

[DOI]10.12016/j.issn.2096-1456.2018.08.008

· 临床研究 ·

氢氟酸酸蚀后不同方法清洁两种陶瓷嵌体对其表面及粘接强度的影响

田梦婷, 张蕾, 何惠宇, 刘宁宁, 韩祥祯, 杜丽娟

新疆医科大学第一附属医院口腔修复科, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐(830000)

【摘要】 目的 研究氢氟酸(Hydrofluoric acid, HF)酸蚀后清洁处理对IPS e-max与Vita Mark II陶瓷嵌体表面及粘接强度的影响。方法 用CAD/CAM分别制作IPS e-max和Vita Mark II陶瓷嵌体试件各50个,统一使用9% HF酸蚀粘接表面后,随机平均分配成1个对照组(A组)和4个实验组,分别采用中和粉(B组),37%磷酸(C组),超声波荡洗(D组)及中和粉+37%磷酸+超声波荡洗联合处理(E组),对实验组进行处理,对照组不进行清洁处理。每组8个试件在标准条件下与Variolink N树脂粘接剂粘接,经37℃恒温水浴24 h后测试剪切粘接强度,记录断裂的位置和粘接破坏的类型,分析剪切粘接强度的平均值。其余2个试件用扫描电子显微镜观察其表面微观形态,包括晶体结构、孔隙图、残余物。**结果** IPS e-max组和Vita Mark II组结果相似,两组最大粘接强度均在E处理,其中,IPSe-max瓷嵌体组粘接强度均数较对照组增加11.96 MPa, Vita Mark II瓷嵌体组,粘接强度均数较对照组增加9.74 MPa。IPS e-max和Vita Mark II瓷嵌体两组中统计学分析结果相似,其中C、D及E处理组与对照组A处理组的粘接强度之间的差异有统计学意义($P < 0.05$), B处理组与对照组A的粘接强度之间的差异无统计学意义,同时发现处理组B、C、D、E组的粘接强度各组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。电镜扫描观察发现,实验组酸蚀清洁处理后陶瓷表面孔隙增宽且均匀,残留物少于对照组, D、E组效果最佳。**结论** HF酸蚀后清洁处理可增强IPS e-max与Vita Mark II陶瓷嵌体的粘接强度,联合处理时粘接强度最高,同时电镜下表面残留物较少。

【关键词】 CAD/CAM; IPSe-max陶瓷; Vita Mark II陶瓷; 嵌体; 酸蚀

【中图分类号】 R783.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2018)08-0519-07

【引用著录格式】 田梦婷,张蕾,何惠宇,等.氢氟酸酸蚀后不同方法清洁两种陶瓷嵌体对其表面及粘接强度的影响[J].口腔疾病防治,2018,26(8):519-525.

Effect of different hydrofluoric acid etching methods on the surface and adhesion strength of two ceramic inlays TIAN Mengting, ZHANG Lei, HE Huiyu, LIU Ningning, HAN Xiangzhen, DU Lijuan. Department of Prosthodontics, The First Affiliated Hospital of XinJiang Medical University, Urumqi 830000, China

Corresponding author: HE Huiyu, Email: 1193332532qq.com, Tel: 0086-991-4365663

【Abstract】 Objective To study the effect of cleaning treatment with hydrofluoric acid (HF) on the surface and bonding strength of IPS e.max and Vita Mark II ceramic inlays. **Methods** Fifty pieces of IPS e.max and Vita Mark II ceramic inlay specimens were made separately using CAD/CAM. After uniformly bonding surfaces using 9% HF etching, they were randomly divided into an untreated control group (group A) and the following experimental groups: neutralizing powder (B group), 37% phosphoric acid (group C), ultrasonic cleaning (group D) and neutralizing powder + 37% phosphoric acid + ultrasonic cleaning (group E). Each set of 8 specimens was bonded to Variolink N resin adhesive under standard conditions. The shear adhesive strength was measured after exposure to a constant-temperature water bath at 37℃ for 24 h. The location of the fracture and the type of adhesion failure were recorded. The shear adhesion and the average strength of the connection were analyzed. The remaining 2 specimens were used for scanning elec-

【收稿日期】 2018-01-05; **【修回日期】** 2018-04-25

【基金项目】 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2016D01C252)

