

种植基台几何形状对氧化锆冠轴向固位力的影响

张红 俞青

南京大学医学院附属口腔医院·南京市口腔医院修复科
南京大学口腔医学院研究所 南京 210008

[摘要] **目的** 探讨种植基台骀龈高度、聚合角度、基台直径对于氧化锆冠轴向拉伸力的影响，以及骀龈高度、聚合角度、基台直径三者之间有无交互作用。**方法** 通过Solidworks软件设计出具有聚合角度（12°和6°）、骀龈高度（3和5 mm）、基台直径（3.5、5和6 mm）的12种基台，每种6个，共72个样本，采用选择性激光熔化（SLM）技术进行3D打印，通过计算机辅助设计和计算机辅助制造（CAD/CAM）制作相应氧化锆冠共72个，粘接48 h后采用万能力学试验机进行轴向拉伸测试和统计学分析。**结果** 在轴向拉伸实验测试中，固位力表现为直径3.5 mm组<5 mm组<6 mm组（ $P<0.05$ ）；固位力表现为聚合度6°组>12°组（ $P<0.05$ ）；固位力表现为骀龈高度5 mm组>3 mm组（ $P<0.05$ ）。三者之间不具有交互作用，其中骀龈高度和直径及聚合度和直径间具有交互作用，当骀龈高度为3 mm，直径3.5 mm组与直径5 mm组间的固位力差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。当聚合度为12°，直径5 mm组与直径6 mm组间的固位力差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。**结论** 氧化锆冠固位力随着基台直径的增大，聚合度的减小，骀龈高度的增加而增大；当骀龈高度较低时，减小聚合度比增加基台直径更重要；修复间隙较小时，在保证聚合度较小的情况下，选择小直径的基台，也能产生较好的固位能力。

[关键词] 种植基台；高度；聚合度；直径；全冠；固位力；固位强度

[中图分类号] R783.4 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/gjkq.2025082



开放科学（资源服务）
标识码（OSID）

Effect of implant abutment geometry on the axial retaining force of zirconia crown

Zhang Hong, Yu Qing

Dept. of Prosthodontics, Affiliated Stomatological Hospital, Nanjing University School of Medicine, Nanjing Stomatological Hospital, Institute of Stomatology, Nanjing University, Nanjing 210008, China

Supported by: Nanjing Science and Technology Program (202205051)

Correspondence: Yu Qing, Email: kqmike@163.com

[Abstract] **Objective** This study investigated the effects of occlusal gingival height, convergence angle, and abutment diameter on the axial tensile force of zirconia crowns and explores the interactions among these three factors. **Methods** Using Solidworks software, twelve types of abutments with varying convergence angles (12° and 6°), occlusal gingival heights (3 and 5 mm), and diameters (3.5, 5, and 6 mm) were designed, which resulted in a total of 72 samples (six of each type). These abutments were manufactured via selective laser melting (SLM) three-dimensional printing. Corresponding zirconia crowns (72 total) were produced via computer aided design and computer aided manufacturing (CAD/CAM) and bonded for 48 h. Axial tensile tests were then conducted using a universal testing machine, followed by statistical analysis. **Results** In axial tensile tests, the retention force increased with the abutment diameter in the order of 3.5<

5<6 mm groups ($P<0.05$). In addition, retention force was higher in the 6° convergence angle group compared with the 12° group ($P<0.05$) and greater in the 5 mm occlusal gingival height group compared with the 3 mm group ($P<0.05$). No interaction was observed among the three factors. However, interactions were noted between occlusal gingival height and diameter and between conver-

[收稿日期] 2024-11-01；**[修回日期]** 2025-06-18

[基金项目] 南京市科技计划项目（202205051）

[作者简介] 张红，医师，硕士，Email: 15755264551@163.com

[通信作者] 俞青，主任医师，博士，Email: kqmike@163.com

gence angle and diameter. Notably, when the occlusal gingival height was 3 mm, no significant difference was detected in the retention force between the 3.5 and 5 mm diameter groups ($P>0.05$). Similarly, at a 12° convergence angle, no significant difference was observed in the retention force between the 5 and 6 mm diameter groups ($P>0.05$). **Conclusion** The retention force of zirconia crowns increases with a large abutment diameter, small convergence angle, and great occlusal gingival height. Reducing the convergence angle is more critical than increasing the abutment diameter when the occlusal gingival height is low. In cases with minimal restorative space, the selection of a small diameter abutment while ensuring a small convergence angle can also achieve satisfactory retention.

