

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2021.07.004

· 基础研究 ·

# 高半透性氧化锆基底的不同处理对锆-瓷结合强度的影响

张颖, 胡丹丹, 黄皓宁, 骆小平

南京大学医学院附属口腔医院, 南京市口腔医院修复科, 江苏 南京(210008)

**【摘要】** 目的 探讨高半透性氧化锆的不同表面处理对其与饰瓷界面结合强度的影响,为临床提高氧化锆全瓷修复体的锆-瓷结合强度提供研究基础。**方法** 制作30个高10 mm、直径为10 mm的圆柱形KATA-NA氧化锆试件,分为四组,每组7个:①C组(对照组)打磨后直接堆塑饰瓷粉;②S组(喷砂组)打磨后喷砂,堆塑饰瓷粉;③B组(结合层组)打磨后先烧结一薄层饰瓷粉,再堆塑饰瓷粉;④SB组(喷砂+结合层组)打磨后喷砂,烧结一薄层饰瓷粉,再堆塑饰瓷粉;剩余2个试件观察喷砂前后氧化锆的表面形貌。烧结后包埋成剪切试件,采用剪切强度测试法测定各组的剪切强度值,并进行统计学分析。体视显微镜观察瓷层断裂模式。**结果** C组剪切强度值为(21.86 ± 3.18) MPa;S组为(22.12 ± 3.06) MPa;B组为(19.19 ± 1.46) MPa;SB组为(27.76 ± 1.95) MPa。C组、S组和B组剪切强度两两比较无显著差异,各组与SB组比较剪切强度值差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。体视显微镜下观察各组饰瓷断裂模式以混合破坏为主。**结论** 单独喷砂处理不能显著增加锆-瓷结合强度,薄涂饰瓷作为结合层对锆-瓷结合强度没有明显影响,喷砂与结合层结合可显著提高锆-瓷结合强度。

**【关键词】** 高半透性氧化锆; 氧化锆; 饰瓷; 喷砂; 结合层; 表面处理; 锆-瓷结合; 结合强度

**【中图分类号】** R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2021)07-0456-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

**【引用著录格式】** 张颖, 胡丹丹, 黄皓宁, 等. 高半透性氧化锆基底的不同处理对锆-瓷结合强度的影响[J]. 口腔疾病防治, 2021, 29(7): 456-461. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2021.07.004.

**Effect of different treatments of highly translucent zirconia on the bonding strength between zirconia and veneering porcelain** ZHANG Ying, HU Dandan, HUANG Haoning, LUO Xiaoping. Department of Prosthodontics, Nanjing Stomatological Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210008, China

Corresponding author: LUO Xiaoping, Email: l\_xiaoping@yahoo.com, Tel: 86-25-83620260

**【Abstract】 Objective** To evaluate the effect of different surface treatments on the bonding strength between highly translucent zirconia and veneering porcelain and to provide a research basis for improving the zirconium porcelain bond strength between zirconium and ceramic material. **Methods** Thirty cylindrical zirconia blocks with 10-mm diameter and 10-mm height were prepared and divided into four groups ( $n = 7$ ), labeled as control group (C), sandblasting group (S), bonding group (B), and sandblasting and bonding group (SB). The surface morphology of zirconia before and after sandblasting was observed in the remaining two specimens. Group C was veneered (2 mm in height and 5 mm in diameter) with porcelain powder by layering after grinding. Group S was sandblasted after grinding. Group B was veneered with a thin layer of porcelain powder as bond coating. Group SB was sandblasted and veneered with a thin layer of porcelain powder. After sintering, the shear specimens were embedded, and a shear bond strength test was conducted. Statistical analysis was conducted to analyze the data. Fracture surface analysis was also

