbagh J, et al. Color stability of resin cements after water aging [J]. Polymers (Basel), 2023, 15(3): 655. DOI: 10.3390/polym15030655.
- [53] Kavut İ, Uğur M. The effect of amine-free initiator system and polymerization type on long-term color stability of resin cements: An *in-vitro* study [J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 426. DOI: 10.1186/s12903-022-02456-z.
- [54] Yang Y, Wang Y, Yang H, et al. Effect of aging on color stability and bond strength of dual-cured resin cement with amine or amine-free self-initiators [J]. Dent Mater J, 2022, 41(1): 17-26. DOI: 10.4012/dmj.2020-306.
- [55] Zhou W, Liao ZX, Chen JH, et al. Color change of glass ceramic restorations cemented by four types of dual-cured resin luting agents with different initiator systems [J]. Dent Mater J, 2022, 41(6): 833-842. DOI: 10.4012/dmj.2022-044.
- [56] Alkhudhairy F, Vohra F, Naseem M, et al. Color stability and degree of conversion of a novel dibenzoyl germanium derivative containing photo-polymerized resin luting cement [J]. J Appl Biomater Funct Mater, 2020, 18: 2280800020917326. DOI: 10.1177/2280800020917326.
- [57] Hadjichristou C, Papachristou E, Vereroudakis E, et al. Biocompatibility assessment of resin-based cements on vascularized dentin/pulp tissue-engineered analogues [J]. Dent Mater, 2021, 37(5): 914-927. DOI: 10.1016/j.dental.2021.02.019.
- [58] Pyo SW, Park K, Daher R, et al. Comparison of the clinical outcomes of resin-modified glass ionomer and self-adhesive resin cementations for full-coverage zirconia restorations [J]. J Dent, 2023, 135: 104558. DOI: 10.1016/j.jdent.2023.104558.
- [59] Şişmanoğlu S, Demirci M, Schweikl H, et al. Cytotoxic effects of different self-adhesive resin cements: Cell viability and induction of apoptosis [J]. J Adv Prosthodont, 2020, 12(2): 89-99. DOI: 10.4047/jap.2020.12.2.89.
- [60] Wei M, Ye Y, Ali MM, et al. Effect of fluoride on cytotoxicity involved in mitochondrial dysfunction: A review of mechanism

- [J]. *Front Vet Sci*, 2022, 9: 850771. DOI: 10.3389/fvets.2022.850771.
- [61] Bandarra S, Neves J, Paraíso A, et al. Biocompatibility of self-adhesive resin cement with fibroblast cells[J]. *J Prosthet Dent*, 2021, 125(4): 705.e1 - 705.e7. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.01.002.
- [62] Mokeem LS, Garcia IM, Melo MA. Degradation and failure phenomena at the dentin bonding interface [J]. *Biomedicines*, 2023, 11(5):1256. DOI:10.3390/biomedicines11051256.
- [63] Ravandi R, Zeinali Heris S, Hemmati S, et al. Effects of chitosan and TiO₂ nanoparticles on the antibacterial property and ability to self-healing of cracks and retrieve mechanical characteristics of dental composites[J]. *Heliyon*, 2024, 10(6): e27734. DOI: 10.1016/j.heliyon. 2024.e27734.
- [64] AlSahafi R, Wang X, Mitwalli H, et al. Novel antibacterial low-shrinkage-stress resin-based cement [J]. *Dent Mater*, 2022, 38(11):1689-1702. DOI:10.1016/j.dental.2022.08.005.
- [65] AlSahafi R, Balhaddad AA, Mitwalli H, et al. Novel crown cement containing antibacterial monomer and calcium phosphate nanoparticles [J]. *Nanomaterials*, 2020, 10(10): 2001. DOI:10.3390/nano10102001.
- [66] Wu J, Zhang Q, Weir MD, et al. Novel self-healing dental luting cements with microcapsules for indirect restorations[J]. *J Dent*, 2017, 66: 76-82. DOI: 10.1016/j.jdent.2017.08.006.
- [67] Alghauli MA, Alqutaibi AY, Wille S, et al. Clinical reliability of self-adhesive luting resins compared to other adhesive procedures: A systematic review and meta-analysis[J]. *J Dent*, 2023, 129:104394. DOI: 10.1016/j.jdent.2022.104394.
- [68] Saravia-Rojas MÁ, Nima G, Geng-Vivanco R, et al. Limited etching time increases self-adhesive resin cement adhesion to enamel[J]. *Oper Dent*, 2021, 46(5):547-558. DOI:10.2341/20-033-L.