[Key words] implant abutment; height; convergence angle; diameter; crown; retaining force; retention strength

随着种植修复技术的发展,种植义齿因其优越的舒适感和良好的咀嚼功能等优点越来越受患者欢迎,已成为牙列缺损患者首选的修复治疗方法。种植义齿冠修复最常用的固位方法是螺丝固位和粘接固位,这2种固位方法各有其优缺点。螺丝固位的优点在于,当修复体出现损坏或软组织发生炎症时,可以方便地拆卸进行修补或定期清洁;不足的是制作工艺复杂、费用高,长期应力作用下会出现螺丝松动或折断^[1-2],尤其是在后牙区进行种植义齿修复时,因视野及操作空间有限,螺丝固位往往会增加操作难度^[1]。粘接固位的优点是成本较低,具有优良的美观性,并且粘接层可以缓冲部分应力;不足的是粘接剂的残留会引起种植体周围炎或修复体的脱粘^[1-2]。已有研究^[3]表明,代型法、橡皮障法、凡士林法等技术可以有效减少种植修复体周围粘接剂的残留,降低不良反应。因此,粘接固位不仅能满足患者对美观的需求,还能为医生提供便利的修复体试戴,值得进一步研究与优化。

在种植义齿修复中,常用的材料包括氧化锆和二硅酸锂等,其中氧化锆凭借其优越的强度而被广泛应用于临床。然而,氧化锆陶瓷冠的脆性高、耐酸性差,且粘接性弱^[4],易出现牙冠脱位等问题。Alfadhli等^[5]的研究发现:牙齿支持氧化锆冠3年的存活率为90.9%,其中固位丧失是7.8%。Pitta等^[6]发现:临床种植修复时,氧化锆冠极易脱粘。由此可见,提高全冠固位力并改善牙冠与基台间的粘接性能,已成为当前种植修复领域亟待解决的问题。

全冠修复体的固位效果受基台几何形状、粘接面粗糙度及水门汀粘接剂^[7]等因素的影响。已有研究^[8-10]表明,增加粘接表面粗糙度或使用永久性粘接剂均可有效提高氧化锆冠的固位力。在基台几何形状方面,学者们主要关注基台聚合度和殆

龈高度等几何参数对固位力的影响。根据文献^[11]报道,传统预成基台的聚合度一般为 $4^\circ\sim 6^\circ$,个性化基台的切削角度范围为 $0^\circ\sim 15^\circ$,Choi等^[12]发现:当聚合度小于 12° 时,固位力随着聚合度的增大而减小。Nguyen等^[13]指出,基台的高度增加至3.5 mm以上后,可显著增加固位力。在临床实践^[11]中,高度为3或4 mm的基台在上颌前磨牙和下颌磨牙区域中广泛应用。因此,研究较短基台是否能够提供足够的冠固位力具有重要的临床意义。

目前,针对基台几何形状对全冠固位力影响的研究工作,多围绕基台聚合度和殆龈高度等参数开展^[14-15],对于基台直径与固位效果之间的响应关系尚缺乏系统研究^[16],此外,尚未有研究比较这3种影响因素对全冠固位效果的相对重要性,以及它们之间是否存在交互作用。

本文通过对种植修复体进行拉伸试验,探究种植基台聚合度、殆龈高度、直径对于氧化锆冠固位效果的影响,探究3种影响因素对于氧化锆冠固位效果的影响水平。以期为临床医生在选择粘接固位方式时提供科学依据,为其选择合适的修复基台提供一定的参考。