【作者简介】 田梦婷,硕士研究生在读,Email: 1492733871@qq.com

【通信作者】 何惠宇,主任医师,博士,Email: 1193332532qq.com

tron microscopy (SEM) to observe the surface morphology, including the crystal structure, pore pattern, and residue. **Results** The results were similar for the IPS e.max and Vita Mark II inlays. The maximum bond strength was observed in the IPS e.max ceramic inlays in group E, with an average bond strength 11.96 MPa higher than that in group A. Among the Vita Mark II porcelain inlays, the maximum bond strength was observed in group E. The average bond strength was 9.74 MPa higher than that in group A. The results of the statistical analysis were similar for the IPS e.max and Vita Mark II porcelain inlays, with significant differences in the bond strengths between groups C, D, and E and the control group ($P < 0.05$). There was no significant difference in the adhesive strength between groups B and A. At the same time, there was no significant difference in the bond strength between the treatment groups B, C, D, and E ($P > 0.05$). SEM revealed that the pores on the surface of ceramics subjected to the acid etching treatment were broadened and uniform, with less residue than observed in the control group. The effects of treatments D and E were the best. **Conclusion** The HF etching treatment can enhance the bonding strength of IPS e.max and Vita Mark II ceramic inlays while leaving little residue, and the joint strength is highest when the joints are treated together.

[Key words] CAD/CAM; IPS e.max ceramics; Vita Mark II ceramics; Inlays; Etching

陶瓷具有良好的生物相容性、美观性、耐磨损性和抗腐蚀性^[1-3],故而在现代修复体中被广泛使用^[4-6],随着科技水平的不断发展,陶瓷材料的种类越来越多。如今,数字化口腔医学迅速发展,计算机辅助设计/辅助制作(CAD/CAM)技术制作的嵌体以美观性好、磨除牙体组织少、边缘密合性好等性能,在临床中越来越多的被使用。IPS e-max和Vita Mark II陶瓷因其高度致密、少孔隙、高强度及耐久性等特性^[7-8],在CAD/CAM技术制作中脱颖而出^[9-10],成为临床中最为常用的两种陶瓷。

瓷嵌体的并发症主要有继发龋、折裂、脱落等,这些都与粘接强度密切相关,粘接是衡量瓷嵌体是否成功应用的因素之一,其中瓷表面处理技术又是粘接过程的关键步骤^[11-12]。瓷表面处理包括酸蚀处理和硅烷化处理,其中酸蚀处理的相关研究表明,用9%氢氟酸(Hydrofluoric acid, HF)酸蚀陶瓷20~30 s足以选择性地溶解玻璃相^[13],使表面多孔化以利于树脂突的形成^[13-14],通过扩大表面积以增加树脂机械固位力^[8]。但是,已经有研究证明,陶瓷表面HF酸蚀后表面形成相当量的沉积物,如果不能去除,则会导致陶瓷的粘接强度降低^[13, 15-16]。本研究探讨HF酸蚀后使用不同清洁方法处理对IPS e-max和Vita Mark II瓷嵌体粘接强度的影响,以寻找优化HF酸蚀过程的方法,以期为临床选择更有利于提高瓷嵌体粘接强度,减少嵌体脱落风险的方法提供参考。

1 材料和方法

1.1 牙体组织材料

收集近3个月因牙周病或阻生而拔除,根尖发

育完全,无釉质缺陷的恒磨牙100颗,冠宽为9.6~11.2 mm,15倍放大镜下排除隐裂,清除牙体组织上软组织,并超声清洁牙体。浸泡于0.9%的生理盐水中,置于冰箱4℃保存,直至开始试验^[17]。冻存不改变牙本质的结构性质,特别是对渗透性无影响,可在粘接实验中减小实验误差。将离体牙截除多余的根部,栽入石膏模型的相应牙位,与模型高度和长轴相适应。用金刚石车针在石膏模型上对离体牙进行嵌体洞型预备,制备出相似形态、位置、洞深的MO洞型(洞深达到2 mm及以上,约12°的殆面聚合度,龈壁位于平颈缘处,龈壁底平,各壁无倒凹,轴髓线角圆钝)。洞型制备由同一有经验的专业医生完成,完成后由另一医生检查挑选,通过观察和测量,剔除深度、聚合度相差较大的离体牙,保证用于实验的所有制备完成的离体牙符合制备标准,同时洞型一致。

1.2 陶瓷嵌体材料

运用CAD技术在软件中设计离体牙的相应嵌体试件的3D模型,将设计好的三维数字模型导入CAM软件,调整切削方向,设计支撑结构,自动计算切削工艺后导入切削软件,分别放置IPS e-max和Vita Mark II瓷块,切削出初嵌体。使用烧结炉快速烧结程序,烧结后获得IPS e-max和Vita Mark II嵌体。

1.3 主要仪器设备

万能试验机(WDW-20,日本);超声荡洗仪(CLEAN35,中国);气密玻璃罐(JFD-320,日本电子);金/钯(JFD-1600,日本电子);扫描电子显微镜,(JSM-6360LV,日本、JSM 5600LV,日本)。

