

· 口腔医学研究 ·

新型通用型粘接剂对牙本质粘接强度的体外研究

李苑^{1,2}, 苏毅^{1,2}, 江飞^{1,3}, 刘丽^{1,2}, 瞿灵丽^{1,2*}¹南京医科大学口腔疾病研究江苏省重点实验室, ²南京医科大学附属口腔医院第三门诊部; ³南京医科大学附属口腔医院综合诊疗科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的:评价3种通用型粘接剂和1种第7代粘接剂粘接牙本质在酸蚀-冲洗和自酸蚀处理模式下即刻和老化后微拉伸强度的差别。方法:128颗无龋第三磨牙根据不同粘接剂[Optibond Versa(OV), All-bond Universal(AU), Single Bond Universal(SU), Adper Easy One(AEO)]随机分为4组。每种粘接剂组各半分别使用酸蚀-冲洗和自酸蚀的模式。牙齿与复合树脂粘接后一半样本储存于37℃纯水中24h,另一半经5000次冷热循环老化实验。沿长轴将牙齿切割成约0.9mm×0.9mm柱状试件,测试其微拉伸强度,使用三因素方差分析法分析结果。未经冷热循环各组取切片于扫描电镜下观察粘接界面。结果:冷热循环、酸蚀模式分别与粘接剂种类因素存在两因素交互作用,经过冷热循环后和使用自酸蚀处理时3种通用型粘接剂的微拉伸强度均优于AEO($P < 0.001$)。未经冷热循环时,OV、AU的微拉伸强度均>AEO;OV的微拉伸强度>SU。采用酸蚀-冲洗模式处理时,AU的微拉伸强度>AEO,AU的微拉伸强度>SU。结论:通用型粘接剂的微拉伸强度整体要优于第7代粘接剂,尤其是经过冷热循环后和自酸蚀处理时优势更明显。

[关键词] 通用型粘接剂;牙本质粘接;微拉伸强度;酸蚀-冲洗;自酸蚀**[中图分类号]** R783.3**[文献标志码]** A**[文章编号]** 1007-4368(2019)05-754-06**doi:** 10.7655/NYDXBNS20190526

Evaluation of bond strength of new universal adhesives to dentin a vitro study

LI Yuan^{1,2}, SU Yi^{1,2}, JIANG Fei^{1,3}, LIU Li^{1,2}, QU Lingli^{1,2*}¹Jiangsu Key Laboratory of Oral Diseases, Nanjing Medical University, ²Department of the Third Clinic, ³Department of General Dentistry, the Affiliated Stomatological Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** This study aims to evaluate the instant and after thermocycling micro-tensile bond strength (μ TBS) of three universal dentin adhesives and one 7th generation dentin adhesive under etch-rinse and self-etch strategies. **Methods:** Total 128 non-carious human third molars were randomly divided into 4 equal groups based on the dentin adhesives (Optibond Versa (OV), All-bond Universal (AU), Single Bond Universal (SU), Adper Easy One (AEO)). Two bonding modes (etch-rinse and self-etch) were employed for each half of each adhesive group. After bonding with resin, half of the specimens were stored in distilled water at 37℃ for 24h and the other half were underwent a 5000-cycle thermocycling ageing process. Along the long axis, the dentin-resin bonded teeth were sectioned into approximately 0.9mm×0.9mm specimens for the micro-tensile bond strength (μ TBS) test. Statistical analyses were computed using three-way ANOVA. The resin-dentin interfaces of non-thermocycled specimens were observed by scanning electron microscopy (SEM). **Results:** There were 2-factors interactions between thermocycling and adhesives, etch modes and adhesives. After thermocycling or under self-etch strategie, 3 universal adhesives had higher μ TBS than AEO ($P < 0.001$). While without thermocycling, the μ TBS of OV and AU were higher than AEO, and the μ TBS of OV were higher than SU. The μ TBS of AU were higher than AEO and SU when under the etch-rinse strategy. **Conclusion:** Universal adhesives in this study had higher μ TBS than the 7th generation adhesive, especially after thermocycling or under self-etch strategy.