1 材料和方法

1.1 材料和设备

TA1纯钛粉和SLM3D打印机(铨联科技公司,中国);SOLIDWORKS 2023.ink(基台设计软件);氧化锆瓷块(悠瓷TM,4Y-TZP,zirconia block,北京国数新材公司,中国);氧化铝喷砂用粉末($120/110\ \mu\text{m}$,仁福公司,德国);3Shape a/s系列非接触式线阵激光扫描仪D2000(3Shape D2000,3Shape S.A公司,丹麦);3Shape修复体设计软件包(3Shape Dental System 2.23.0.0,3Shape S.A公司,丹麦);五轴数控机床

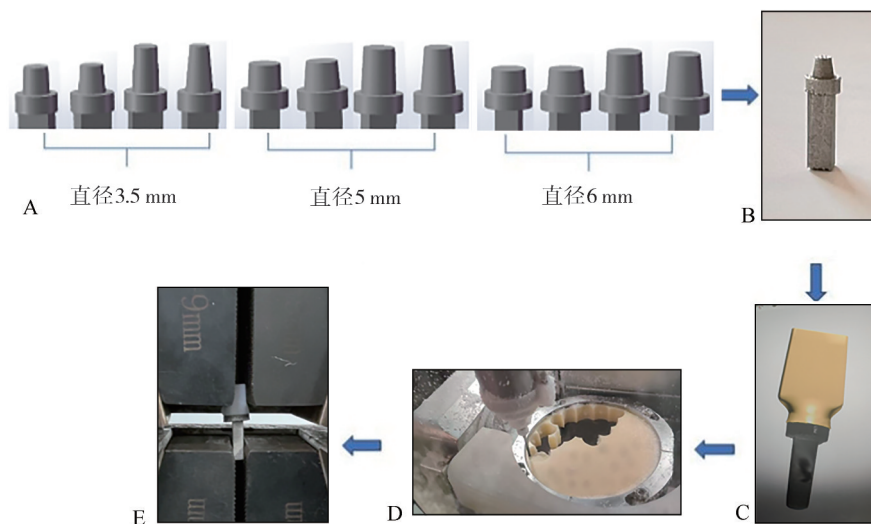
(氧化锆切削系统, Ideal Mill 5A, 惠州隆洋国数科技有限公司, 中国); RelyX U200 树脂水门汀 (3M EPSP公司, 美国); 游标卡尺 (上海量具刀具厂, 中国); LED光固化灯 (COLTENT公司, 瑞士); 万能电子拉力试验机 (FanShun TJH-48型, 深圳万测试验机设备有限公司, 中国); SPSS 26 (IBM公司, 美国)。

1.2 实验方法

1.2.1 个性化基台设计 参考奥齿泰/士卓曼基台和以往实验所选取的基台几何形状^[12-13], 通过Solidworks软件设计出具有聚合度 (12° 和 6°), 高度 (3和5 mm), 基底直径 (3.5、5和6 mm) 的12种基台 (图1A)。根据以往文献^[17]中提到进行方差

分析时, 可使用G-power样本估算量软件, 按照中等效应量为0.25, 功效值为0.8, 计算最小样本量为60, 为了避免样本折损, 使用TA1纯钛粉通过SLM3D打印最终制作72个基台样品, 并进行表面抛光, 于常温下保存 (图1B)。

1.2.2 氧化锆全冠设计 利用3Shape a/s系列非接触式线阵激光扫描仪D2000, 扫描所有基台样品的三维数据。随后使用3Shape软件进行冠设计, 在冠部设计高为15~20 mm的夹持柄部, 设计完成后, 冠部的三维数据以STL文件格式保存。该STL数据被导入五轴数控机床 (Ideal Mill 5A) 对氧化锆冠块铣削加工。铣削完成的冠在1480 °C氧化锆烧结炉内烧结8 h (图1C、D)。



