

· 基础研究 ·

不同粘接系统用于树脂陶瓷复合材料的体外实验研究

周力, 颜越, 章非敏*

南京医科大学口腔疾病研究江苏省重点实验室, 南京医科大学附属口腔医院修复科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的: 研究不同粘接系统及老化处理对树脂陶瓷复合材料与牙本质间粘接强度的影响。方法: 本研究使用了一种新型树脂陶瓷修复材料(Lava™ Ultimate, 优韧瓷)。在实验的第一部分, 将制备好的离体牙随机分为3组, 按照两步法自酸蚀通用型粘接系统、全酸蚀粘接系统、一步法自酸蚀通用型粘接系统将优韧瓷块与离体牙的牙本质面粘接, 使用微机控制电子万能试验机测试每组粘接试件的静态断裂强度, 并观察其断口形貌。实验第二部分则将以上3组粘接系统的剪切样本浸泡在3种不同酸碱度的溶液(可乐、苏打水、人工唾液)中, 30 d后比较各组剪切强度间差异。结果: 对于树脂陶瓷复合材料优韧瓷, 一步法及两步法自酸蚀通用型粘接系统组的剪切强度皆优于全酸蚀粘接系统组, 而一步法自酸蚀通用型粘接系统组与两步法自酸蚀通用型粘接系统组的粘接性能差异无统计学意义。3种粘接系统在不同浸泡液中浸泡老化后剪切强度均下降, 但差异无统计学意义, 浸泡液种类对剪切强度的影响也无统计学差异。结论: 3种粘接系统对优韧瓷与牙体间的剪切强度均达到临床要求, 且酸碱老化处理不影响3种粘接系统的剪切强度。

[关键词] 树脂陶瓷复合材料; 粘接界面; 人工老化; 剪切强度

[中图分类号] R783.1

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2023)10-1372-06

doi: 10.7655/NYDXBNS20231006

In vitro experimental study of different bonding systems for resin ceramic composites

ZHOU Li, YAN Yue, ZHANG Feimin*

Jiangsu Key Laboratory of Oral Disease, Nanjing Medical University, Department of Prosthodontics, the Affiliated Stomatological Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** To study the effects of different bonding systems and aging treatment on the bonding strength between resin ceramic composites and dentin. **Methods:** A new hybrid ceramic restorative material (Lava™ Ultimate excellent toughness porcelain) was used in the current study. In the first part of the experiment, the prepared isolated teeth were randomly divided into three groups: a two-step self-etching universal adhesive system, a total acid etching adhesive system, and a one-step self-etching universal adhesive system. The excellent toughness ceramic block was bonded to the isolated dentin surface. The static fracture strength of each group was measured using a microcomputer controlled electronic universal experimental machine, and the fracture morphology was observed. In the second part of the experiment, the shear specimens of the above-mentioned three adhesive systems were immersed in three different solutions (cola, soda water and artificial saliva) for 30 days to compare the difference of shear strength among the groups. **Results:** The shear strength values of the one-step and the two-step self-etching universal adhesive systems were both significantly higher than that of the total acid etching adhesive system, while the difference in bonding performance between the one-step universal bonding system and the two-step self etching universal bonding system was not statistically significant. The shear strength of the three bonding systems decreased after acid and alkali immersion aging, but without significant differences. And there was no statistical difference in the influence of three different solutions on shear strength. **Conclusion:** The shear strength between Lava™ Ultimate and teeth of the three adhesive systems meets clinical requirements, and acid and alkali aging treatment may not affect the shear strength of the three bonding systems.