[key words] universal adhesive; dentin bond; micro-tensile bond strength; etch-rinse; self-etch

[J Nanjing Med Univ, 2019, 39(05):754-758, 762]

[基金项目] 江苏省科技厅基础研究计划(自然科学基金)—青年基金项目(BK20180671)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: lingliqu@yeah.net

随着人们对牙齿美观需求的提高,越来越多的人选择牙色充填体来修复前牙或后牙的缺损。作为其中最主要的一种,复合树脂正日益广泛被应用于临床。如何更有效地使树脂粘接于牙齿表面成为了研究的热点。

从1955年Buonocore将酸蚀剂技术应用于牙体粘接至今,粘接技术取得了迅速发展,牙本质粘接剂经历了1~7代变革,相应地出现了全酸蚀技术、自酸蚀技术的粘接材料。近年来,新型通用型粘接剂(也称第8代粘接剂)问世,通过在传统的配方中加入硅烷、磷酸酯单体等功能成分,以获得更好的化学结合力。与第7代粘接剂相比,这种粘接剂既可以用全酸蚀模式,也可以用自酸蚀的模式操作,并且能应用于牙釉质、牙本质、陶瓷以及金属等不同性质材料表面^[1-3]。

本研究拟通过对3种通用型粘接剂Optibond Versa(OV),All-bond Universal(AU),Single Bond Universal(SU),及临床常用的第7代牙本质粘接剂Adper Easy One(AEO)作为对照,分别在酸蚀和自酸蚀的处理方法下,比较即刻和冷热循环后微拉伸强度的大小,来评价通用型粘接剂的粘接效果,包括与对照组第7代粘接剂比较以及3种通用型粘接剂之间微拉伸强度有无差别。

1 材料和方法

1.1 材料

选取南京医科大学附属口腔医院口腔颌面外科门诊2018年7—8月新鲜拔除的上、下颌第三恒磨牙128颗。显微镜下观察牙齿完整、无隐裂纹、无龋坏。用刮匙刮除牙周附着的软组织及结石,浸泡于生理盐水中,置于-20℃冰箱保存,1个月内使用^[4]。本研究经院伦理委员会批准,并知情同意。

OV(Kerr公司,美国),AU(Bisco公司,美国),SU,AEO(3M公司,美国),Gluma 37%磷酸酸蚀剂(Heraeus公司,德国),玛吉斯特光固化复合树脂(Kuraray公司,日本),S10光固化灯(功率1 200 mW/cm² ± 10%,3M公司,美国),冷热循环仪(南京先欧),Isomet低速切片仪(Buehler公司,美国),SMZ1000体视显微镜(Nikon公司,日本),微拉伸仪(Bisco公司,美国),SU3500扫描电子显微镜(Hitachi公司,日本)。

1.2 方法

1.2.1 样本预备

于流动水冲洗下,将每个样本用Isomet低速金刚砂切割机垂直于牙体长轴切除牙釉质和牙本质

浅层。为了模拟玷污层的形成,使用600目湿砂纸打磨暴露的牙本质表面。牙齿打磨后置于体视显微镜下检查,确保无残留的牙釉质。

1.2.2 实验分组

将128颗离体牙随机分为4组,每组32颗牙齿,分别使用4组粘接剂中的一种。同一粘接剂组中再随机分为2组,每组16颗牙齿,其中一半使用酸蚀-冲洗处理,另一半使用自酸蚀粘接处理。自酸蚀处理组按各粘接剂使用方法涂布粘接剂;酸蚀-冲洗处理组在涂布粘接剂之前增加酸蚀步骤(即先用37%磷酸酸蚀牙本质表面15 s,流动水冲洗30 s,而后牙本质表面吹干至半湿润状,后按各粘接剂使用方法涂布粘接剂)。涂布粘接剂后,将树脂以2 mm每层的厚度添加于粘接处理的牙本质表面,共添加3层,每层光固化20 s。

以上8组粘接试件每组再随机分为2组($n=8$),其中一组模拟粘接剂未老化,试件储存于37℃纯水中24 h后即测试微拉伸粘接强度;另一组模拟粘接剂老化过程,试件放入冷热循环仪中进行冷热循环,以5℃(±0.5℃)和55℃(±0.5℃)的冷热水中各停留30 s为1次循环周期,共循环5 000次^[5]。