A: 12种基台设计图; B: 3D打印基台模型; C: 氧化锆冠设计图; D: 氧化锆块铣削图; E: 拉伸实验装置。

图1 实验流程

Fig 1 Schematic of the experimental procedure

1.2.3 喷砂并粘接 所有氧化锆冠的内表面使用 $120\ \mu\text{m}\ \text{Al}_2\text{O}_3$ 进行喷砂处理15 s (距离10 mm, 压力1.5~2 MPa), 所有基台使用 $110\ \mu\text{m}\ \text{Al}_2\text{O}_3$ 进行喷砂15 s (距离10 mm, 压力0.2 MPa)^[18-19], 所有样品随后使用75%的乙醇在超声波清洗器中清洁10 min, 然后蒸馏水冲洗样件, 并用三用气枪吹干。采用3M ESPE Rely XTM U200 Auto mix按照操作说明进行两者的粘接, 每个试件粘接后用手指加压固定1 min, 去除冠边缘多余粘接剂, 用光固化灯从四面均进行光照20 s完成固化, 常温下保存48 h。

1.2.4 拉伸测试 将样件固定在电子万能试验机的夹具上 (图1E), 拉伸速度设定为0.5 mm/min, 拉伸样件直至失固位, 记录失固位力的数值, 单

位为N, 并记录失效模式: 1) 粘接剂主要残留在牙冠 (>90%); 2) 粘接剂主要残留在基台 (>90%); 3) 粘接剂在牙冠和基台 (10%~90%); 4) 牙冠或基台折裂^[20]。

1.3 数据分析

采用多因素方差分析评估直径、聚合度、牙龈高度对固位力的影响, Levene方差性检验数据是否服从正态分布, 均使用均数±标准差反应数据情况, 分析是否存在三因素的交互作用或两因素的交互作用, 若存在则需进行单独效应分析, 采用LSD法进行校正, 以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

所有分析均使用IBM SPSS Statistics 26进行, 采用GraphPad Prism 10进行绘图。

2 结果

Levene方差齐性检验表明数据是符合方差齐性假设，三因素方差分析的结果见表1和图2。钛基台的骀龈高度、聚合度、直径对于氧化锆冠固位力的影响存在显著差异。具体而言，高度为5 mm组的固位力(829±15) N高于3 mm组(562±15) N，聚合度为6°组的固位力(831±15) N高于12°组(560±15) N，直径为3.5 mm组(533±19) N、5 mm组(720±19) N、6 mm组(834±19) N的固位力逐渐增高，差异具有统计学意义($F=139.733$ 、 $F=143.586$ 、 $F=60.706$ ， $P<0.05$)。然而三者之间未观察到显著的交互作用($F=2.176$ ， $P>0.05$)，骀龈高度与聚合度亦未发现显著的交互作用($F=2.737$ ， $P>0.05$)，但高度和聚合度分别与直径间具有交互作用($F=11.342$ 、 $F=6.975$ ， $P<0.05$)。进一步分析基台的骀龈高度和直径对于氧化锆冠固位力的影响，结果发现：基台高度和直径的增大均会导致氧化锆冠固位力增高，但聚合度为6°，高度为3 mm，直径为3.5和5 mm时除外，2组固位力无显著差异($P=0.108$)。

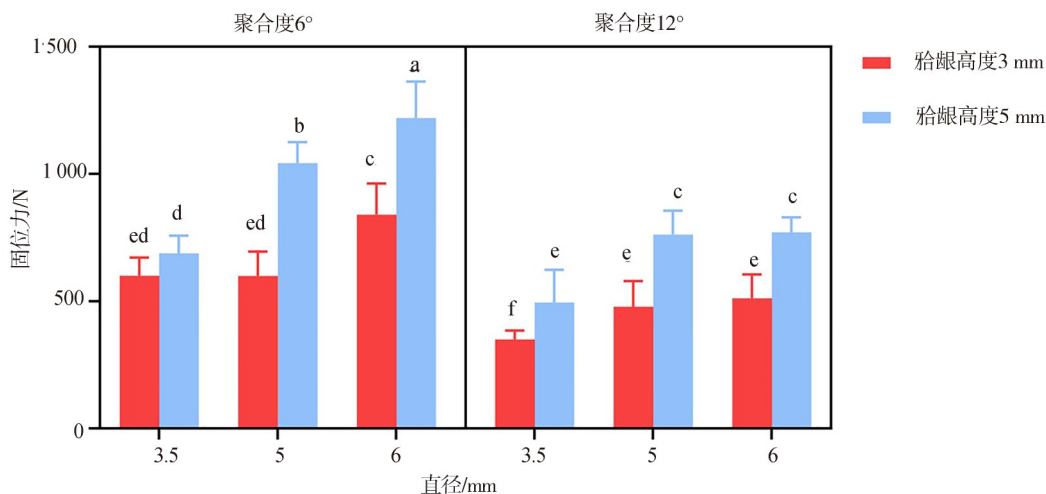
评估基台的聚合度和直径对于氧化锆冠固位力的影响，结果发现：基台聚合度的减小和直径