[Key words] resin ceramic composite materials; bonding interface; artificial aging; shear strength

[J Nanjing Med Univ, 2023, 43(10): 1372-1377]

[基金项目] 南京医科大学内涵建设专项口腔医学优势学科(JX10531804)

*通信作者 (Corresponding author), E-mail: fmzhang@njmu.edu.cn

牙科椅旁计算机辅助设计和辅助制作(computer aided design/computer aided manufacturing, CAD/CAM)技术在口腔修复体临床行业已趋于成熟。近年来出现了一种结合树脂和陶瓷优势的新型树脂陶瓷复合材料,成为间接修复体新的材料选择。如3M公司生产的Lava™ Ultimate(优韧瓷)为全球首款树脂复合陶瓷,具有与牙本质相近的弹性模量(18 GPa),且其完美的切削边缘完整性,使材料在切削和使用过程中不易断裂,不易崩瓷,易于修补^[1],成为椅旁CAD/CAM修复的新选择,因此本实验选择该优韧瓷作为粘接材料。

目前国内外学者对优韧瓷粘接性能研究较多,但多以材料表面处理方式为研究方向,而间接修复体的固位涉及粘接系统、固位形、抗力形、机械强度等多种因素,其中粘接系统的选择对修复效果影响较大。牙本质粘接系统经历七代的变迁,粘接技术发生了质的飞跃,获得了临床医师的肯定。目前临床上应用于口腔的树脂粘接剂,根据其临床操作方式,主要分为全酸蚀和自酸蚀两类^[2]。近年来,市场出现了一种通用型粘接剂,即“第八代粘接剂”,既可应用于全酸蚀技术又可应用于自酸蚀技术。第八代粘接剂因其高粘接强度和各种界面都能粘接的通用性能,及操作步骤简单、适用范围广等优点得到口腔医师的青睐,被广泛应用于口腔治疗中。本次实验采用的Single Bond Universal和OptiBond Versa即为临床常见的第八代粘接剂。因为其操作为自酸蚀,所以本次实验又选用第五代全酸蚀粘接剂Kerr OptiBond S作比较。

本研究从临床角度出发,选用不同粘接系统用于优韧瓷,比较其粘接性能,并探索其在老化环境下粘接性能的改变情况,进而为该材料的临床应用及相关研究提供参考,从而更好服务于临床,为医师在选择牙齿修复保护的粘接系统方面提供可靠的依据。

1 材料和方法

1.1 材料

新鲜离体牙,优韧瓷、Single Bond Universal 万能胶(3M ESPE公司,美国),Kerr OptiBond S、Kerr NX3通用型树脂水门汀、Kerr OptiBond Versa(Kerr公司,美国),硅烷偶联剂、牙科用磷酸酸蚀剂37%(吉林登泰克牙科材料有限公司),可口可乐(经典版,pH=2.5),苏打水(焦作市明仁天然药物有限责任公司,pH=7.8)及人工唾液(按ISO/TR10271标准配制,

pH=6.8)。

光固化灯(桂林啄木鸟医疗器械有限公司),氧化铝喷砂机(EXP,佛山西耐德医疗器械有限公司),游标卡尺(桂林精密),金相磨抛机(上海瑞戈实业有限公司),恒温水浴箱(上海启前电子科技有限公司),微机控制电子万能试验机(济南思达测试技术有限公司),高速涡轮机(NSK公司,日本),超硬石膏(上海医疗器械股份有限公司齿科材料厂)。

1.2 方法

1.2.1 离体牙的收集和制备

选择在口腔外科1个月内拔除的磨牙96颗,为经肉眼观察牙体表面无龋坏、无缺损(四环素牙等)、牙根发育完全,且经放大镜下观察无隐裂的标准牙。用超声洁治机去除离体牙周边的软组织,置于生理盐水,存放在4℃冰箱,定期(1周)更换生理盐水,1个月内使用。

1.2.2 树脂瓷块的制备

在体式显微镜下,观察树脂陶瓷复合材料优韧瓷,确保无明显裂纹和破损,然后用低速切割机切割成96个4 mm×4 mm×5 mm的标准瓷块(粘接面积≈4 mm×4 mm)。按粘接标准要求,依次使用200目、400目、600目的碳化硅耐水磨砂纸湿性打磨树脂瓷块的粘接面60 s,将打磨后的瓷块置于超声荡洗机中荡洗5 min,吹干备用。制备过程均由实验者1人完成。