- [69] Gundogdu M, Aladag LI. Effect of adhesive resin cements on bond strength of ceramic core materials to dentin [J]. *Niger J Clin Pract*, 2018, 21(3): 367-374. DOI: 10.4103/njcp.njcp_10_17.
- [70] 张晓, 邓青完, 谢静, 等. 表面酸蚀对自粘接树脂水门汀粘接牙齿强度的影响[J]. *实用口腔医学杂志*, 2018, 34(4): 482-485. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3733.2018.04.010.
- [71] Brondani LP, Pereira-Cenci T, Wandsher VF, et al. Longevity of metal-ceramic crowns cemented with self-adhesive resin cement: A prospective clinical study[J]. *Braz Oral Res*, 2017, 31:e22. DOI: 10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0022.
- [72] Machry RV, Bergoli CD, Schwantz JK, et al. Longevity of metal-ceramic single crowns cemented onto resin composite prosthetic cores with self-adhesive resin cement: An update of a prospective analysis with up to 106 months of follow-up[J]. *Clin Oral Investig*, 2023, 27(3): 1071-1078. DOI: 10.1007/s00784-022-04693-6.
- [73] Borouzinat A, Majidinia S, Shirazi AS, et al. Comparison of bond strength of self-adhesive and self-etch or total-etch resin cement to zirconia: A systematic review and meta-analysis[J]. *J Conserv Dent Endod*, 2024, 27(2): 113-125. DOI: 10.4103/JCDE.JCDE_225_23.
- [74] 杨路, 陈冰卓, 陈晨, 等. 一种自粘接树脂水门汀与氧化锆陶瓷粘接的耐久性评价[J]. *口腔医学*, 2019, 39(5): 390-394. DOI: 10.13591/j.cnki.kqyx.2019.05.002.
- [75] 刘昱岑, 屈红昕. 自粘接树脂水门汀对后牙修复治疗效果观察[J]. *贵州医药*, 2023, 47(11): 1791-1792. DOI: 10.3969/j.issn.1000-744X.2023.11.067.
- [76] Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J. The effect of resin bonding on long-term success of high-strength ceramics [J]. *J Dent Res*, 2018, 97(2): 132-139. DOI: 10.1177/0022034517729134.
- [77] International Organization for Standardization. ISO 4049: 2019 Dentistry—Polymer-based restorative materials [S/OL]. 2019. <https://www.iso.org/standard/67596.html>.
- [78] Petropoulou A, Vrochari AD, Hellwig E, et al. Water sorption and water solubility of self-etching and self-adhesive resin cements [J]. *J Prosthet Dent*, 2015, 114(5): 674-679. DOI: 10.1016/j.prosdent.2015.06.002.
- [79] Nakamura T, Wakabayashi K, Kinuta S, et al. Mechanical properties of new self-adhesive resin-based cement [J]. *J Prosthodont Res*, 2010, 54(2): 59-64. DOI: 10.1016/j.jpor.2009.09.004.
- [80] Rauch A, Reich S, Dalchau L, et al. Clinical survival of chair-side generated monolithic lithium disilicate crowns: 10-year results[J]. *Clin Oral Investig*, 2018, 22(4): 1763-1769. DOI: 10.1007/s00784-017-2271-3.
- [81] Sousa SJL, Poubel DLDN, Rezende LVML, et al. Early clinical performance of resin cements in glass-ceramic posterior restorations in adult vital teeth: A systematic review and meta-analysis [J]. *J Prosthet Dent*, 2020, 123(1): 61-70. DOI: 10.1016/j.prosdent.2018.12.006.
- [82] 徐玮, 魏海荣, 杨晓庆, 等. 自粘接树脂水门汀对不同材料粘接性能研究[J]. *医疗装备*, 2016, 29(3): 54-55. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2376.2016.03.030.
- [83] Scholz KJ, Tabenski IM, Vogl V, et al. Randomized clinical split-mouth study on the performance of CAD/CAM-partial ceramic crowns luted with a self-adhesive resin cement or a universal adhesive and a conventional resin cement after 39 months [J]. *J Dent*, 2021, 115: 103837. DOI: 10.1016/j.jdent.2021.103837.
- [84] Ghodsi S, Shekarian M, Aghamohseni MM, et al. Resin cement selection for different types of fixed partial coverage restorations: A narrative systematic review [J]. *Clin Exp Dent Res*, 2023, 9(6): 1096-1111. DOI: 10.1002/cre.2.761.
- [85] Rodrigues RV, Sampaio CS, Pacheco RR, et al. Influence of adhesive cementation systems on the bond strength of relined fiber posts to root dentin [J]. *J Prosthet Dent*, 2017, 118(4): 493-499. DOI: 10.1016/j.prosdent.2017.01.006.