1.2.3 微拉伸粘接强度测试

每个实验牙用低速切割机流水条件下,顺着牙长轴方向切成0.9 mm厚的薄片,然后将每个薄片切成0.9 mm×0.9 mm的柱状试件。每个实验牙选取5个较长的柱状试件进行微拉伸强度测试。用游标卡尺准确测量出柱状试件粘接面的长度和宽度(mm),算出实际的粘接面积(mm²)。用氰基丙烯酸粘接剂将实验试件两端固定于微拉伸测试仪载物台上,测量试件拉伸断裂时的最大载荷(N),根据粘接面积和载荷峰值计算微拉伸粘接强度。计算公式为:微拉伸粘接强度(Mpa)=载荷峰值(N)/粘接面积(mm²)。

1.2.4 粘接界面电镜观察

未经冷热循环的实验组每组取一个样本切片,每个切片先后用600目、800目、1 200目水砂纸打磨切面后,37%磷酸酸蚀15 s冲洗吹干,5%次氯酸钠脱矿2 min,清洗干燥,喷金,扫描电镜观察粘接界面^[6]。

1.3 统计学方法

本研究中16个实验组每组含8个牙齿,每个牙齿获得5个微拉伸粘接强度数据,以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。使用SPSS22.0软件,采用三因素方差分析方法分析三种因素(冷热循环、酸蚀模式、粘接剂种类)对微拉伸粘接强度的影响。统计学显著水平为 $\alpha=0.05$ 。采用Bonferroni校正时,校正后的 α 水

平=原 α /比较的次数。

2 结果

2.1 微拉伸强度

各组测得的微拉伸强度结果见表1。三因素交互作用分析结果显示:冷热循环、酸蚀模式、粘接剂种类对微拉伸粘接强度的影响不存在三因素交互作用, $F=0.788, P=0.501$ 。进一步进行两因素交互作用分析显示, 冷热循环 \times 酸蚀模式, 对微拉伸粘接强度的影响不具有统计学意义, $F=0.125, P=0.724$; 冷热循环 \times 粘接剂种类, 对微拉伸粘接强度的影响有统计学意义, $F=2.679, P=0.046$; 酸蚀模式 \times 粘接剂种类, 对微拉伸粘接强度的影响具有统计学意义, $F=17.723, P < 0.001$ 。

表1 各组测得的粘接剂微拉伸强度

Table 1 The μ TBS of each group
($\bar{x} \pm s, \text{Mpa}, n=40$)

粘接剂	未经冷热循环		经过冷热循环	
	酸蚀-冲洗	自酸蚀	酸蚀-冲洗	自酸蚀
OV	38.59 \pm 6.11	38.17 \pm 4.71	35.72 \pm 6.64	37.22 \pm 10.77
AU	37.30 \pm 6.04	35.24 \pm 6.96	38.38 \pm 7.45	34.53 \pm 10.36
SU	32.67 \pm 6.44	35.56 \pm 7.25	34.58 \pm 8.46	38.34 \pm 6.05
AEO	33.98 \pm 6.11	26.68 \pm 8.88	33.53 \pm 8.94	23.51 \pm 9.89

故对以上两组影响具有统计学意义的两因素交互组合, 继续分析冷热循环、酸蚀模式、粘接剂种类三因素的单独效应。冷热循环、酸蚀模式两种因素的单独效应分析结果显示, 4种粘接剂各自微拉伸强度由冷热循环因素导致的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$, 表2)。AU的微拉伸强度酸蚀-冲洗模式大于自酸蚀模式, 差异有统计学意义 ($P=0.016$); SU的微拉伸强度自酸蚀模式大于酸蚀-冲洗模式, 差异有统计学意义 ($P=0.007$); AEO的微拉伸强度酸蚀-冲洗模式大于自酸蚀模式, 差异有统计学意义 ($P < 0.001$)。

表2 冷热循环、酸蚀模式两种因素的单因素效应分析结果

Table 2 The results of single-factor effect analysis of thermocycling and etch mode (P 值)