1.4 粘接强度测试

分别对IPS e-max嵌体样品用HF酸蚀20 s,对

Vita Mark II 嵌体样品用 HF 酸蚀 40 s^[18],并在三用枪下冲洗 1 min,进行表面肉眼可见 HF 的清洁。然后将 2 组瓷嵌体酸蚀后的组织面暴露于不同的清洁处理,得到 2 组瓷嵌体的 4 个实验组和对照组,其中 A 组为对照组。嵌体样品的表面处理分组如下,A 组:使用牙椅上的三用枪在距离嵌体组织面 3 mm 处冲洗 1 min;B 组:将配套的中和粉均匀的涂布在组织面,待其溶解 20 s 后,三用枪距离嵌体组织面 3 mm 冲洗 1 min;C 组:将 37% 的磷酸涂布于嵌体组织面,使用一次性毛刷将其涂布均匀,1 min 后,三用枪距离嵌体组织面 3 mm 冲洗 1 min;D 组:将嵌体放入无菌的超声荡洗机中,放置相同高度的蒸馏水,频率为 45 kHz,时间为 5 min;E 组:A+B+C+D 组处理步骤顺序进行。

各组 8 个试件硅烷处理剂处理 1 min 后等待用 Variolink N 树脂粘接剂(义获嘉,全冠瓷粘结树脂水门汀套装,瑞士)与牙体组织粘接,处理如下:35% 磷酸对牙体组织进行酸蚀处理,釉质部分 10~15 s,牙本质部分 3~5 s,使用大量的水进行冲洗,吹干。涂牙本质处理剂,涂 10 s,等 5 s,吹干;涂上牙本质封闭剂,等 10 s,吹干;在牙体组织和嵌体的粘接面上涂上釉质粘接剂,等 20 s,吹干。将 Variolink N 树脂粘接剂涂在瓷修复体的粘接面上,戴好后,短波蓝光照射 2~3 s,让多余的树脂粘结剂固化呈果冻状,去除干净,在修复体的边缘涂上防氧化剂,然后使用光固化灯每个面光照 40~60 s。经 37℃ 恒温水浴 24 h,直至测试剪切粘接强度。

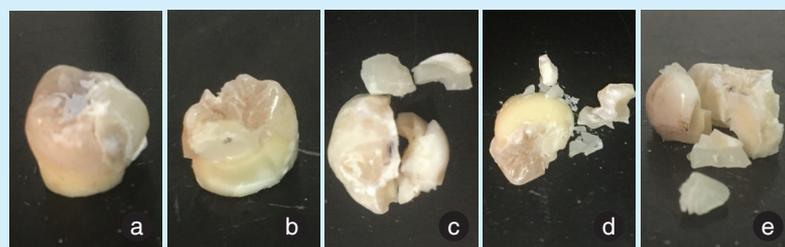
将粘接完成的试件连接到电子式万能试验机的装置,试件底部放置垫片以做缓冲以避免接触损伤。将修复体与 20 kN 的装载单元对准,方向与牙体长轴平行(直径为 5 mm 的剪切测试头),压向嵌体中央位置,与颊舌尖三角嵴成两点接触,以 0.5 mm/min 的速度进行试验,直到断裂发生为止。读取万能试验机上读数,记录为最大剪切粘接强度,并记录断裂的位置和粘接破坏的类型。

1.5 电镜扫描

各处理组其余 2 个试件用于电镜扫描,将试件用低速金刚石砂轮切割成 $(15 \pm 0.25) \text{ mm} \times (11 \pm 0.25) \text{ mm} \times (2 \pm 0.25) \text{ mm}$ 的 20 个矩形切片。使用超声荡洗仪在蒸馏水中将样品超声清洗 5 min,然后储存在含有硅胶的气密玻璃罐中并密封以确保除湿。标本涂一层金/钯。将盘定位在扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)中,对每组相应样品进行 SEM 分析。IPS e-max 实验组在 SEM 上放大 3000 倍数获得图像,观察分析酸蚀表面和残留物多少;实验组在 SEM 上放大 1000 倍数获得图像,观察分析酸蚀表面和残留物多少。

1.6 嵌体断裂的位置和粘接破坏的类型记录方法

嵌体断裂的位置和粘接破坏的类型,折裂形式分组采用类似 Burke 描述的分组方法^[2]。嵌体的折裂形式分为以下 5 种, I:轻微折裂或嵌体裂缝; II:小于 1/2 嵌体折裂; III:冠沿着粘接线折裂或 1/2 嵌体移位或缺失; IV:大于 1/2 嵌体折裂; V:离体牙和或嵌体的严重折裂(图 1)。



a:轻微折裂或嵌体裂缝;b:小于 1/2 嵌体折裂;c:冠沿着粘接线折裂或 1/2 嵌体移位或缺失;d:大于 1/2 嵌体折裂;e:离体牙和或嵌体的严重折裂。

图 1 嵌体断裂的位置和粘接破坏的类型

Figure 1 Fracture location and bond damage by inlay type

1.7 统计分析方法

运用 SPSS 24 软件对数据进行分析,IPSe-max 和 Vita Mark II 两实验组中各个处理组的剪切强度用 $\bar{x} \pm s$ 表示,对数据进行方差分析,对有差异的因