**【收稿日期】** 2020-12-28; **【修回日期】** 2021-02-03

**【基金项目】** 江苏省“科教强卫”工程创新团队项目(CXTDB2017001)

**【作者简介】** 张颖, 硕士研究生, Email: 1404691932@qq.com

**【通信作者】** 骆小平, 教授, 博士, Email: l\_xiaoping@yahoo.com, Tel: 86-25-83620260

performed to determine the failure modes by stereomicroscopy. **Results** The bonding strength of group C was  $21.86 \pm 3.18$  MPa. For group S, it was  $22.12 \pm 3.06$  MPa. For group B, it was  $19.19 \pm 1.46$  MPa. Finally, for group SB, it was  $27.76 \pm 1.95$  MPa. There was no significant difference in shear strength between group C, group S and group B. There was a significant difference in shear strength between each group and group SB ( $P < 0.05$ ). Under a stereomicroscope, the observed fracture modes of each group were mainly mixed failure. **Conclusion** Sandblasting cannot significantly increase the bonding strength between zirconia and veneering porcelain. Veneering with a thin layer of porcelain powder as the bond coating has no obvious effect on the bonding strength. Sandblasting and veneering with a thin layer of porcelain powder as a bond coating can significantly improve the bonding strength between zirconia and veneering porcelain.

**【Key words】** high translucent zirconia; zirconia; veneering porcelain; sandblasting; bond coating; surface treatment; zirconia-porcelain bonding; bonding strength

**J Prev Treat Stomatol Dis, 2021, 29(7): 456-461.**

**【Competing interests】** The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from the Project of Invigorating Health Care through Science, Technology and Education Jiangsu Provincial Medical Innovation Team (No. CXTDB2017001).

随着牙科计算机辅助设计与计算机辅助制作 (computer aided design and computer aided manufacturing, CAD/CAM) 技术的广泛应用, 氧化锆陶瓷因其优异的力学性能、稳定的化学性能以及良好的生物相容性而被普遍应用于临床修复<sup>[1]</sup>。常压下纯氧化锆有三种晶体形态: 单斜晶相 (室温至  $1\ 170\ ^\circ\text{C}$ )、四方晶相 ( $1\ 170 \sim 2\ 370\ ^\circ\text{C}$ ) 和立方晶相 ( $2\ 370\ ^\circ\text{C}$  以上)。典型的 3 mol% 钇部分稳定四方氧化锆 (3Y-TZP) 由 3 mol% 的钇和 > 90% 的四方相氧化锆组成, 随着钇含量增加, 氧化锆的立方相及半透性增加<sup>[2]</sup>。近年来, 牙科氧化锆陶瓷半透性增加, 扩大了其在修复中的适应症范围; 但要满足前牙的美学修复仍需通过饰瓷来调节<sup>[3,4]</sup>。已有研究表明, 氧化锆基底与饰瓷的结合强度是决定修复效果的关键, 目前临床上常用氧化铝喷砂及涂覆结合层来增强氧化锆与饰瓷间的结合强度, 但国内外的研究对其效果结论并不一致。本实验旨在探讨喷砂及结合层的应用对氧化锆与饰瓷结合强度的影响, 为临床提高氧化锆全瓷修复体的结合强度提供研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

1.1.1 实验材料 KATANA 氧化锆 (STML, Kuraray Noritake Dental, 日本); VITA VM9 Base Dentine 瓷粉 (VITA Zahnfabrik, 德国); 氧化铝喷砂剂 ( $120\ \mu\text{m}$ , 南昌飞马铸粉厂, 中国); 自凝树脂 (上海新世纪义齿基托树脂粉, 中国); SiC 砂纸 (Matador, 德国)。

1.1.2 实验仪器 笔式喷砂机 (Easyblast, Bego, 德

国); 数控超声波清洗器 (KQ-250DE, 昆山超声仪器有限公司, 中国); 烤瓷炉 (Programat P700, Ivoclar, 列支敦士登); 万能测试机 (Synergie 100, MTS Systems, 美国); 体视显微镜 (SMZ1500, Nikon, 日本); 激光扫描共聚焦显微镜 (laser scanning confocal microscope, LSCM) (LSM800, Zeiss, 德国)。