处理因素	粘接剂种类			
	OV	AU	SU	AEO
未经冷热循环 vs. 冷热循环	0.121	0.879	0.056	0.140
酸蚀-冲洗 vs. 自酸蚀	0.660	0.016	0.007	<0.001

对粘接剂种类因素进行单独效应分析, 各组数据进行成对比较分析, 对统计学显著水平进行 Bon-

ferroni 校正(表3)。经过冷热循环后和使用自酸蚀处理时3种通用型粘接剂的微拉伸强度均优于AEO ($P < 0.001$)。未经冷热循环时, OV、AU的微拉伸强度均>AEO, 差异有统计学意义 ($P < 0.001$); OV的微拉伸强度>SU, 差异有统计学意义 ($P=0.003$)。采用酸蚀-冲洗模式处理时, AU的微拉伸强度>AEO, 差异有统计学意义 ($P=0.006$); AU的微拉伸强度>SU, 差异有统计学意义 ($P=0.004$)。

表3 各组测得的粘接剂微拉伸强度两两比较分析结果

Table 3 Pairwise comparison of adhesive group within factors (P 值)

配对比较	冷热循环 \times 粘接剂种类		酸蚀模式 \times 粘接剂种类	
	未经冷热循环	经过冷热循环	酸蚀-冲洗	自酸蚀
	OV vs. AEO	<0.001	<0.001	0.035
AU vs. AEO	<0.001	<0.001	0.006	<0.001
SU vs. AEO	0.013	<0.001	1.000	<0.001
OV vs. AU	0.519	1.000	1.000	0.135
OV vs. SU	0.003	1.000	0.025	1.000
AU vs. SU	0.476	1.000	0.004	0.561

2.2 粘接界面的电镜分析

酸蚀-冲洗处理下的粘接界面(图1)和自酸蚀处理的粘接界面(图2)显示, 采用酸蚀-冲洗处理下形成的树脂突更长, 并且可以观察到有树脂侧突伸入交联的牙本质小管中, 各粘接剂组形成的树脂突, 直接观察并无明显的差别; 采用自酸蚀处理时, 形成的树脂突较短小并稀疏, 各粘接剂组比较, OV组(图2中A、B)形成的树脂突较其他组较长和密集。

3 讨论

粘接剂粘接力的大小, 很大程度上取决于粘接剂的组成成分^[7-8], 或者说是其包含的特定的功能性单体^[9]。本研究中, 选取的4种粘接剂包含的功能性单体分别有10-甲基丙烯酰氧癸基二羟基磷酸酯(10-MDP)、磷酸异丁烯丙烯酰己酯(6-MHP)、二甲基丙烯酸甘油磷酸酯(GPDM), 其中AU与SU中含有10-MDP, OV中含有GPDM, AEO中含有6-MHP。

目前大部分通用型粘接剂都含有10-MDP功能性单体, 其一端是亲水的磷酸基团, 另一端是疏水的甲基丙烯酸酯, 中间是个长碳链。磷酸基团不仅能与牙本质、牙釉质中的羟磷灰石(HAP)形成不溶性的钙盐^[10], 而且还能与氧化锆、金属等形成化学结合^[11-12]。疏水端与树脂结合, 而长碳链则更增加