1.2.3 牙本质块的制备

将低速切割机垂直于牙体长轴,在离体牙的釉牙本质界以上1 mm处去除殆面的牙体,暴露牙本质面。牙本质面>4 mm×4 mm,用水砂纸(360目、600目、800目)依次湿水打磨,再用超声清洗10 min,备用。

1.2.4 实验分组及剪切样本制作

优韧瓷粘接面预处理:小颗粒氧化铝喷砂(50 μm及以下)优韧瓷表面10 s,流动水冲洗并彻底干燥,保证清除所有蚀刻屑。将硅烷偶联剂涂施到喷砂过的优韧瓷表面,轻微干燥(1 s)。

按照随机数字表法,将牙本质块分为3组(n=8),分别用不同粘接方法(两步法自酸蚀粘接系统、双组分全酸蚀粘接系统、一步法自酸蚀粘接系统)将牙本质块与优韧瓷按照说明书进行粘接(表1),砝码加压1 min,光固化20 s,去除多余粘接剂^[3],置于37℃的恒温水浴箱中储存24 h。

按以上操作制备72个样本进行人工老化处理。各粘接系统组内样本随机分3组(n=8),分别置

于可乐(经典版)、苏打水及人工唾液,37℃恒温水浴箱中保存30 d,每周换液。所有的样本包埋于超

硬石膏中,制作成3.5 cm×3.5 cm的柱状物,注意不能污染粘接面。

表1 3种粘接系统的组分

Table 1 Components of three bonding systems

组别	粘接系统	组 分		
		酸蚀剂/预处理剂	粘接剂	水门汀
I组	两步法自酸蚀粘接系统	OptiBond Versa primer	OptiBond Versa adhesive	Kerr NX3通用型树脂水门汀
II组	双组分全酸蚀粘接系统	37.5%磷酸	Kerr OptiBond S	Kerr NX3通用型树脂水门汀
III组	一步法自酸蚀粘接系统	无	Single Bond Universal	Kerr NX3通用型树脂水门汀

1.2.5 样本的包埋、固定

将离体牙置于装满超硬石膏的3.5 cm×3.5 cm×3.0 cm方型聚乙烯管中,并确保瓷块四面与管口四边平行。

1.2.6 剪切强度测试

把剪切样本放在微机控制电子万能实验机特制的夹具上,调整加载头紧贴牙本质面,保证加载力方向与粘接面平行,下降速度设为1 mm/min,电脑自动记录样本断裂瞬间的最大载荷值,即最大剪切力(F)。根据公式 $P = F/S$ (P为剪切强度,F为样本断裂瞬间的最大载荷,S为有效粘接面积),计算剪切强度值(MPa)。测试由同1名操作人员完成。

1.2.7 牙本质面断裂形式

用体视显微镜(×30)观察并记录各组剪切样本的断裂形貌,将其分为3类,界面破坏:破坏发生于被粘体(瓷块或牙本质面)上,破坏界面表面极少或者没有粘接剂余留;内聚破坏:破坏发生在牙本质或优韧瓷内部,表明粘接强度大于树脂水门汀、牙本质或优韧瓷的内聚能;混合破坏:同时含有界面破坏和内聚破坏。

1.3 统计学方法

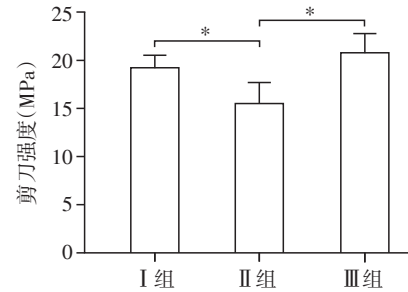
采用SPSS 23.0统计软件对样本数据进行分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用t检验,多组比较采用方差分析,两两比较采用SNK-q检验,组内比较采用配对t检验,计数资料以例数表示, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 各组牙本质剪切强度比较

所有剪切样本放置于37℃恒温水浴箱中水浴24 h后,一步法自酸蚀粘接系统组的剪切强度高于双组分全酸蚀粘接系统组,差异有统计学意义($P=0.001$),两步法自酸蚀粘接系统组的剪切强度也高于双组分全酸蚀粘接系统组($P=0.028$)。一步