### 1.2 实验方法

1.2.1 试件制备 使用 CAD/CAM 系统从预成氧化锆坯体中按厂商规定收缩比例切削出所需尺寸的瓷块, 烧结后高 10 mm、直径为 10 mm 的圆柱形氧化锆块 30 个, 用 400、600、800、1 000、1 200 目的 SiC 砂纸打磨。打磨后试件置于去离子水中超声清洗 10 min, 吸水纸擦干。

1.2.2 表面处理及分组 将试件随机分为 4 组 ( $n = 7$ ), ① C 组 (对照组): 瓷块致密烧结后打磨, 烧结程序如表 1 所示; ② S 组 (喷砂组): 瓷块致密烧结后打磨, 距离氧化锆表面 10 mm, 0.5 MPa 的压力下, 垂直喷砂 15 s, 超声清洗干燥; ③ B 组 (结合层组): 瓷块致密烧结后打磨, 蘸取 VITA VM9 Base Dentine 液在氧化锆表面轻刷 2 个来回, 使其表面覆盖有一薄层均匀的瓷粉, 放入烤瓷炉内烧结, 烧结程序见表 1, 烧结后瓷层记为饰瓷 1; ④ SB 组 (喷砂 + 结合层组): 瓷块致密烧结后打磨, 按 S 组方法喷砂, 清洗干燥后按 B 组方法涂覆结合层, 放入烤瓷炉内烧结。剩余 2 个试件其中一个进行喷砂处理, 观察喷砂前后氧化锆的表面形貌。

1.2.3 氧化锆表面饰瓷制备及试件包埋 采用粉浆涂塑法使用自制精密模具堆塑瓷粉, 震荡除水, 在氧化锆表面堆塑成高度为 2 mm、直径为 5 mm 的

圆柱形饰瓷,记为饰瓷2,以上操作均为同一位操作者完成。饰瓷堆塑成形后,将锆-瓷试件放入烤瓷炉内焙烧,烧结程序见表1。考虑饰瓷烧结收缩,采用数显式游标卡尺测量三次取平均值的方法确定最终直径。将氧化锆试件用自制模具进行自凝树脂包埋。

表1 本实验所使用氧化锆及饰瓷的烧结程序

Table 1 Sintering process of zirconia and Veneering porcelain used in this study

Materials	Sintering process
KATANA zirconia	Rate of temperature increase: 10 °C/min; high temperature: 1 500 °C; hold time: 2 h; rate of temperature decrease: -10 °C/min
Veneering porcelain 1	Pre-drying: 500 °C for 2 min; rate of temperature increase: 55 °C/min; high temperature: 950 °C; hold time: 1 min; furnace cooling
Veneering porcelain 2	Pre-drying: 500 °C for 6 min; rate of temperature increase: 55 °C/min; high temperature: 910 °C; hold time: 1 min; furnace cooling.

1.2.4 氧化锆基底与饰瓷的平行剪切强度测试 将包埋好的试件固定于万能试验机的剪切夹具内,调整加载头的位置,使其与锆-瓷结合界面紧密贴合(图1),加载速率设置为0.5 mm/min,记录瓷层断裂时的加载值F(N)。按公式 $P = F/S$ 计算出剪切强度值,其中P为锆-瓷界面剪切强度值(MPa),F为锆-瓷分离时的加载值(N),S为饰瓷与氧化锆粘接面积( $\text{mm}^2$ )。