- [86] Bitter K, Maletic A, Neumann K, et al. Adhesive durability

- inside the root canal using self-adhesive resin cements for luting fiber posts [J]. *Oper Dent*, 2017, 42 (6) : E167 - E176. DOI: 10.2341/17-017-L.
- [87] 丁虹,兰卫东,孟翔峰. 自粘接树脂水门汀在模拟根管内的硬度变化[J]. *华西口腔医学杂志*, 2012, 30(3):243-246. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1182.2012.03.005.
- [88] 鄢国伟,严崎方,许静,等. 树脂预衬对自粘接树脂水门汀粘接纤维桩的粘接强度和耐久性的影响[J]. *西南军医*, 2019, 21(2):108-112. DOI:10.3969/j.issn.1672-7193.2019.02.003.
- [89] Bishara SE, Oonsombat C, Soliman MM, et al. Comparison of bonding time and shear bond strength between a conventional and a new integrated bonding system[J]. *Angle Orthod*, 2005, 75(2): 237-242. DOI: 10.1043/0003-3219(2005)075<0233:COBTAS>2.0.CO;2.
- [90] Morales K, Garces G, Yagnam S, et al. Comparison of shear bond strength of metal orthodontic brackets bonded to a CAD/CAM prosthetic provisional material after the use of a self-adhesive resin cement versus a light adhesive paste and different surface conditioning protocols: An *in vitro* study [J]. *Int Orthod*, 2022, 20(3): 100661. DOI: 10.1016/j.ortho.2022.100661.
- [91] Atalay C, Koc Vural U, Miletic I, et al. Shear bond strengths of two newly marketed self-adhesive resin cements to different substrates: A light and scanning electron microscopy evaluation [J]. *Microsc Res Tech*, 2022, 85(5): 1694-1702. DOI: 10.1002/jemt.24031.
- [92] Chen AM, Ekambaram M, Li KC, et al. A scoping review of the influence of clinical contaminants on bond strength in direct adhesive restorative procedures [J]. *J Dent*, 2024, 145: 104985. DOI:10.1016/j.jdent.2024.104985.
- [93] Bourgi R, Cuevas - Suarez CE, Devoto W, et al. Effect of contamination and decontamination methods on the bond strength of adhesive systems to dentin: A systematic review [J]. *J Esthet Restor Dent*, 2023, 35(8): 1218-1238. DOI: 10.1111/jerd.13078.
- [94] 李轲,郑适泽,陈玥,等. 树脂水门汀与氧化锆陶瓷剪切粘接强度的研究[J/OL]. *中华口腔医学研究杂志(电子版)*, 2019, 13(4): 212-217. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2019.04.004.
- [95] Liu JF, Yang CC, Luo JL, et al. Bond strength of self-adhesive resin cements to a high transparency zirconia crown and dentin [J]. *J Dent Sci*, 2022, 17(2): 973-983. DOI: 10.1016/j.jds.2021.12.008.
- [96] Chen B, Lu Z, Meng H, et al. Effectiveness of pre-silanization in improving bond performance of universal adhesives or self-adhesive resin cements to silica-based ceramics: Chemical and *in vitro* evidences [J]. *Dent Mater*, 2019, 35(4):543-553. DOI: 10.1016/j.dental.2019.01.010.
- [97] Tyor S, Al - Zordk W, Sakrana AA. Fracture resistance of monolithic translucent zirconia crown bonded with different self-adhesive resin cement: influence of MDP-containing zirconia primer after aging [J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 636. DOI:10.1186/s12903-023-03365-5.
- [98] 王晓晴,黄艳苓,林双,等. 底漆处理对自粘接双固化树脂水门汀粘接强度的影响[J]. *实用口腔医学杂志*, 2019, 35(4): 605-607. DOI:10.3969/j.issn.1001-3733.2019.04.030.
- [99] Calheiros-Lobo MJ, Vieira T, Carbas R, et al. Effectiveness of self-adhesive resin luting cement in CAD-CAM blocks—A systematic review and meta-analysis [J]. *Materials (Basel)*, 2023, 16(8):2996. DOI:10.3390/ma16082996.
- [100] Virupaxi S, Pai R, Mandroli P. Retentive strength of luting cements for stainless steel crowns: A systematic review [J]. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 2020, 38(1):2-7. DOI:10.4103/JISPPD.JISPPD_313_19.
- [101] Hanabusa M, Yoshihara K, Yoshida Y, et al. Interference of functional monomers with polymerization efficiency of adhesives [J]. *Eur J Oral Sci*, 2016, 124(2): 204-209. DOI: 10.1111/eos.12245.
