

高压蒸汽灭菌次数对钛基底-聚醚醚酮种植扫描杆扫描准确度的影响

谢馨¹ 李一鸣² 胡晓均¹ 邓飞龙¹

¹中山大学附属口腔医院, 光华口腔医学院, 广东省口腔医学重点实验室, 广东省口腔疾病临床医学研究中心, 广州 510055; ²中山大学附属第七医院口腔科, 深圳 518107

通信作者: 邓飞龙, Email: dengfl@mail.sysu.edu.cn

【摘要】目的 比较分析高压蒸汽灭菌次数对钛基底-聚醚醚酮(PEEK-Ti)种植扫描杆扫描准确度的影响。**方法** 制备右上第一磨牙区内嵌有1个种植体口扫代型的上颌石膏模型1副, 选择未经使用的PEEK-Ti种植体水平内锥形连接单牙扫描杆1个, 以10 N·cm力矩安装到石膏模型的口扫代型上, 作为本项研究的“参考模型”。使用三维牙颌模型扫描仪对参考模型进行重复扫描, 获取“参考模型数据”; 同时使用口内扫描仪对“参考模型”进行重复扫描, 获取“未拆卸组-测试模型数据”; 卸下扫描杆, 分别经0、10、20、30、40、…、100次高压蒸汽灭菌后, 再以10 N·cm力矩重新安装到石膏模型的口扫代型上进行重复扫描, 并获取第0、10、20、30、40、…、100次高压蒸汽灭菌的测试模型数据, 分别命名为: “灭菌组-测试模型数据(0、10、20、30、40、…、100)”, 共对扫描杆进行了100次的高压蒸汽灭菌。将各组别数据导入三维测量软件(Geomagic Control X 2020, 3D systems, 美国), 使用重复测量单因素方差分析进行分析评估, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。**结果** PEEK-Ti种植扫描杆随着灭菌次数的增加, 线性误差值为4.3~7.0 μm ($F=1.363, P=0.210$); 角度误差值为 $0.101^\circ \sim 0.131^\circ$ ($F=1.339, P=0.222$); 三维误差(扫描杆一致性)值为10.8~12.0 μm ($F=1.532, P=0.141$), 各组间差异均无统计学意义。**结论** 高压蒸汽灭菌次数对PEEK-Ti种植扫描杆的外形改变及其获取数字化印模数据的准确度没有显著影响, 经高压蒸汽灭菌100次后的PEEK-Ti种植扫描杆仍可满足临床数字化印模的需求。

【关键词】 灭菌; 牙科印模技术; 数字化技术; 口腔扫描仪; 扫描杆; 准确度

引用著录格式: 谢馨, 李一鸣, 胡晓均, 等. 高压蒸汽灭菌次数对钛基底-聚醚醚酮种植扫描杆扫描准确度的影响[J/OL]. 中华口腔医学研究杂志(电子版), 2024, 18(4): 230-236.

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2024.04.003

Effect of pressure steam sterilization times on the trueness of the polyetheretherketone - Ti scanbody scanning data

Xie Xin¹, Li Yiming², Hu Xiaojun¹, Deng Feilong¹

¹Hospital of Stomatology, Guanghua School of Stomatology, Sun Yat-sen University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Stomatology, Guangdong Provincial Clinical Research Center of Oral Diseases, Guangzhou 510055, China; ²Department of Stomatology, The Seventh Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China

Corresponding author: Deng Feilong, Email: dengfl@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】Objective To compare and analyze the effect of pressure steam sterilization times on the trueness of the polyetheretherketone-Ti(PEEK-Ti) scanbody scanning data. **Methods** A maxilla stone master model with one analog at the right first molar was fabricated. A brand-new PEEK-Ti scanbody was installed with 10 N·cm torque onto the analog as the “reference model”. The reference model was then scanned with a dental laboratory scanner (D2000) to obtain the “reference model scanning data”. A total of 10 repeated scans were obtained with an intraoral scanner and referred as the group of “no scanbody