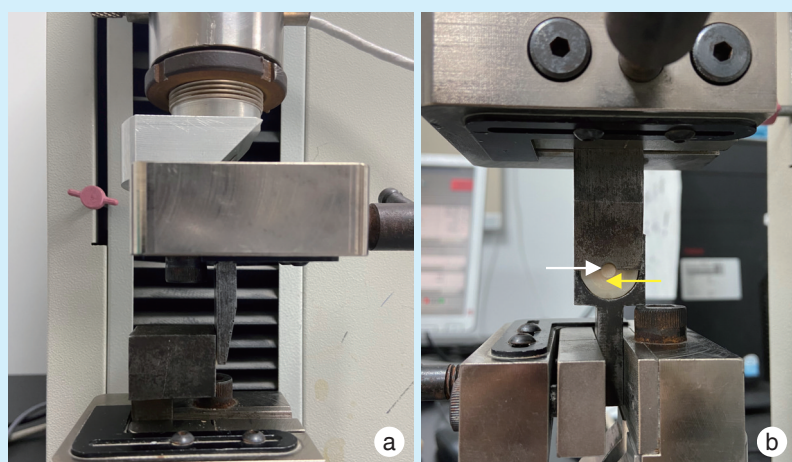
### 1.3 统计学分析

应用SPSS 22.0统计软件分析得到的剪切数据,用均数±标准差来表示。采用单因素方差分析比较各组试件的剪切强度值,组间两两比较采用LSD检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 喷砂前后氧化锆的表面形貌

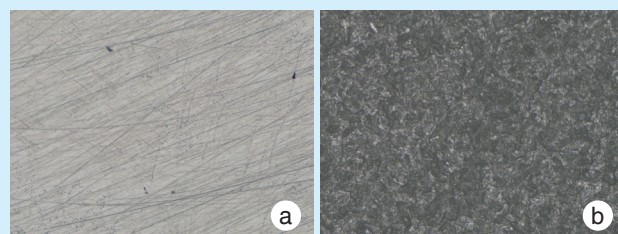
LSCM下观察喷砂前后氧化锆的表面形貌,结果显示喷砂前氧化锆表面较为光滑,可见打磨形成的痕迹,喷砂后的氧化锆表面较为粗糙。见图2。



a: front view, the loading head is parallel to the fixture; b: side view, the loading head is close to the interface; white arrow shows the cylindrical veneering porcelain; yellow arrow shows zirconia substrate

Figure 1 Schematic diagram of parallel shear bond strength test

图1 平行剪切强度测试示意图



a: the surface of zirconia is smooth before sandblasting; b: the surface of zirconia is rough after sandblasting; LSCM: laser scanning confocal microscope

Figure 2 Surface morphology of zirconia before and after sandblasting displayed (LSCM, ×10)

图2 喷砂前后氧化锆表面形貌(LSCM, ×10)



## 2.2 剪切强度值比较

各组试件剪切强度值见表2。四组试件组间剪切强度值比较,差异有统计学意义( $F = 12.285$ ,  $P < 0.001$ )。其中,与C组比较,S组、B组的剪切强度值均无显著差异(S组: $P = 0.862$ ,B组: $P = 0.081$ );而SB组的剪切强度值高于C组,差异具有统计学意义( $P = 0.001$ )。S组与B组比较,剪切强度无显著差异( $P = 0.862$ )。SB组剪切强度最高,其与S组、B组相比,差异均具有统计学意义(S组: $P = 0.001$ ,B组: $P < 0.001$ )。

表2 各组试件剪切强度值比较

Groups	Shear bond strength ( $\bar{x} \pm s$ , MPa)
C	$21.86 \pm 3.18^*$
S	$22.12 \pm 3.06^*$
B	$19.19 \pm 1.46^*$
SB	$27.76 \pm 1.95$

\*: compared with SB group,  $P < 0.05$ ; C: control; S: sandblasting; B: bonding; SB: sandblasting and bonding