的增大均会导致氧化锆冠固位力增高，但聚合度为12°，直径为5和6 mm时除外，2组固位力无显著差异($P=0.605$)。综合分析结果表明，当基台骀龈高度为3 mm，聚合度为6°，直径为3.5 mm时，仍可为氧化锆冠提供较好的固位力；而当基台聚合度大于12°且直径从5 mm增大至6 mm时，增大基台直径对氧化锆冠固位力增强效果不明显。查看粘接剂失效结果后发现：样件顶部粘接剂均位于冠内面，侧壁粘接剂位于基台侧壁及冠内面不等(图3)。

表 1 基台高度、聚合度、直径对于氧化锆冠固位影响的多因素方差分析

Tab 1 Multi-factor ANOVA on the effects of abutment height, convergence angle, and diameter on zirconia crown retention

测量项目	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F值	P值
高度	1 282 774.836	1	1 282 774.836	139.773	0.000
聚合度	1 317 767.894	1	1 317 767.894	143.586	0.000
直径	1 114 262.097	2	557 131.048	60.706	0.000
高度×聚合度	25 117.876	1	25 117.876	2.737	0.103
高度×直径	208 180.935	2	104 090.468	11.342	0.000
聚合度×直径	128 026.217	2	64 013.108	6.975	0.002
高度×聚合度×直径	39 944.335	2	19 972.168	2.176	0.122



数据以平均值和相应的95%置信区间表示，不同的字母代表组间有明显差异，同字母代表组间固位力无明显差异。

图 2 不同基台高度、直径、聚合度对固位力影响的统计数据

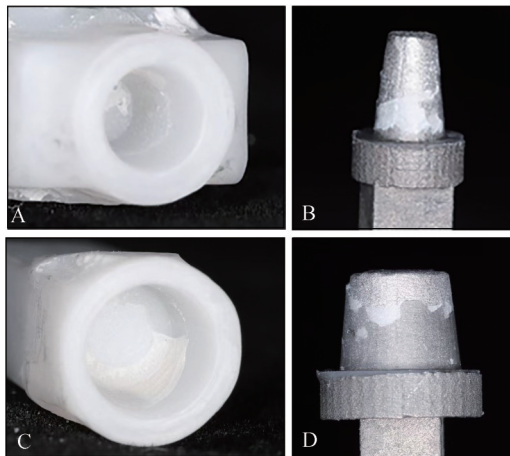
Fig 2 Statistical analysis of retention force under different abutment heights, diameters, and convergence angles

3 讨论

氧化锆冠保持固位稳定可延长修复体使用寿

命，提高患者的生活质量。冠固位力与摩擦力、粘接力以及约束力密切相关，而基台几何形状则通过影响这些因素，从而影响冠固位效果。在本实验中，比较了骀龈高度为3与5 mm的基台对于

氧化锆冠固位力的影响,结果表明固位力与基台的高度呈正相关。此结果与已有文献报道的固位力随基台高度增加而增大的趋势一致,研究者认为基台高度的增加有效的增加了粘接面积,降低牙冠与基台接触面上剪切应力的集中,提供了更好的支撑稳定性,提高了固位力^[8,10,13]。