素分别进行 Tukey-Kramer 多重比较检验;分别对两组瓷嵌体陶瓷嵌体断裂的位置与粘接破坏类型的数据进行卡方检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

酸蚀后清洁处理对 IPS e-max 和 Vita Mark II 瓷嵌体粘接强度变化见表 1。其中 IPS e-max 瓷嵌体实验组最大粘接强度在 E 处理组。Vita Mark II 瓷嵌体实验组中最大粘接强度也在 E 处理组。IPS e-max 和

Vita Mark II 瓷嵌体两组中 C、D 及 E 处理组与对照组 A 处理组的粘接强度之间的差异有统计学意义 ($P < 0.05$), B 处理组与对照组 A 的粘接强度之间的差异无统计学意义,同时发现处理组 B、C、D、E 组的粘接强度各组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 1 IPS e-max 和 Vita Mark II 瓷嵌体组酸蚀后不同处理方法下的粘接剪切强度
Table 1 Shear bond strength of IPS e.max and Vita Mark II inlays after all post-etch cleaning treatments $\bar{x} \pm s$, MPa

组别	A 处理组	B 处理组	C 处理组	D 处理组	E 处理组
IPS e-max	6.890 ± 2.054	9.968 ± 2.939	12.586 ± 2.759 ¹⁾	17.013 ± 4.651 ¹⁾	18.849 ± 5.691 ¹⁾
Vita Mark II	7.397 ± 2.338	7.444 ± 2.192	11.970 ± 1.888 ¹⁾	16.464 ± 2.597 ¹⁾	17.142 ± 4.902 ¹⁾

注 1): $P < 0.05$ vs A 处理组。

IPS e-max 和 Vita Mark II 瓷嵌体陶瓷嵌体断裂的位置与粘接破坏类型见表 2, 各组组间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 2 IPSe-max 和 Vita Mark II 瓷嵌体各组样本的折裂类型
Table 2 Fracture modes detected in groups of IPS e-max and Vita Mark II ceramic inlays $n = 10$

组别	折裂类型					χ^2 值	P值
	I	II	III	IV	V		
IPS e-max	A	1	0	3	4	12.78	0.153
	B	4	0	2	3		
	C	2	0	1	5		
	D	2	3	2	3		
	E	0	1	2	4		
Vita Mark II	A	2	3	0	4	7.98	0.103
	B	1	2	2	2		
	C	0	2	4	3		
	D	1	3	2	2		
	E	1	2	0	5		

图 2、3 显示了所有测试材料的对照组和 4 个实验组的 SEM 图像。所有对照组试件的酸蚀表面是不规则的, 并且通过玻璃相变的多个微观, 凹槽和纹理的表征, 瓷片酸蚀表面可见大片残留物质。IPS e-max 对照组样品由于酸蚀后未行特殊清洁处理而显示出孔隙细小不规则的不清洁的表面, 表面呈现黑色和浅色区域, 其代表玻璃基体和晶体, IPS e-max 瓷片的密度和不规则边界为 $0.94 \sim 1.55 \mu\text{m}$ (图 2a); 随着对试件表面进行酸蚀后中和粉处理, 晶体周围溶解的硅酸锂晶体相清除较对照组彻底, 表面孔隙细长的凹槽但不规则, IPS e-max 瓷片边界为 $0.75 \sim 1.75 \mu\text{m}$ (图 2b); 酸蚀