法自酸蚀粘接系统剪切强度与两步法自酸蚀粘接系统无明显差异($P=0.208$,图1)。



I组:两步法自酸蚀粘接系统;II组:双组分全酸蚀粘接系统;III组:一步法自酸蚀粘接系统。两组比较,* $P < 0.05$ ($n=8$)。

图1 3种粘接系统剪切强度之间的比较

Figure 1 Comparisons of shear strength among three bonding systems

2.2 各组牙本质断裂形式的比较

剪切样本断裂后,各组牙本质断裂形式均以混合破坏为主,各实验组之间差异无统计学意义($P=0.241$,表2)。

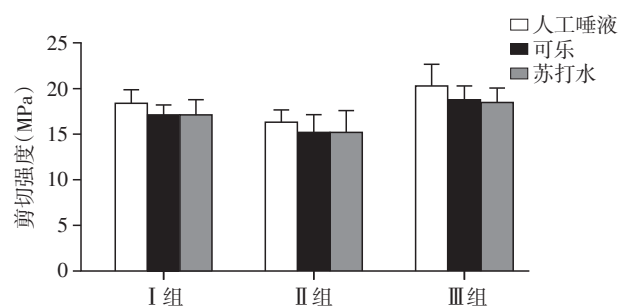
表2 3种粘接系统老化前剪切测试后断裂形式的统计数据

Table 2 Statistical data of fracture forms of three bonding systems after shear testing before aging

粘接系统	断裂形式		
	界面破坏	内聚破坏	混合破坏
两步法自酸蚀粘接系统	2	1	5
双组分全酸蚀粘接系统	3	0	5
一步法自酸蚀粘接系统	1	3	4

2.3 浸泡老化后3种粘接系统的剪切强度

同种粘接系统的不同溶液浸泡后剪切强度值差异无统计学意义(I组、II组、III组内不同浸泡液间剪切强度值比较, P 值分别为0.310、0.603、0.253),即浸泡溶液种类对剪切强度无显著影响(图2)。

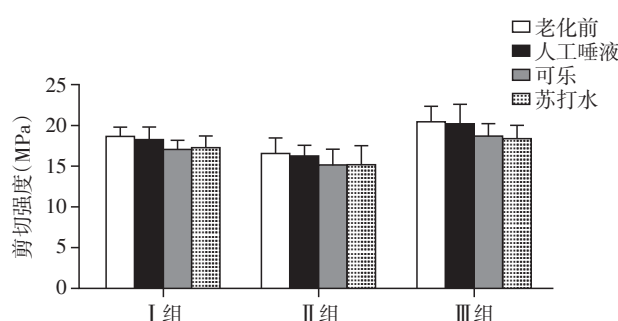


I组: 两步法自酸蚀粘接系统; II组: 双组分全酸蚀粘接系统; III组: 一步法自酸蚀粘接系统。

图2 3种粘接系统在酸碱环境浸泡后剪切强度之间的比较
Figure 2 Comparisons of shear strength among three bonding systems after immersion in acid and alkali environment

2.4 同组老化前后剪切强度

与老化前比较, 各组浸泡可乐^[4]、苏打水、人工唾液 30 d 后剪切强度均不同程度降低, 但剪切强度值的差异无统计学意义, $P=0.157$ (I组), $P=0.553$ (II组), $P=0.201$ (III组), 说明3种老化方式均未对粘接强度造成显著负面影响(图3)。



I组: 两步法自酸蚀粘接系统; II组: 双组分全酸蚀粘接系统; III组: 一步法自酸蚀粘接系统。

图3 3种粘接系统在老化前后剪切强度对比
Figure 3 Comparisons of shear strength among three bonding systems before and after aging in the same group

3 讨论

随着患者对义齿美学外观的更高需求, 医师对修复材料粘接性能、机械强度的更高追求, 研究者不断改进粘接材料及间接修复材料, 优化材料的组成成分, 强化间接修复体性能及舒适感, 并获得较好的粘接强度。本研究使用了目前较为广泛应用的优韧瓷, 即纳米复合陶瓷, 其具有突出的美学效果、优良的生物学性能以及高强度的机械性能^[5], 在国外已作为一种良好的美学修复材料, 成为口腔修