A、B: 粘接剂多位于冠内; C、D: 粘接剂多位于基台表面。

图 3 失效模式

Fig 3 Failure modes

在本研究中,基台聚合度为 6° 组的固位力大于 12° 组,这与之前研究结果一致,以往的研究^[12]表明,冠固位力与基台聚合度之间存在负相关关系,即固位力随聚合度减小而增大,其原因在于,较低聚合度的基台具有更高的韧性,能够有效缓冲掉部分剪切力,同时增加有效粘接面积。临床中的预成基台角度在 6° 内^[11],但根据咬合情况或就位问题可能会进行适当的调磨,因此临床中应注意调磨的量。本研究发现:直径3.5、5和6 mm组的固位力依次增大,这与之前的研究^[10]结果一致,然而,也有文献研究^[21]结果与本实验结果相反,他们认为在轴向拉伸过程中,基台直径的增加对固位力的影响不显著。这一差异可能是本实验使用的粘接剂不同所致的,有文献^[9]发现:粘接剂类型与基台尺寸间具有交互作用,临时粘接剂的使用可能无法有效体现基台几何尺寸对于固位力的影响。本实验结果还显示:基台直径、龈缘高度、聚合度三者之间不存在显著的交互作用,且高度与聚合度间也未发现交互作用,然而,直径与聚合度以及直径与龈缘高度之间均存在显著的交互作用(表1),这一结果表明,基台聚合度和高度对于全冠固位力的影响较为显著,而基台直径的作用相对次要,因为三者除了影响粘接面积外,

聚合度和高度还会影响基台的强度和稳定性。因此,在临床中,当咬合间隙不足时,减小聚合度要比增加基台直径更重要(图2)。另外,研究还发现:高度为3 mm,聚合度为 6° ,直径为3.5和5 mm时,2组固位力差异不明显(图2),这一现象可能因为高度较低,支撑能力减弱,增加的直径不足以缓解应力集中,因此,针对临床中修复间隙较小时,在保证聚合度较小的情况下,选择直径较小的基台也可以拥有较好的固位能力。在观察样本的失效模式时,结果发现:粘接剂多存在于基台颈部和冠的顶部部分(图3),这可能是由于粘接剂的流动性较强,使其更容易在基台颈部形成均匀粘接面,由于颈部区域承受的应力集中较大,且氧化锆的粘接性较差,因此容易发生剥离现象。本实验未涉及疲劳测试,主要测量试件初始固位力值,然而,口腔环境是复杂的,未来的研究可以进一步模拟口腔环境,探究应力疲劳、湿度、牙尖斜度等因素对于全冠固位力的影响。

4 结论

1) 氧化锆冠固位力随着基台直径的增大,聚合度的减小,龈缘高度的增加而增大; 2) 当咬合间隙不足时,减小基台聚合度要比增大直径更能提高氧化锆冠固位力; 3) 当修复间隙较小时,在保证基台聚合度较小的情况下,选择小直径的基台也能提供较好的固位力。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

5 参考文献

- [1] 林玲,蔡娉娉,卓盈颖,等. 种植冠粘接固位修复用水门汀的研究进展[J]. 福建医科大学学报, 2023, 57(4): 235-241.
Lin L, Cai PP, Zhuo YY, et al. Research progress of cement selection for cement-retained implant restorations[J]. J Fujian Med Univ, 2023, 57(4): 235-241.
- [2] Sailer I, Karasan D, Todorovic A, et al. Prosthetic failures in dental implant therapy[J]. Periodontol 2000, 2022, 88(1): 130-144.
- [3] 康娟, 郭子璇, 翟远坤, 等. 减少种植修复体周围粘接剂残留方法的体外研究[J]. 中华老年口腔医学杂志, 2022, 20(6): 340-343.
Kang J, Wu ZX, Zhai YK, et al. Techniques to re-