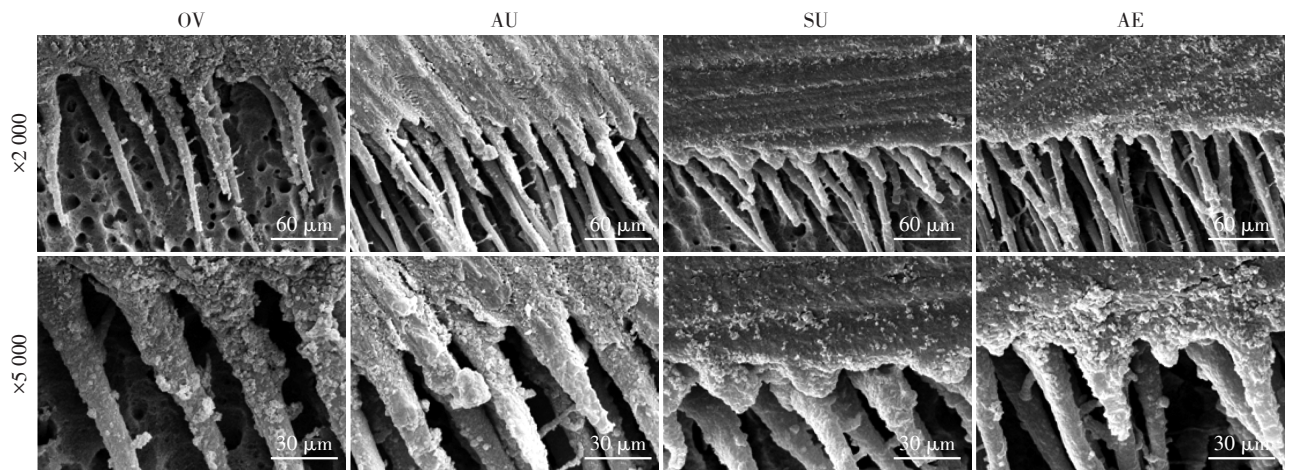


图1 酸蚀-冲洗处理下各粘接剂粘接界面的扫描电镜图像

Figure 1 The SEM picture of resin-dentin interfaces of each group using the etch-rinse mode

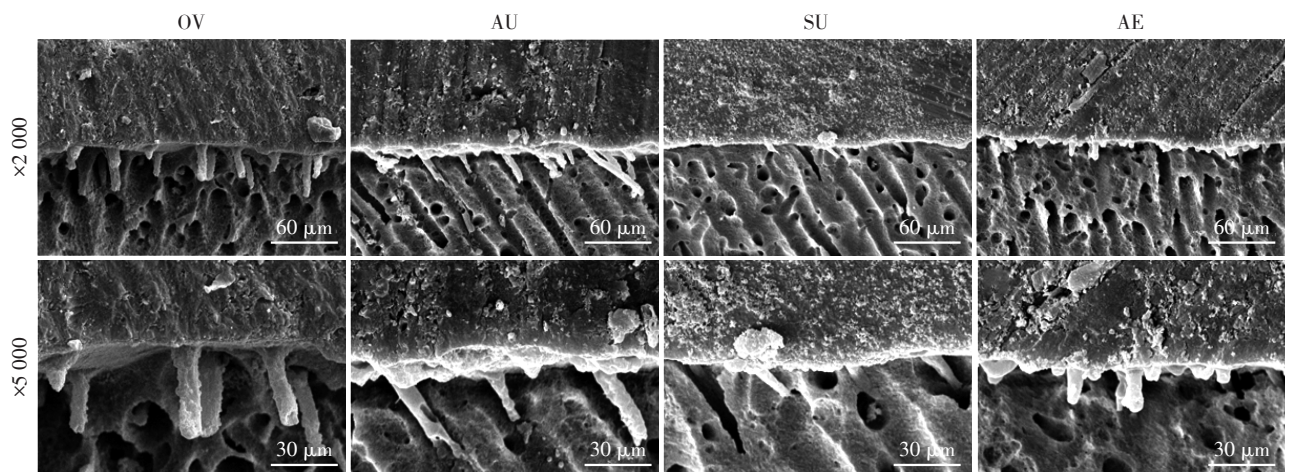


图2 自酸蚀处理下各粘接剂粘接界面的扫描电镜图像

Figure 2 The SEM picture of resin-dentin interfaces of each group using the self-etch mode

其疏水性,从而提高了粘接剂的远期粘接效果以及耐水解性能。在目前发现的功能性单体中,10-MDP是与HAP及牙本质附着力最强、最为稳定的功能性单体^[13]。

6-MHP与10-MDP的结构类似,单体两端分别为磷酸基团和甲基丙烯酸酯。但是中间的碳链较短,仅含有6个碳原子。Yoshihara等^[14]研究证实不仅仅是磷酸基团,空间结构以及碳链长度共同影响着单体与HAP的化学结合。Feitosa等^[15]研究发现,碳链酯基团可能影响单体的亲水性,碳链越长,疏水性越强,单体-钙盐化合物越稳定,即刻微拉伸强度越高。而6-MHP的磷酸基团和甲基丙烯酸酯的距离较短,可能影响了两侧功能基团的作用发挥。