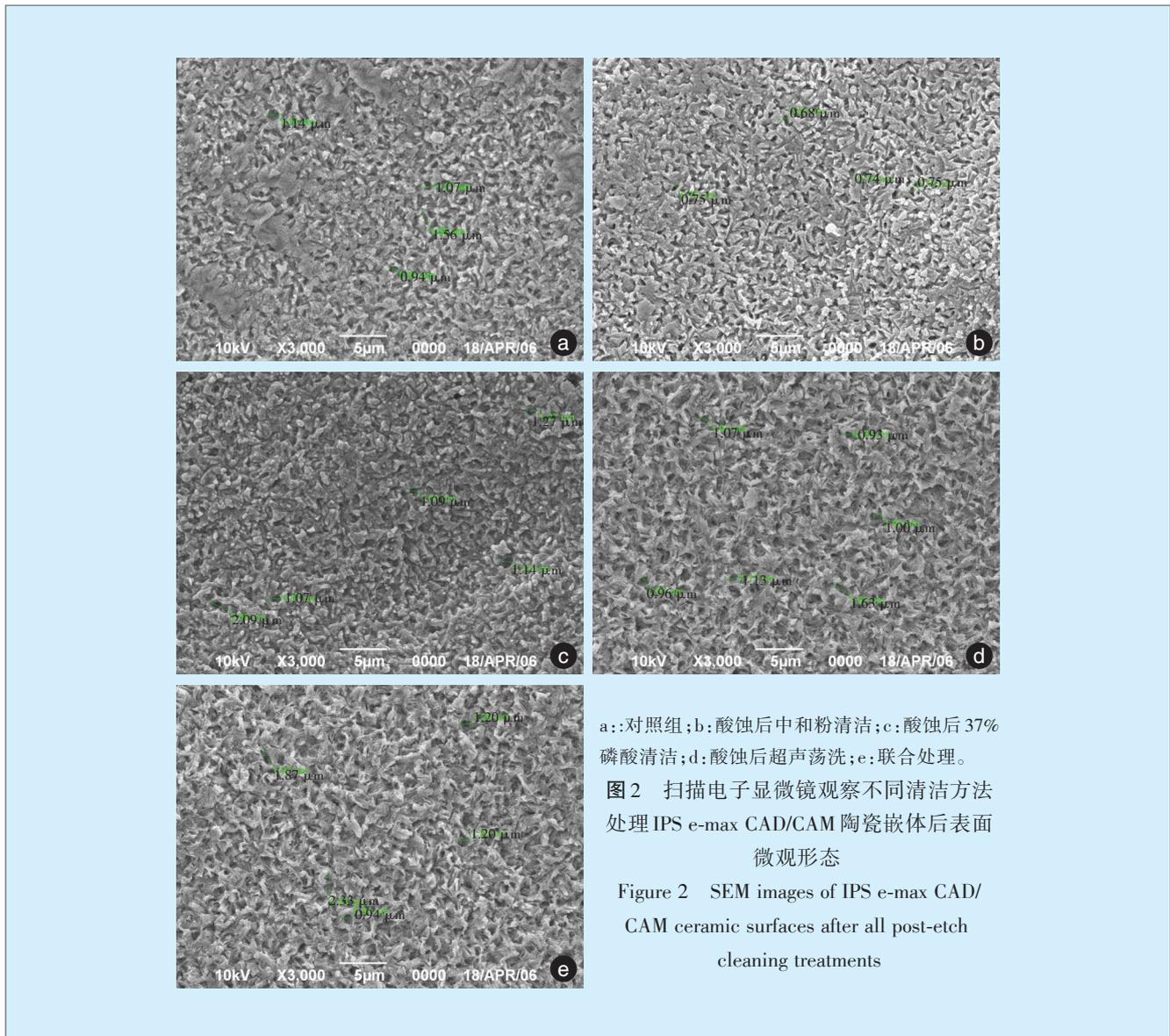
后 37% 磷酸处理 1 min 后, 观察到孔隙较规则, 并且由于玻璃相的大量损失和颗粒的区域在 IPS e-max 试件显示出大的空穴化, 其大小也进一步增加到 $1.07 \sim 2.09 \mu\text{m}$ (图 2c); 超声处理组宽度分别为 $1.07 \sim 2.33 \mu\text{m}$ (图 2d); 联合处理后为 $1.20 \sim 2.33 \mu\text{m}$ (图 2e)。

Vita mark II 的图像通常显示出蜂窝酸蚀图案, 因为不存在结晶相, 与其他颗粒填充样品相比是不同的。Vita Mark II 瓷片的密度和不规则边界为 $2.32 \sim 3.05 \mu\text{m}$ (图 3a); 对试件表面进行酸蚀后中和粉处理, Vita Mark II 瓷片边界为 $3.25 \sim 3.55 \mu\text{m}$ (图 3b), 孔隙中可见残存晶体碎片; 酸蚀后 37% 磷酸处理 1 min 后, Vita mark II 试件大小也进一步增加到 $3.05 \sim 3.97 \mu\text{m}$ (图 3c); 在 Vita mark II 试件中超声处理组宽度分别为 $3.71 \sim 4.92 \mu\text{m}$ (图 3d); 联合处理后试件大小为 $4.99 \sim 5.78 \mu\text{m}$ (3e)。

3 讨论

3.1 陶瓷表面酸蚀后清洁的理论基础

陶瓷嵌体的粘接力主要包括机械嵌合力和化学结合力, 表面处理方法包含 HF 酸蚀和硅烷偶联剂^[15]。HF 能与陶瓷材料的硅基成分发生反应, 破坏 Si-O 的键, 形成水溶性的 $\text{SiF}_6^{[19]}$, 这种水溶性的物质被冲洗掉后, 在陶瓷表面留下蜂窝状的结构, 增加了陶瓷材料表面面积, 因而通过提高机械嵌合力来提高粘接力^[20-21]。硅烷偶联剂表面处理后与瓷表面和树脂粘接剂同时发生化学反应, 提高其化学粘接力^[13]。同时, 有学者认为, 用 HF 和硅烷处理陶瓷表面是必要的^[5, 11], 酸蚀和硅烷应用被认为是陶瓷-树脂结合的关键步骤^[22]。在陶瓷表面进行 HF 酸蚀并用水冲洗后, 酸蚀后形成的残留