复重建领域中的主流材料之一^[6]。通过查阅国内外文献发现, 与其他CAD/CAM修复材料相比, 优韧瓷的耐磨性、机械强度及与粘接剂结合的能力均较优越, 且更适用于主要依靠粘接力固位的修复方式^[7]。

3.1 处理方式的选择

间接修复体借用树脂水门汀与牙体表面形成了牙本质-粘接剂-复合树脂粘接界面的类似三明治的结构。众多文献研究也表明, 牙体与树脂之间的自酸蚀、全酸蚀技术较为成熟, 基本满足临床实际的需求^[8-9]。但临床操作中发现, 间接修复体的固位力很大程度上受树脂粘接剂的影响, 而粘接强度是评估固位力的重要指标。本实验选用两步法自酸蚀光固化通用粘接剂(第八代)和第五代全酸蚀粘接剂作为研究对象, 以一步法自酸蚀通用粘合剂(第八代)作为对照, 研究不同粘接体系对优韧瓷瓷块与正常牙本质之间粘接性能的影响, 及在酸碱环境下粘接性能的差异, 寻找满足临床需求且性价比较高的粘接体系。

本实验选用的自酸蚀粘接系统是含磷酸酯功能单体(GPDM)的OptiBond Versa和含硅烷偶联剂和磷酸酯功能单体(MDP)的万能胶Single Bond Universal。Single Bond Universal为第八代通用粘接剂, 其不但临床操作的粘接过程对口腔环境要求低, 而且因主要组成成分包括MDP单体、硅烷偶联剂、VitreBond共聚物等, 其与牙本质、牙釉质及修复材料等都有较好的粘接性能^[10]。Single Bond Universal通常与Rely X Ultimate配套使用, 其修复粘接效果获得实验数据的支持及临床医师的肯定^[11]。

OptiBond Versa是来自KaVo Kerr的一种自酸蚀双组分通用新型粘合剂, 具有独特的智能pH技术, 即光聚合后酸度下降, 其预处理剂富含金标准GPDM单体和三溶剂系统(水、乙醇、丙酮), 可实现整体联合作用, 其中包括增强蚀刻、再润湿能力、深度渗透和均匀粘合层^[12]。文献表明, 应用于牙本质的基于GPDM引物配方的界面与基于MDP的粘合剂产生的界面在结构上没有差异^[9, 13]。本次实验数据结果也证实了该观点。

而Kerr OptiBond S系统是将粘接系统与底涂剂合二为一的第五代全酸蚀单组分粘接系统。其粘接原理主要是采用“湿粘接”, 保持水分从而利于保持牙本质胶原网膨松状态, 也利于确保树脂渗透性。因其成分中含有丙酮溶剂, 有较好的挥发性, 能有效置换出牙本质面胶原纤维之间的水分, 树脂单体随后可进入胶原纤维之间的微孔中并与其产

生紧密接触,从而进入胶原纤维结构的内部,形成牢固的微机械锁结固位。

此外,为了确保剪切样本的实验准确性,在优韧瓷块预处理时,本实验均采用氧化铝喷砂及硅烷偶联剂处理。研究表明,树脂陶瓷复合材料经喷砂、氢氟酸或硅烷偶联剂等处理后,能提高间接修复材料的粘接强度^[14]。