GPDM是最早添加于牙本质表面的化学成分之一,含有1个磷酸基团以及2个甲基丙烯酸酯基团。GPDM的空间链较短,亲水性强,并且具有更强

的酸性,这在本研究的SEM图片中也得到了印证,OV在自酸蚀处理的情况下形成的树脂突,较另外3组更长、更密集。在Wang等^[16]研究中也发现了类似的结果,自酸蚀法处理的牙本质用酒精冲洗后,电镜下观察发现OV组玷污层完全被去除,牙本质小管打开。另一方面,GPDM的2个甲基丙烯酸酯基团使其在聚合反应中更易于树脂基质形成网状结构。

根据Yoshida^[17]的粘接-脱矿理论,酸性分子首先通过静电吸引黏附于HAP,若形成稳定的单体-钙盐则遵循黏附途径;若形成的单体-钙盐易溶,则遵循脱矿途径,钙从HAP上解脱,导致牙本质脱矿。GPDM与HAP作用形成的钙盐溶解度相对较高,所以GPDM的脱矿作用更明显,而与HAP的化学结合较10-MDP弱。Yoshihara等^[18]发现,自酸蚀处理后电镜下观察10-MDP脱矿作用不如GPDM明显,但

是10-MDP是一种独特的单体,能够在将钙从HAP表面解脱的同时与钙形成稳定难溶的单体-钙盐。在本研究中>OV老化前微拉伸强度大于SU,可能归功于其功能单体具有较强的酸性,从而在混合层形成了良好的树脂突,发挥了微机械锁扣作用。但当冷热循环后,OV的粘接强度优势不再明显,原因可能是其与HAP形成钙盐的稳定性较差,老化后树脂突逐渐降解。

根据对牙本质粘接面的处理方式,可将牙本质粘接系统分为酸蚀-冲洗技术和自酸蚀粘接技术。一直以来三步法(酸蚀-冲洗-粘接)技术都被认为是粘接系统的金标准。预先的磷酸酸蚀可以有效地去除玷污层,使粘接剂中的树脂基质更容易渗入包绕脱矿的胶原纤维。但是这种处理的技术敏感性更高,而且需要更多的操作时间^[19]。自酸蚀处理过程中,粘接单体酸蚀并同时渗透入牙本质基层,形成更连续、均匀的混合层。但也有学者质疑,自酸蚀技术由于无法形成良好的微机械嵌合作用,仅仅依靠粘接剂与牙本质HAP的化学结合,粘接力较弱^[20]。本研究的电镜图片显示,经过酸蚀-冲洗处理较自酸蚀处理,4种粘接剂形成的树脂突更长、更密集。

在对酸蚀模式的单因素效应的分析中发现,酸蚀模式对OV微拉伸强度的影响差异无统计学意义,这可能也源于其成分中GDPM较强的酸蚀作用产生更强的微机械锁扣作用。AEO酸蚀-冲洗处理微拉伸强度优于自酸蚀处理微拉伸强度,原因可能是AEO的功能性单体6-MHP酸性较弱,在采用自酸蚀处理时,对牙本质的脱矿程度较低。AU酸蚀-冲洗处理微拉伸强度也优于自酸蚀处理微拉伸强度,SU则相反。Daneshkazemi等^[21]关于酸蚀模式对AU和SU粘接强度的影响的研究,结果与本研究一致。究其原因可能是由于AU属于超温和通用型粘接剂(pH=3.1),对牙本质面酸蚀能力不足,所以采用酸蚀-冲洗处理模式可增加其粘接力。Rosa等^[22]指出,酸蚀-冲洗可以提高超温和通用型粘接剂与牙本质的粘接强度,但对于其他通用型粘接剂,则没有类似的效果。

冷热循环是用于模拟口腔材料老化,评价材料远期使用效果的方法之一。本研究中,将一半的样本进行了5 000次的冷热循环,用于对比研究冷热循环因素对粘接剂粘接强度的影响。通过三因素方差分析发现冷热循环和粘接剂种类存在两因素交互作用,而且经历冷热循环后通用型粘接剂的微拉伸强度相对于第7代粘接剂优势更加明显,说明通用型粘接剂的远期使用效果优于第7代粘接