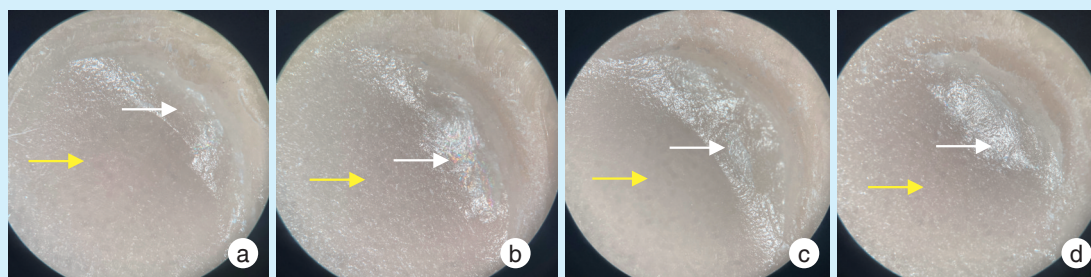
## 2.3 断裂模式观察

氧化锆基底与饰瓷界面主要分为三种破坏类型,①内聚破坏:饰瓷内部发生断裂,氧化锆基底表面被饰瓷完全覆盖;②混合破坏:部分饰瓷残留于氧化锆基底表面;③粘接破坏:饰瓷完全从氧化锆基底表面剥脱,几乎无饰瓷残留。各组试件剪切强度测试后饰瓷破坏类型均以混合破坏为主,详细分类见表3。体视显微镜下观察显示,各组试件饰瓷破坏类型以混合破坏为主,氧化锆基底大部分裸露,饰瓷残留量较少。见图3。

表3 各组试件剪切强度测试后饰瓷破坏类型

Groups	Adhesive failure	Mixed failure	Cohesive failure
C	0	6	1
S	1	5	1
B	1	5	1
SB	2	4	1

C: control; S: sandblasting; B: bonding; SB: sandblasting and bonding



a: group C; b: group S; c: group B; d: group SB; white arrow shows the remaining veneering porcelain; yellow arrow shows zirconia substrate; the mixed type of failure was most frequent in all groups, most of the zirconia substrate is exposed, and the porcelain residue is little; C: control; S: sandblasting; B: bonding; SB: sandblasting and bonding; stereomicroscope,  $\times 7.5$

Figure 3 Typical fracture morphologies of each group after shear bond strength test

图3 各组试件剪切强度测试后的典型断裂形貌图

## 3 讨论

一项平均随访时间为4.9年的临床回顾性研究发现氧化锆全瓷固定修复体临床成功率为89%<sup>[5]</sup>。氧化锆全瓷修复体临床失败的主要原因为氧化锆-饰瓷界面分层和饰瓷剥落<sup>[6]</sup>,其发生崩瓷的风险比金属烤瓷修复高<sup>[7]</sup>。因此,氧化锆基底与饰瓷的结合强度是决定修复效果的关键。影响氧化锆-饰瓷界面结合强度的因素包括:氧化锆和饰瓷热膨胀系数不匹配、残余热应力、氧化锆与饰瓷弹性模量差异、瓷烧结收缩、润湿条件差以及瓷

内部缺陷等<sup>[8-9]</sup>。近年来国内外学者在氧化锆基底的表面处理方面做了大量的研究,如氧化铝喷砂、机械打磨、激光蚀刻、热酸蚀等增加氧化锆表面粗糙度的技术;还有以增强化学结合力为主的表面硅涂层技术、应用衬里瓷材料等,均取得了较好的效果,氧化锆与饰瓷的结合强度得到了显著提升<sup>[10-13]</sup>。目前临床上常用氧化铝喷砂及涂覆结合层来增强氧化锆与饰瓷间的结合强度,但是对于喷砂及结合层的应用是否能增强锆-瓷结合强度,国内外研究报道结果并不一致<sup>[15-18]</sup>。

本实验中使用的氧化锆为日本可乐丽公司的则武 KATANA 超透氧化锆,其配套饰瓷为 CERABI-EN ZR 氧化锆内冠用饰面陶瓷材料,本课题组前期实验对该瓷粉与 KATANA 氧化锆之间的剪切强度做了研究,方法同本实验对照组,得到的剪切强度值为  $(21.61 \pm 3.40)$  MPa,与本实验对照组直接堆塑 VITA VM9 Base Dentine 饰瓷相比无显著差异,因此可以排除应用不同品牌的瓷粉对锆-瓷结合强度的影响。