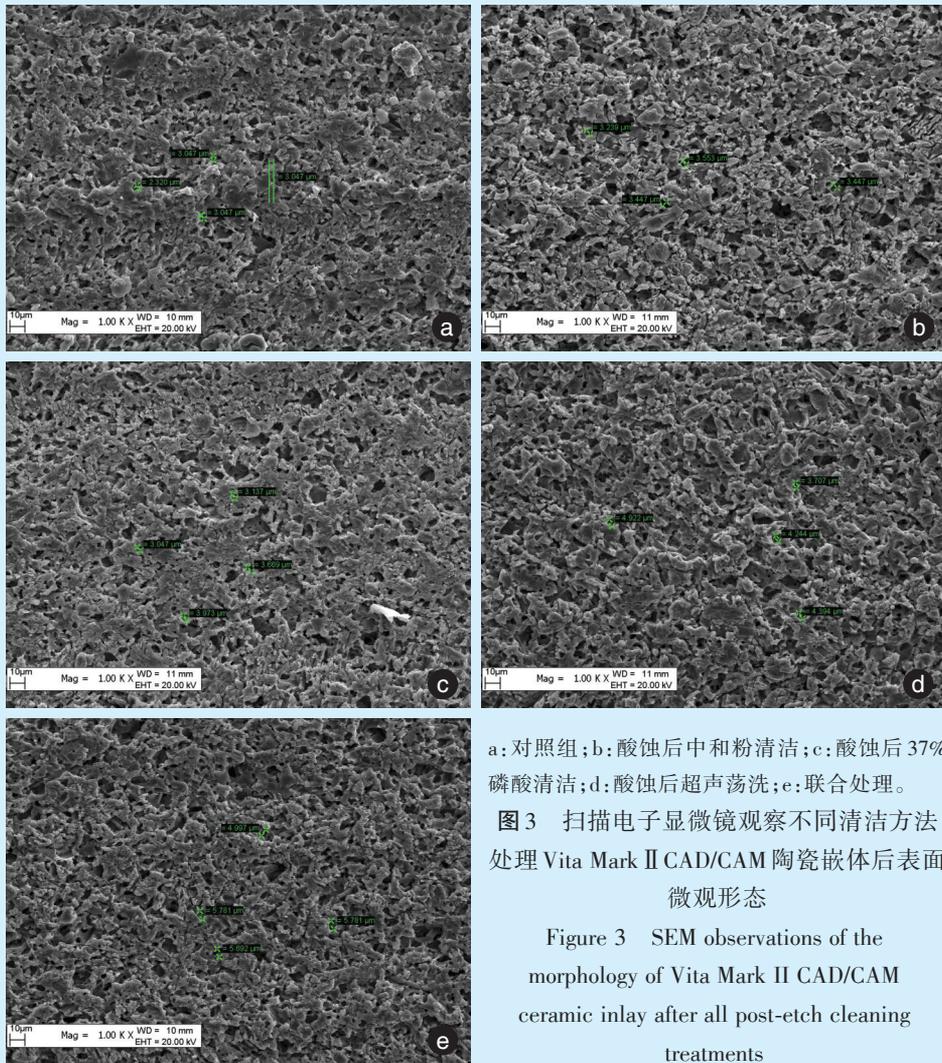
物可沉淀在陶瓷表面及其不规则性孔隙中,可影响粘接效果^[21],包括未完全反应的HF残留,水溶性的SiF₆未冲洗完全残存在裂隙以及溶解的晶体碎片等。本实验选用的是临床中常用的两类陶瓷,IPS e-max是二硅酸锂基陶瓷,主要成分是SiO₂、LiO₂, Vita Mark II是长石质可切削陶瓷,主要成分为羟基磷灰石^[23],它们应用于牙科椅旁CAD/CAM系统,具有精确、快速、高效并且一次就诊等优点,其粘接效果与瓷表面处理方法息息相关。

3.2 不同酸蚀后清洁方法的比较

对于陶瓷嵌体组织面HF酸蚀后残留物的清除,中和粉最早被提出来解决这个问题^[24],中和粉性质为碱性,可与表面残留HF反应,防止连续酸蚀影响树脂粘接的整体酸性环境^[25]。在HF中和过程中,HF与使用的盐会形成钠氟化物和不稳定