剂。但是,4种粘接剂各自微拉伸强度由冷热循环因素导致的差异、经历冷热循环后通用型粘接剂之间的微拉伸强度的差异均无统计学意义。Gale等^[5]指出冷热循环实验10 000次与材料在口腔内行使正常功能1年的老化作用类似,本研究设计的5 000次冷热循环也许尚不足够充分模拟粘接剂的老化程度。多重因素作用下通用型粘接材料的远期使用效果差异有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] PERDIGAO J, SEZINANDO A, MONTEIRO P C. Laboratory bonding ability of a multi-purpose dentin adhesive [J]. *Am J Dent*, 2012, 25(3): 153-158
- [2] BAHROLOLUMI N, BEGLOU A, NAJAFI-ABRAN-ABADI A, et al. Effect of water storage on ultimate tensile strength and mass changes of universal adhesives [J]. *J Clin Exp Dent*, 2017, 9(1): e78-e83
- [3] 吴欣祎, 谢海峰, 陈冰卓, 等. 一种通用粘接剂对不同CAD/CAM可切削材料的短期粘接成绩[J]. *口腔医学*, 2019, 39(3): 203-206
- [4] PANIGHI M M, ALLART D, JACQUOT B M, et al. Influence of human tooth cryopreservation on dentin bond strength [J]. *Dent Mater*, 1997, 13(1): 56-61
- [5] GALE M S, DARVELL B W. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations [J]. *J Dent*, 1999, 27(2): 89-99
- [6] ONAY E O, YAMANEL K, KORKMAZ-CEYHAN Y, et al. Comparison of three adhesive systems in class II composite restorations in endodontically treated teeth: Influence of Er: YAG laser conditioning and gingival margin levels on microleakage [J]. *J Clin Exp Dent*, 2018, 10(8): e781-e788
- [7] WALTER R, SWIFT E J, NAGAOKA H, et al. Two-year bond strengths of "all-in-one" adhesives to dentine [J]. *J Dent*, 2012, 40(7): 549-555
- [8] 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
- [9] VAN LANDUYT K L, YOSHIDA Y, HIRATA I, et al. Influence of the chemical structure of functional monomers on their adhesive performance [J]. *J Dent Res*, 2008, 87(8): 757-761
- [10] MATSUI N, TAKAGAKI T, SADR A, et al. The role of MDP in a bonding resin of a two-step self-etching adhesive system [J]. *Dent Mater J*, 2015, 34(2): 227-233
- [11] 卢积岑, 钱梦珂, 谢海峰, 等. 磷酸酯单体化学调节牙科氧化锆陶瓷的红外光谱分析和模拟 [J]. *南京医科大学* (下转第762页)