锆-瓷结合强度取决于氧化锆基底与饰瓷的机械嵌合和化学结合<sup>[8]</sup>,机械结合是通过表面处理粗化氧化锆表面,使得氧化锆基底与饰瓷间形成机械嵌合。本研究中氧化锆基底与饰瓷之间的结合是利用机械结合,氧化铝喷砂是表面粗化方法中最为简便、有效的方法,但仍存争议。有研究表明喷砂虽可增加氧化锆表面粗糙度,但对增强氧化锆基底与饰瓷的结合强度无显著效果<sup>[19]</sup>。本实验中,单纯喷砂组剪切强度值与对照组相比无显著性差异,故认为单独喷砂处理不能显著增强氧化锆与饰瓷结合强度。

钇部分稳定氧化锆的化学成分较为稳定,在  $900 \sim 1\ 000\ ^\circ\text{C}$  的饰瓷烧结温度下仍保持很好的化学稳定性。为了提高锆-瓷界面的结合力,有学者提出在氧化锆基底与饰瓷之间构建一个适宜的介于二者弹性模量之间的功能梯度层,降低锆-瓷之间的弹性模量差异,从而抵消弯曲应力,增强化学结合,降低饰瓷的剥脱率<sup>[20]</sup>。目前关于提高锆-瓷结合强度的研究集中于氧化锆基底表面二氧化硅涂层以及衬里瓷的应用。衬里瓷应用于锆-瓷表面可增加锆-瓷表面润湿性。VITA VM9 Base Dentine 饰瓷的主要成分为  $\text{SiO}_2$  (60% ~ 64%)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13% ~ 15%)、 $\text{K}_2\text{O}$  (7% ~ 10%)、 $\text{Na}_2\text{O}$  (4% ~ 6%);以同品牌衬里瓷 VITA VM9 Effect Bonder 为例,其主要成分与饰瓷相同,仅成分比例不一。本实验中薄涂饰瓷烧结后作为结合层,与对照组相比,剪切强度较低,但差异无统计学意义;可以认为 VITA VM9 Base Dentine 饰瓷中  $\text{ZrO}_2$  含量 (0% ~ 1%) 较 VITA VM9 Effect Bonder (5% ~ 8%) 少,烧结后不能与氧化锆基底产生很好的融合反应。后续实验应对应用 VITA VM9 Effect Bonder 衬里瓷材料后的锆-瓷结合强度进行对比研究。

本实验中喷砂+结合层组的剪切强度值最高,表明喷砂与涂覆结合层相结合可增加锆-瓷结合强度。Saka 等<sup>[21]</sup>研究发现喷砂后应用衬里材料可以

改善氧化锆基底与饰瓷之间的结合强度,与本实验结果一致。喷砂后氧化锆表面更为粗糙,表面积增加,预烧结薄层饰瓷作为结合层,薄层饰瓷渗透嵌合在喷砂形成的孔隙中,产生机械滞留,使两者结合得更加紧密,薄层饰瓷(饰瓷1)与堆塑的饰瓷(饰瓷2)成分相同,烧结后形成牢固的化学结合,显著改善了锆-瓷结合强度。然而关于结合层与氧化锆基底之间是否存在化学结合仍需通过进一步的实验证明。

体式显微镜下观察锆-瓷界面破坏模式以混合破坏为主,饰瓷残留量少,氧化锆基底大部分裸露。本实验中内聚破坏的试件断裂发生在饰瓷内部,不能代表界面结合强度,因而不能用于统计分析。存在内聚破坏可能是由于堆塑饰瓷技术问题、粉液比失调等原因。氧化锆表面饰瓷残留量少,说明氧化锆表面润湿性较差,饰瓷1与饰瓷2结合紧密,两者间的结合强度大于饰瓷1与氧化锆基底间的结合强度,当剪切力垂直施加于锆-瓷界面,饰瓷1随饰瓷2从氧化锆表面断裂。