- [102] Wiertelak - Makala K, Szymczak - Pajor I, Bociong K, et al. Considerations about cytotoxicity of resin-based composite dental materials: A systematic review [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 25(1):152. DOI:10.3390/ijms25010152.
- [103] Martinez-Gonzalez M, Fidalgo-Pereira RC, Torres O, et al. Toxicity of resin-matrix cements in contact with fibroblast or mesenchymal cells [J]. *Odontology*, 2023, 111(2): 310-327. DOI:10.1007/s10266-022-00758-w.
- [104] Kanamori Y, Takahashi R, Nikaido T, et al. The effect of curing mode of a high-power LED unit on bond strengths of dualcure resin cements to dentin and CAD/CAM resin blocks [J]. *Dent Mater J*, 2019, 38(6): 947-954. DOI: 10.4012/dmj.2018-344.
- [105] Fidalgo-Pereira R, Torres O, Carvalho Ó, et al. A scoping review on the polymerization of resin-matrix cements used in restorative dentistry [J]. *Materials (Basel)*, 2023, 16(4): 1560. DOI:10.3390/ma16041560.
- [106] Meng X, Yoshida K, Atsuta M. Influence of ceramic thickness on mechanical properties and polymer structure of dual-cured resin luting agents [J]. *Dent Mater*, 2008, 24(5): 594-599. DOI:10.1016/j.dental.2007.06.014.
- [107] Staehle HJ, Sekundo C. 75 years ago: Discovery of resin adhesion to acid-etched enamel—A comparison of the 1949 and 1955 methods [J]. *J Adhes Dent*, 2024, 26(1): 87-92. DOI: 10.3290/j.jad.b5057135.
- [108] Levartovsky S, Ferdman B, Safadi N, et al. Effect of silica-modified aluminum oxide abrasion on adhesion to dentin, using total-etch and self-etch systems [J]. *Polymers*, 2023, 15(2): 446. DOI:10.3390/polym15020446.
- [109] Kim BN, Son SA, Park JK. Effect of exclusive primer and adhesive on microtensile bond strength of self-adhesive resin cement to dentin [J]. *Materials (Basel)*, 2020, 13(10): 2353. DOI:10.3390/ma13102353.
- [110] Aoki R, Takamizawa T, Hayashi K, et al. Influence of different

- curing modes on the bonding effectiveness of self-adhesive resin luting cements in combination with universal adhesives [J]. *Dent Mater*, 2024, 40 (2) : 379 - 385. DOI: 10.1016/j.dental.2023.12.016.
- [111] Yang L, Chen B, Xie H, et al. Durability of resin bonding to zirconia using products containing 10 - methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate[J]. *J Adhes Dent*, 2018, 20(4) : 279-287. DOI:10.3290/j.jad.a40989.
- [112] Zhang X, Zhang Q, Meng X, et al. Rheological and mechanical properties of resin-based materials applied in dental restorations [J]. *Polymers*, 2021, 13 (17) : 2975. DOI: 10.3390/polym13172975.
- [113] Spencer P, Ye Q, Song L, et al. Threats to adhesive/dentin interfacial integrity and next generation bio - enabled multifunctional adhesives [J]. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 2019, 107 (8) : 2673 - 2683. DOI: 10.1002/jbm.b.34358.
- [114] Bin -Jardan LI, Almadani DI, Almutairi LS, et al. Inorganic compounds as remineralizing fillers in dental restorative materials: Narrative review [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24 (9) : 8295. DOI:10.3390/ijms24098295.
- [115] Abaszadeh M, Mohammadi M, Mohammadzadeh I. Biocompatibility of a new antibacterial compound and its effect on the mechanical properties of flowable dental composites (animal study)[J]. *J Dent (Shiraz)*, 2020, 21(1) : 56-62. DOI: 10.30476/DENTJODS.2019.77826.0.
- [116] Maletin A, Knežević MJ, Koprivica DĐ, et al. Dental resin-based luting materials-review [J]. *Polymers (Basel)*, 2023, 15 (20) : 4156. DOI: 10.3390/polym15204156.
- [117] Leung GK, Wong AW, Chu CH, et al. Update on dental luting materials [J]. *Dent J (Basel)*, 2022, 10 (11) : 208. DOI: 10.3390/dj10110208.
- [118] Francois P, Fouquet V, Attal JP, et al. Commercially available fluoride-releasing restorative materials: A review and a proposal for classification [J]. *Materials*, 2020, 13 (10) : 2313. DOI: 10.3390/ma13102313.

(收稿日期:2024-04-17)

(本文编辑:王嫚)