- motor control of the jaw following alteration of orofacial afferent inputs[J]. *Clin Oral Investig*, 2017, 21(2): 613-626
- [2] IIDA T, KOMIYAMA O, OBARA R, et al. Repeated clenching causes plasticity in corticomotor control of jaw muscles[J]. *Eur J Oral Sci*, 2014, 122(1): 42-48
- [3] IIDA T, OVERGAARD A, KOMIYAMA O, et al. Analysis of brain and muscle activity during low-level tooth clenching - a feasibility study with a novel biting device[J]. *J Oral Rehabil*, 2014, 41(2): 93-100
- [4] IIDA T, KOMIYAMA O, HONKI H, et al. Effect of a repeated jaw motor task on masseter muscle performance[J]. *Arch Oral Biol*, 2015, 60(11): 1625-1631
- [5] KOTHARI M, SVENSSON P, JENSEN J, et al. Training-induced cortical plasticity compared between three tongue-training paradigms[J]. *Neuroscience*, 2013, 246: 1-12
- [6] KUMAR A, KOTHARI M, GRIGORIADIS A, et al. Bite or brain: Implication of sensorimotor regulation and neuroplasticity in oral rehabilitation procedures[J]. *J Oral Rehabil*, 2018, 45(4): 323-333
- [7] KUMAR A, SVENSSON K G, BAAD-HANSEN L, et al. Optimization of jaw muscle activity and fine motor control during repeated biting tasks[J]. *Arch Oral Biol*, 2014, 59(12): 1342-1351
- [8] HELLMANN D, GIANNAKOPOULOS N N, BLASER R, et al. Long-term training effects on masticatory muscles[J]. *J Oral Rehabil*, 2011, 38(12): 912-920
- [9] JOHANSSON A S, KARL-GUNNAR W, EDIN B B. Task-dependent control of the jaw during food splitting in humans[J]. *J Neurophysiol*, 2014, 111(12): 2614-2623
- [10] KUMAR A, GRIGORIADIS J, TRULSSON M, et al. Effects of short-term training on behavioral learning and skill acquisition during intraoral fine motor task[J]. *Neuroscience*, 2015, 306: 10-17
- [11] SVENSSON P, ROMANIELLO A, ARENDT-NIELSEN L, et al. Plasticity in corticomotor control of the human tongue musculature induced by tongue-task training[J]. *Exp Brain Res*, 2003, 152(1): 42-51
- [12] KUMAR A, TANAKA Y, GRIGORIADIS A, et al. Training-induced dynamics of accuracy and precision in human motor control[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 6784
- [13] ZHANG H, KUMAR A, LUO X P, et al. Effect of short-term training on fine motor control in trigeminally innervated versus spinally innervated muscles[J]. *Hum Mov Sci*, 2018, 58: 132-139
- [14] IIDA T, KATO M, KOMIYAMA O, et al. Comparison of cerebral activity during teeth clenching and fist clenching: a functional magnetic resonance imaging study[J]. *Eur J Oral Sci*, 2010, 118(6): 635-641

[收稿日期] 2019-11-23

(上接第758页)

- 学报(自然科学版), 2017, 37(6): 767-770
- [12] CHEN L, SUH BI, BROWN D, et al. Bonding of primed zirconia ceramics: Evidence of chemical bonding and improved bond strengths[J]. *Am J Dent*, 2012, 25(2): 103-108
- [13] YOSHIHARA K, YOSHIDA Y, HAYAKAWA S, et al. Self-etch monomer-calcium salt deposition on dentin[J]. *J Dent Res*, 2011, 90(5): 602-606
- [14] YOSHIHARA K, YOSHIDA Y, NAGAOKA N, et al. Adhesive interfacial interaction affected by different carbon-chain monomers[J]. *Dent Mater*, 2013, 29(8): 888-897
- [15] FEITOSA V P, OGLIARI F A, VAN MEERBEEK B, et al. Can the hydrophilicity of functional monomers affect chemical interaction?[J]. *J Dent Res*, 2014, 93(2): 201-206
- [16] 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(1): 72-80
- [17] YOSHIOKA M, YOSHIDA Y, INOUE S, et al. Adhesion/decalcification mechanisms of acid interactions with human hard tissues[J]. *J Biomed Mater Res*, 2002, 59(1): 56-62
- [18] YOSHIHARA K, HAYAKAWA S, NAGAOKA N, et al. Etching efficacy of self-etching functional monomers[J]. *J Dent Res*, 2018, 97(9): 1010-1016
- [19] BRACKETT M G, LI N, BRACKETT W W, et al. The critical barrier to progress in dentine bonding with the etch-and-rinse technique[J]. *J Dent*, 2011, 39(3): 238-248
- [20] SARR M, KANE AW, VREVEN J, et al. Microtensile bond strength and interfacial characterization of 11 contemporary adhesives bonded to bur-cut dentin[J]. *Oper Dent*, 2010, 35(1): 94-104
- [21] DANESHKAZEMI P, GHASEMI A, DANESHKAZEMI A, et al. Evaluation of micro shear bonding strength of two universal dentin bondings to superficial dentin by self etch and etch-and-rinse strategies[J]. *J Clin Exp Dent*, 2018, 10(9): e837-e843
- [22] ROSA W L, PIVA E, SILVA A F. Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis[J]. *J Dent*, 2015, 43(7): 765-776

[收稿日期] 2019-06-03