的碳酸,这些沉淀物保留在表面,阻碍树脂材料渗透到不规则裂隙以获得机械互锁。综合来看,在粘接之前使用中和剂仍然是有争议的。

本实验用中和粉对IPS e-max和Vita Mark II两组瓷嵌体酸蚀后进行中和粉处理,想进一步探究中和粉使用后的作用及其是否有临床使用价值,结果表明酸蚀后用中和粉进行清洁,IPS e-max和Vita Mark II两组瓷嵌体的剪切粘接强度的改变都无统计学意义,电镜扫描图中的表面证实了反应后钠氟化物和不稳定的碳酸存在,故而建议临床中避免将中和粉涂布与陶瓷嵌体组织面。氢氟酸是强酸,对环境会产生污染,中和粉可中和使用后的氢氟酸,将氢氟酸冲洗下来后,使之被中和粉中和后再排入下水道中,以保护环境。Qeblawi等^[13]证明了HF酸蚀导致大量的结晶碎片,如果不能去



a: 对照组; b: 酸蚀后中和粉清洁; c: 酸蚀后 37% 磷酸清洁; d: 酸蚀后超声荡洗; e: 联合处理。

图3 扫描电子显微镜观察不同清洁方法处理 Vita Mark II CAD/CAM 陶瓷嵌体后表面微观形态

Figure 3 SEM observations of the morphology of Vita Mark II CAD/CAM ceramic inlay after all post-etch cleaning treatments

除,则导致陶瓷对牙齿的粘合强度降低 50%。本实验表明,在酸蚀后对陶瓷表面进行清洁可明显提高嵌体的粘接强度,与相关实验结果相吻合^[26]。研究表明,37%磷酸在无氢氟酸处理的情况下陶瓷试件老化后的粘接强度接近于 0 MPa,从而证明其单独用于酸蚀处理陶瓷表面效果不佳,但在 HF 酸处理后的组织面上有残存的微小晶体碎块嵌在裂隙中,用 37%的磷酸进行后续处理有利于将残留物质去除干净。超声为机械振动,可机械性的清除陶瓷表面酸蚀后残存的 HF 残留物、晶体剩余等。从实验结果中可以得到 IPS e-max 和 Vita Mark II 陶瓷表面氢氟酸处理后行磷酸或超声荡洗处理,嵌体的粘接强度与对照组存在统计学意义,说明酸蚀后清洁可提高嵌体的粘接强度。

3.3 临床指导意义

由于嵌体为边缘线最长的修复体,其粘接强度在修复体中也相对较弱,故提高其粘接强度显得尤为重要,本实验结果表明酸蚀后清洁有临床指导意义。在本实验所采取的 4 种清洁方法中,除中和粉处理方法外,其余 3 种清洁方法与对照组相比差异有统计学意义,联合处理时获得的粘接强度最大同时清除最为彻底,但临床中同时操作会消耗宝贵的椅旁时间,故而本实验设立了 37%磷酸和超声荡洗的独立实验组,为比较两者在 IPS e-max 和 Vita Mark II 瓷嵌体表面的处理效果是否有明显差异,以为临床操作提供指导。结果显示使用 37%磷酸搅拌 1 min 然后用水冲洗 20 s 和在蒸馏水浴中超声波清洗 5 min 的清洁方法在嵌体剪

切强度值上存在统计学意义,表明超声荡洗处理比37%磷酸处理后的粘接强度好。同时在电镜下也可观察到超声荡洗处理可获得更好的清洁瓷表面。在临床操作时,为节省宝贵的椅旁时间,为简化临床粘合过程,提高工作效率,同时获得高质量的粘接强度,可选择超声荡洗进行瓷表面氢氟酸处理后清洁。

4 小 结

SEM图像结果表明,IPS e-max和Vita Mark II陶瓷经氢氟酸酸蚀后,以中和粉+37%磷酸+超声波荡洗联合清洁后,表面裂隙明显增宽加深,并且更加均匀,残余物明显减少。本研究仅通过观察陶瓷表面微观形态的改变,比较其对粘接强度的影响。由于两组陶瓷自身粘接强度存在差异,本实验未能对两组HF酸蚀后的效果进行对比,后期可加大样本量后进行比较,给临床中对IPS e-max和Vita Mark II陶瓷嵌体HF酸蚀后选择何种清洁处理方法提供依据。