目前测试氧化锆基底与饰瓷间界面结合强度的方法有三点弯曲和平行剪切强度测试等。根据 ISO9693 标准,金瓷界面结合力的检测常用三点弯曲强度测试,但是全瓷基底材料脆性较大,因此三点弯曲强度测试不适用于脆性的陶瓷系统<sup>[22]</sup>。平行剪切强度测试是以剪切力的形式,加载头平行加载于两种材料的结合界面,界面应力集中,是较为理想的结合强度检测方法<sup>[23]</sup>。同时,剪切力是固定修复体最常受到的应力,本实验中采用平行剪切强度测试方法对锆-瓷结合强度进行测定,测试结果能相对真实地反应氧化锆基底与饰瓷界面结合强度的大小。

本实验研究结果表明,氧化锆基底进行喷砂处理后薄涂饰瓷作为结合层,可提高锆-瓷结合强度;单独喷砂处理或薄涂饰瓷作为结合层不能显著提高锆-瓷结合强度,对临床应用具有参考意义;但是喷砂+结合层提高锆-瓷结合强度的机制尚未清楚,薄涂饰瓷作为结合层是否与氧化锆基底间产生化学结合以及结合形式需要进一步的实验研究证明。

**【Author contributions】** Zhang Y performed the experiments and wrote the article. Hu DD and Huang HN revised the article. Luo XP designed the study and reviewed the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