3.2 剪切强度测试结果与表面形貌比较

剪切实验是实验室最广泛使用的粘接剂系统评估方法之一。本实验采用剪切强度测试反映粘接界面的粘接力,从而帮助评估牙本质粘接界面的粘接强度。

本实验证实,两种自酸蚀通用型粘接系统粘接强度均明显高于全酸蚀粘接系统。对于树脂复合陶瓷材料优韧瓷,一步法自酸蚀通用型粘接系统与两步法自酸蚀通用型粘接系统效果相当,差异无统计学意义,这与 Krikheli 的实验结果一致^[15]。但丘洪添等^[16]研究表明全酸蚀粘接系统的剪切力及纤维桩与树脂结合强度优于自粘接系统。本研究认为这可能是由于 Single Bond Universal 粘接剂中含有 10-甲基丙烯酸二氢甲酰氧基磷酸酯单体,其作用在于可溶解复合树脂陶瓷材料表面的微粒子层,单体自身扩散,渗透到其中,在复合树脂陶瓷块表面产生树脂浸润层,而树脂浸润层则与流体树脂形成共同体,从而利于粘接强度的提高。而 Kerr OptiBond Versa 属于两步法自酸蚀通用粘合剂,是唯一一种能将全酸蚀粘接剂的“强大粘接性能和持久效果”与自酸蚀粘接剂的“简单操作”结合在一起的新一代粘接产品,是基于 GPDM 的粘合剂,比基于 MDP 的粘合剂具有更大的粘接潜力^[17]。

本研究的牙本质面断裂形貌数据显示,3种粘接系统的断裂形貌差异无明显统计学意义,大多表现为粘接剂残留于纳米复合陶瓷面,而牙本质面较少,表明优韧瓷面通过氧化铝喷砂和硅烷化处理后,与树脂粘接剂获得较好的粘接强度,但是与牙本质的粘接仍是整个粘接中的薄弱环节。

3.3 酸碱老化下剪切强度的比较

在口腔环境中,粘接剂常受到酸碱变化、温度高低及咀嚼力大小等多因素影响继而出现老化现象,尤其是在酸碱环境中随着时间推移影响修复材料的表面性能、颜色等。因此,本研究的第二部分实验就是模拟在口腔酸碱环境下不同粘接系统对优韧瓷面与牙本质面间的剪切强度是否存在差

异。在本实验中,3种粘接系统在酸碱环境浸泡后剪切强度的改变无统计学意义,这与其他学者的实验结果一致^[18-19]。这可能与本次实验选的材料有关。有学者认为 CAD/CAM 树脂复合材料对不同酸性介质和软化水具有足够的抵抗力^[20],可能与优韧瓷成分中纳米填料以分散纳米粒子和纳米粒子团簇形式存在有关,而且纳米填料为 79%氧化锆-二氧化硅,其中氧化锆具有对酸和碱的耐腐蚀性^[21]。所以饮料对优韧瓷的粘接强度影响甚微。

因此,鉴于自酸蚀粘接系统的剪切强度优于全酸蚀粘接系统,而酸碱液老化处理对 3种粘接系统与优韧瓷间的剪切强度均无显著不利影响,在嵌体修复实际操作选择时,医师考虑材料在可侵蚀条件下耐久性可优先使用 CAD/CAM 树脂陶瓷复合材料。

目前在有关树脂复合材料老化实验中,对其颜色稳定性、耐磨性方面的研究^[22]较多,而酸碱老化环境对其粘接性能的相关改变报道比较少,但本研究对粘接试件进行体外老化处理的时间较短,且无法准确模拟口腔内材料变化行为,如在口腔环境中,唾液的缓冲能力 pH 值是会发生动态变化,在体外研究模型中很难表现,因此建议进行进一步的长期体内研究。

[参考文献]

- [1] 颜越,谢海峰,孟虹良,等.一种 CAD/CAM 复合树脂块的低温老化后晶相、结构及抗弯强度稳定性的评价[J].口腔医学,2020,40(4):309-312
- [2] 许屹立,于皓.通用型粘接剂对牙体组织粘接效果影响因素的研究进展[J].口腔疾病防治,2022,30(1):68-72
- [3] 刘光俊,马锦锦,陶珂金,等.不同粘接剂去除方式对釉质微观结构及托槽抗剪切粘接强度的影响[J].口腔医学,2022,42(9):785-789
- [4] SAJASI S S, ESLAMI A G, SAJADI S. Effects of two soft drinks on shear bond strength and adhesive remnant index of orthodontic metal brackets [J]. J Dent (Tehran), 2014, 11(4):389-397
- [5] 杜亚鑫.新型树脂-陶瓷复合材料粘接性能的研究进展[J].口腔医学,2022,42(8):764-768
- [6] 郭馨蔚,张志民,赵洪岩. CAD/CAM 陶瓷材料的分类及研究进展[J].口腔生物医学,2019,10(2):109-113
- [7] 袁珊珊,王月秋,孙汪心悦,等.3种椅旁 CAD/CAM 修复材料耐磨性能和粘接强度的体外研究[J].实用口腔医学杂志,2022,38(5):601-607
- [8] 周磊.全酸蚀/自酸蚀粘结系统对牙本质粘结强度的