参考文献

- [1] Ozkurt Z, Kazazoglu E. Zirconia dental implants: a literature review [J]. *Oral Implantol*, 2011, 37(3): 367-376.
- [2] Kohal RJ, Klaus G. A zirconia implant-crown system: a case report [J]. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2004, 24(2): 147-153.
- [3] Ho GW, Matinlinna JP. Part I: ceramic material type sindentistry [J]. *Silicon*, 2011 (3): 109-115.
- [4] Chaiyabutr Y, McGowan S, Phillips KM. The effect of hydrofluoric acid surface treatment and bond strength of a zirconia veneering ceramic[J]. *J Prosthet Dent*, 2008, 100(3): 194-202.
- [5] Ayad MF, Fahmy NZ, Rosenstiel SF. Effect of surface treatment on roughness and bond strength of a heat-pressed ceramic[J]. *J Prosthet Dent*, 2008, 99(2): 123-130.
- [6] Matinlinna JP, Vallittu PK. Silane based concepts on bonding resin composite to metals[J]. *J Contemp Dent Pract*, 2007, 8(2): 1-8.
- [7] Lawn BR, Deng Y, Thompson VP. Use of contact testing in the characterization and design of all-ceramic crownlike layer structures: a review[J]. *J Prosthet Dent*, 2001, 86(5): 495-510.
- [8] Chaiyabutr Y, McGowan S, Phillips KM, et al. The effect of hydrofluoric acid surface treatment and bond strength of a zirconia veneering ceramic[J]. *J Prosthet Dent*, 2008, 100(3): 194-202.
- [9] Giordano R. Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations[J]. *Am Dent Assoc*, 2006, 137(137 Suppl): 14S-21S.
- [10] Blatz MB, Sadan A, Maltezos C, et al. In vitro durability of the resin bond to feldspathic ceramics[J]. *Am J Dent*, 2004, 17(3): 169-172.
- [11] Akova T, Aytutuldu N, Yoldas O. The evaluation of different surface treatment methods for porcelain-composite bonding[J]. *J Adhes Adhes*, 2007, 27(1): 20-25.
- [12] Badawy R, El-Mowafy O, Tam LE. Fracture toughness of chairside CAD/CAM materials-alternative loading approach for compact tension test[J]. *Dent Mater*, 2016, 32(7): 847-852.
- [13] Qeblawi DM, Muñoz CA, Brewer JD. The effect of zirconia surface treatment on flexural strength and shear bond strength to a resin cement[J]. *Prosthet Dent*, 2010, 103(4): 210-220.
- [14] Zogheib LV, Bona AD, Kimpara ET, et al. Effect of hydrofluoric acid etching duration on the roughness and flexural strength of a lithium disilicate-based glass ceramic[J]. *Braz Dent J*, 2011, 22(1): 45-50.
- [15] Brentel AS, Ozcan M, Valandro LF, et al. Microtensile bond strength of a resin cement to feldspathic ceramic after different etching and silanization regimens in dry and aged conditions[J]. *Dent Mater*, 2007, 23(11): 1323-1331.
- [16] Yadav S, Upadhyay M, Borges GA, et al. Influence of ceramic (feldspathic) surface treatments on the micro-shear bond strength of composite resin[J]. *Angle Orthod*, 2010, 80(4): 765-770.
- [17] Hallmann L, Ulmer P, Wille S, et al. Effect of surface treatments on the properties and morphological change of dental zirconia[J]. *J Prosthet Dent*, 2016, 115(3): 341-349.
- [18] Luo X, Ren D, Silikas N. Effect of etching time and resin bond on the flexural strength of IPS e.max press glass ceramic[J]. *Dent Mater*, 2014, 30(12): e330-e336.
- [19] Yen TW, Blackman RB, Baez RJ. Effect of acid etching on the flexural strength of a feldspathic porcelain and a castable glass ceramic[J]. *J Prosthet Dent*, 1993, 70(3): 224-233.
- [20] Ramakrishnaiah R, Al kheraif AA, Mohammed A. Preliminary fabrication and characterization of electron beam melted Ti-6Al-4V customized dental implant[J]. *Saudi J Biol Sci*, 2017, 24(4): 787-796.
- [21] Amaral R, Ozcan M, Bottino MA, et al. Resin bond to a feldspar ceramic after different ceramic surface conditioning methods: Evaluation of contact angle, surface pH and microtensile bond strength durability[J]. *J Adhes Dent*, 2011, 6(3): 551-560.
- [22] Posritong S, Borges AL, Chu TM, et al. The impact of hydrofluoric acid etching followed by unfilled resin on the biaxial strength of a glass-ceramic[J]. *Dent Mater*, 2013, 29(11): e281-e290.
- [23] Addison O, Marquis PM, Fleming GJ. The impact of hydrofluoric acid surface treatments on the performance of a porcelain laminate restorative material[J]. *Dental Materials*, 2007, 23(4): 461-468.
- [24] Ozcan M, Volpato CA. Surface conditioning protocol for the adhesion of resin-based materials to glassy matrix ceramics: How to condition and why?[J]. *J Adhes Dent*, 2015, 17(3): 292-293.
- [25] Peumans M, Valjakova EB, De Munck J. Bonding effectiveness of luting composites to different CAD/CAM materials[J]. *J Adhes Dent*, 2016, 18(4): 289-302.
- [26] Poorzamani M, Sanaye VM, Alizadeh SE, et al. Effect of acidulated phosphate fluoride (APF) etching duration on the shear bond strength between a lithium disilicate-based glass ceramic and composite resin[J]. *Res Dent Sci*, 2015, 12: 1-5.

(编辑 罗燕鸿,管东华)