## 参考文献

- [1] Tabatabaian F. Color aspect of monolithic zirconia restorations: a review of the literature[J]. J Prosthodont, 2019, 28(3): 276-287. doi: 10.1111/jopr.12906.
- [2] Kaizer MR, Kolakamprasert N, Rodrigues C, et al. Probing the interfacial strength of novel multi-layer zirconias[J]. Dent Mater, 2020, 36(1): 60-67. doi: 10.1016/j.dental.2019.10.008.
- [3] 王辰. 两种氧化锆处理剂对氧化锆陶瓷粘接效果的影响[J]. 口腔疾病防治, 2020, 28(2): 79-83. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.02.003.  
Wang C. Influence of two kinds of zirconia primers on the bonding effect of zirconia ceramics[J]. J Prev Treat Stomatol Dis, 2020, 28(2): 79-83. doi: 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.02.003.
- [4] Fathi A, Farzin M, Giti R, et al. Effects of number of firings and veneer thickness on the color and translucency of 2 different zirconia-based ceramic systems[J]. J Prosthet Dent, 2019, 122(6): 565.e1-565.e7. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.08.020.
- [5] Pihlaja J, Napankangas R, Raustia A. Outcome of zirconia partial fixed dental prostheses made by predoctoral dental students: a clinical retrospective study after 3 to 7 years of clinical service[J]. J Prosthet Dent, 2016, 116(1): 40-46. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.10.026.
- [6] Lee ES, Huh YH, Park CJ, et al. Effect of silica-containing glass-ceramic liner treatment on zirconia coping retention[J]. J Prosthet Dent, 2018, 120(5): 732-739. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.12.005.
- [7] Sailer I, Balmer M, Husler J, et al. 10-year randomized trial (RCT) of zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses[J]. J Dent, 2018, 76: 32-39. doi: 10.1016/j.jdent.2018.05.015.
- [8] Silva-Herzog RD, Pozos-Guillen A, Aragon-Pina A, et al. Glass coatings to enhance the interfacial bond strength between veneering ceramic and zirconia[J]. Odontology, 2020, 108(3): 415-423. doi: 10.1007/s10266-020-00497-w.
- [9] Anunmana C, Wansom W. Bonding measurement - strength and fracture mechanics approaches[J]. Dent Mater J, 2017, 36(4): 497-502. doi: 10.4012/dmj.2016-193.
- [10] Jabbar MK, Dulaimi SF. Effect of the combined Zirconium dioxide surface treatment on the shear bond strength of a veneering ceramic to Zirconium dioxide[J]. Dent Med Probl, 2020, 57(2): 177-183. doi: 10.17219/dmp/116409.
- [11] Yc L, Hsieh JP, Yc C, et al. Promoting porcelain-zirconia bonding using different atmospheric pressure gas plasmas[J]. Dent Mater, 2018, 34(8): 1188-1198. doi: 10.1016/j.dental.2018.05.004.
- [12] Yadav P, Dabas N, Phukela SS, et al. A comparative evaluation of the effect of liners on the shear bond strength of veneered zirconia block: an *in vitro* study[J]. J Indian Prosthodont Soc, 2019, 19(4): 338-344. doi: 10.4103/jips.jips\_103\_19.
- [13] Abdullah A, Yu H, Pollington S, et al. Effect of repeated laser surface treatments on shear bond strength between zirconia and veneering ceramic[J]. J Prosthet Dent, 2020, 123(2): 338.e1-338.e6. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.10.007.
- [14] Kim SH, Park CJ, Cho LR, et al. Evaluation of the ceramic liner bonding effect between zirconia and Lithium disilicate[J]. J Prosthet Dent, 2018, 120(2): 282-289. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.10.022.
- [15] Lee HS, Kwon TY. The application of a novel ceramic liner improves bonding between zirconia and veneering porcelain[J]. Materials (Basel), 2017, 10(9): 1023. doi: 10.3390/ma10091023.
- [16] Song KH, Im YW, Lee JH, et al. Evaluation of mold-enclosed shear bond strength between zirconia core and porcelain veneer[J]. Dent Mater J, 2018, 37(5): 783-788. doi: 10.4012/dmj.2017-339.
- [17] Lee YH, Park CJ, Cho LR, et al. Effects of Lithium and Phosphorus on the efficacy of a liner for increasing the shear bond strength between Lithium disilicate and zirconia[J]. J Adhes Dent, 2018, 20(6): 535-540. doi: 10.3290/j.jad.a41629.
- [18] Thammajaruk P, Buranadham S, Thanatvarakorn O, et al. Influence of glass-ceramic coating on composite zirconia bonding and its characterization[J]. Dent Mater, 2019, 35(1): 105-113. doi: 10.1016/j.dental.2018.11.001.
- [19] 夏玉宏, 徐飞, 陈蕾, 等. 氧化锆表面不同处理方式对锆瓷与饰瓷结合强度的影响[J]. 中南大学学报(医学版), 2019, 44(1): 53-58. doi: 10.11817/j.issn.1672-7347.2019.01.009.  
Xia YH, Xu F, Chen L, et al. Effect of different surface zirconium oxide treatments on binding strength between zirconia and veneering ceramics[J]. J Cent South Univ (Med Sci), 2019, 44(1): 53-58. doi: 10.11817/j.issn.1672-7347.2019.01.009.
- [20] Cui C, Sun J. Optimizing the design of bio-inspired functionally graded material (FGM) layer in all-ceramic dental restorations[J]. Dent Mater J, 2014, 33(2): 173-178. doi: 10.4012/dmj.2013-264.
- [21] Saka M, Yuzugullu B. Bond strength of veneer ceramic and zirconia cores with different surface modifications after microwave sintering[J]. J Adv Prosthodont, 2013, 5(4): 485-493. doi: 10.4047/jap.2013.5.4.485.
- [22] Lenz J, Kessel S. Thermal stresses in metal-ceramic specimens for the ISO crack initiation test (three-point flexure bond test)[J]. Dent Mater. 1998, 14(4): 277-280. doi: 10.1016/s0109-5641(98)00039-6.
- [23] El MA. Assessment of bonding effectiveness of adhesive materials to tooth structure using bond strength test methods: a review of literature[J]. Open Dent J, 2018, 12: 664-678. doi: 10.2174/1745017901814010664.

(编辑 周春华, 曾曙光)



官网



公众号