- 实验研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2008
- [9] 传爱云. 不同表面处理对CAD/CAM可切削陶瓷与树脂粘接性能影响的研究[D]. 西安: 中国人民解放军空军军医大学, 2017
- [10] 葛弋民, 李轲, 陈玥, 等. 通用型粘接剂临床应用的现状及展望[J]. 东南大学学报(医学版), 2019, 38(4): 741-746
- [11] 韩幸佳, 芦一帆. 3种粘接剂对牙本质粘接强度及耐久性影响的研究[J]. 粘接, 2022, 43(12): 26-30
- [12] SIDDARTH B, AILENI K R, RACHALA M R, et al. Comparative evaluation and influence of new optibond eXTRa self-etch universal adhesive and conventional transbond XT on shear bond strength of orthodontic brackets-An in vitro study[J]. J Orthod Sci, 2022, 11: 43
- [13] YOSHIHARA K, NAGAOKA N, HAYAKAWA S, et al. Chemical interaction of glycerophosphate dimethacrylate (GPDM) with hydroxyapatite and dentin[J]. Dent Mater, 2018, 34(7): 1072-1081
- [14] 李娟, 章非敏, 胡建. 不同粘接剂对两种椅旁CAD/CAM全瓷材料粘接强度影响的实验研究[J]. 口腔医学, 2020, 40(9): 792-795
- [15] KRIKHELI N I, BYCHKOVA M N, SAVRASOVA E V. Comparative evaluation of the shear bond strength of a universal adhesive system in different etching modes and a total etch adhesive system[J]. Stomatologiya (Mosk), 2022, 101(3): 7-11
- [16] 丘洪添, 张超, 徐伟成, 等. 全酸蚀粘接系统与自粘接系统玻璃纤维桩核修复抗剪切强度的对比研究[J]. 广东牙病防治, 2012, 20(7): 345-347
- [17] FEHRENBACH J, ISOLAN C P, MUNCHOW E A. Is the presence of 10-MDP associated to higher bonding performance for self-etching adhesive systems? A meta-analysis of in vitro studies[J]. Dent Mater, 2021, 37(10): 1463-1485
- [18] ELRAGGAL A, R AFIFI R, ALAMOUSH R A, et al. Effect of acidic media on flexural strength and fatigue of CAD-CAM dental materials[J]. Dent Mater, 2023, 39(1): 57-69
- [19] ELRAGGAL A, AFIFI R, ABDELRAHEEM I. Effect of erosive media on microhardness and fracture toughness of CAD-CAM dental materials[J]. BMC Oral Health, 2022, 22(1): 191
- [20] SCHMOHL L, ROESNER A J, FUCHS F, et al. Acid resistance of CAD/CAM resin composites[J]. Biomedicine, 2022, 10(6): 1383
- [21] 万里扬. 热碱溶液蚀刻对氧化锆与树脂粘接强度的影响实验研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015
- [22] ALGHAMDI W S, LABBAN N, MAAWADH A, et al. Influence of acidic environment on the hardness, surface roughness and wear ability of CAD/CAM resin-matrix ceramics[J]. Materials(Basel), 2022, 15(17): 6146
- [23] 李婷, 高晓蔚, 古力巴哈·买买提力. 3种粘接材料在离体后牙纵折粘接中的抗压和抗剪切强度比较[J]. 口腔材料器械杂志, 2016, 25(2): 91-94

[收稿日期] 2023-04-25

(责任编辑: 蒋莉)