- duce excess cement around implant restorations: an *in-vitro* study[J]. *Chin J Geriatr Dent*, 2022, 20(6): 340-343.
- [4] 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.
- [5] Alfadhli R, Alshammari Y, Baig MR, et al. Clinical outcomes of single crown and 3-unit bi-layered zirconia-based fixed dental prostheses: an upto 6- year retrospective clinical study: clinical outcomes of zirconia FDPs[J]. *J Dent*, 2022, 127: 104321.
- [6] Pitta J, Hjerpe J, Burkhardt F, et al. Mechanical stability and technical outcomes of monolithic CAD/CAM fabricated abutment-crowns supported by titanium bases: an *in vitro* study[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2021, 32(2): 222-232.
- [7] Emerson JS, Johnson GH, Kronström MH. Comparison of retention of monolithic zirconia crowns with alumina airborne-particle abraded and nonabraded intaglio using three different cements: a clinical simulation[J]. *J Prosthet Dent*, 2024, 131(1): 100.e1-100.e5.
- [8] Ozyetim EB, Ozdemir Z, Basim GB, et al. Effect of different surface treatments on retention of cement-retained, implant-supported crowns[J]. *Int J Prosthodont*, 2023, 36(1): 49-58.
- [9] Covey DA, Kent DK, St Germain HA, et al. Effects of abutment size and luting cement type on the uniaxial retention force of implant-supported crowns [J]. *J Prosthet Dent*, 2000, 83(3): 344-348.
- [10] Strazzi-Sahyon HB, Bergamo ETP, Giethmuehlen PC, et al. *In vitro* assessment of the effect of luting agents, abutment height, and fatigue on the retention of zirconia crowns luted to titanium base implant abutments[J]. *J Prosthet Dent*, 2023, 130(5): 739.e1-739.e8.
- [11] Mehl C, Harder S, Shahriari A, et al. Influence of abutment height and thermocycling on retrievability of cemented implant-supported crowns[J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2012, 27(5): 1106-1115.
- [12] Choi KH, Son K, Lee DH, et al. Influence of abutment height and convergence angle on the retrievability of cement-retained implant prostheses with a lingual slot[J]. *J Adv Prosthodont*, 2018, 10(5): 381-387.
- [13] Nguyen O, Lee SJ, Lee JD. Influence of varying titanium base abutment heights on retention of zirconia restorations: an *in vitro* study[J]. *J Prosthet Dent*, 2023, 130(4): 604.e1-604.e5.
- [14] Ramos NC, Alves LMM, Ramos GF, et al. The importance of MDP priming, silica blasting or glazing on the retention force of Y-TZP copings to varying geometry tooth abutments[J]. *Coatings*, 2021, 11: 11030315.
- [15] Kirman EA, Asar NV, Erdem B, et al. Effects of abutment length and platform size on the retention of implant-supported CAD/CAM crowns using six different cements[J]. *J Dent Sci*, 2022, 17(1): 601-603.
- [16] Saleh Saber F, Abolfazli N, Nuroloyuni S, et al. Effect of abutment height on retention of single cement-retained, wide- and narrow-platform implant-supported restorations[J]. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 2012, 6(3): 98-102.
- [17] Hyun K. Sample size determination and power analysis using the G*Power software[J]. *J Educ Eval Health Prof*, 2021, 18: 17.
- [18] Wang FF, Li SY, Li Q, et al. Evaluation of the marginal excess cement and retention force of implant-supported zirconia crowns with various vent designs under different cement application patterns[J]. *J Esthet Restor Dent*, 2022, 34(3): 565-573.
- [19] Rödiger M, Kloß J, Gersdorff N, et al. Removal forces of adhesively and self-adhesively luted implant-supported zirconia copings depend on abutment geometry[J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2018, 87: 119-123.
- [20] Burkhardt F, Sailer I, Fehmer V, et al. Retention and marginal integrity of CAD/CAM fabricated crowns adhesively cemented to titanium base abutments-influence of bonding system and restorative material [J]. *Int J Prosthodont*, 2023, 36(5): 651.
- [21] Medić V, Obradović-Djurčić K. Factors influencing bonding fixed restorations[J]. *Srp Arh Celok Lek*, 2008, 136(5/6): 232-240.