unscrew". The scanbody was reinstalled with consistent torques and obtained 10 repeated scans which referred as the group of "no sterilization". The scanbody was reinstalled with consistent torques after each sterilization cycle repeated for 10 times, and 10 repeated scans were obtained which referred as the group of "(10, 20, 30, 40, ..., 100) sterilization". Totally 10 sterilization cycles were repeated. The files were imported into inspection software for assessment. Repeated-measures One-Way ANOVA was used to assess the values. The significance level was set at $\alpha=0.05$. **Results** With the increase in the number of times of pressure steam sterilization, the linear deviation of the PEEK-Ti scanbody was 4.3-7.0 μm ($F=1.363, P=0.210$); the angular deviation of the PEEK-Ti scanbody was 0.101°-0.131° ($F=1.339, P=0.222$); the congruence of the PEEK-Ti scanbody was 10.8-12.0 μm ($F=1.532, P=0.141$). There was no statistically significant difference between groups. **Conclusions** For the PEEK-Ti scanbody tested in the present study, the sterilization did not significantly influence the trueness of single-implant digital impressions and the scanbody congruence. After 100 times of pressure steamsterilization, the trueness of the PEEK-Ti scanbody scanning data can still meet clinical needs.

【Key words】 Sterilization; Dental impression technique; Digital technology; Intraoral scanner; Scanbody; Trueness

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-1366.2024.04.003

近年来,数字化技术在口腔种植领域迅速发展,口内数字化印模技术作为数字化流程中的重要部分,因其临床操作高效、患者体验舒适、便于医患沟通和易于数据储存等优势而越来越广泛应用于临床^[1-3]。

口内数字化印模技术在种植修复中的应用是指在患者口内将扫描杆固定在种植体上,利用光学印模技术获取扫描杆表面信息,根据扫描杆的参数获取扫描杆与种植体的空间位置关系,生成虚拟模型,并根据种植体的虚拟位置信息设计、制作修复体或通过3D打印模型制作修复体。

扫描杆是种植修复数字化印模流程中获取种植体虚拟位置的重要媒介^[4],主要由扫描区域、主体和基底3个部分组成。扫描区域和主体为获取种植体的虚拟位置提供了表面信息,而基底则起到连接种植体的作用。聚醚醚酮(polyetheretherketone, PEEK)和金属是制造扫描杆最常见的材料^[4]。金属材料(如钛Ti或其他合金)具有耐高温灭菌和重复使用不易引起变形的优势,而PEEK材料则以优越的光学性能占优势^[5-6]。因此,市面上大部分的扫描杆都由这两种材料组成^[4,7],有一些扫描杆则采用单体材料(PEEK或Ti)一体式的设计^[7]。扫描杆的可重复使用性从一次性到无限次数不等^[4],一次性使用的通常是一体式PEEK扫描杆。Arcuri等^[8]评估了一体式PEEK扫描杆的磨损对数字化扫描准确性的影响,结果显示一体式PEEK扫描杆在同一力矩下,反复拆卸造成的磨损对数字化扫描的准确性产生了负面影响。有学者提出,扫描杆基底的磨损可

能对倾斜种植体的安装产生负面影响,PEEK在经过灭菌后存在材料收缩的问题^[9]。有研究分别对一体式PEEK扫描杆和一体式钛扫描杆进行25次灭菌后评估对偏差的影响,结果表明灭菌过程通常会增加一体式PEEK扫描杆的误差,而一体式钛扫描杆则不受影响^[10]。

在种植修复数字化印模的临床操作中,扫描杆是连接种植体的唯一部件,需要置于患者口内并与其口腔组织直接接触,因此应严格做到扫描杆“一人一用一灭菌”防止交叉感染。而扫描杆的反复拆卸、灭菌,是引起其变形的主要因素。高压蒸汽灭菌法是临床广泛应用的消毒方法^[11],灭菌效果确切且成本相对低廉^[12],但高压蒸汽灭菌及其灭菌循环次数是否影响PEEK-Ti种植扫描杆的扫描准确度,国内鲜有报道。

本研究从数字化扫描结果的线性误差、角度误差和三维误差(扫描杆一致性)方面进行综合评价,客观评估高压蒸汽灭菌次数对PEEK-Ti种植扫描杆扫描准确度的影响,为临床消毒规范化操作提供依据。研究零假设为PEEK-Ti种植扫描杆经高压蒸汽灭菌不会影响其扫描的准确度。

材料与方 法

一、实验材料和仪器

未经使用的PEEK-Ti种植体水平内锥形连接单牙扫描杆(IO 2B-B SA, Elos Medtech Pinol, 丹麦);种植体口扫代型(IOS Model Implant Replica CC RP, Nobel Biocare, 瑞士);三维牙颌模型扫描仪(D2000,

3Shape, 丹麦);软件版本为1.0.0.3115的口内扫描仪(Aoralscan 3, 先临三维科技股份有限公司);高压蒸汽灭菌器(MELAG Vacuklav 44B+, 德国),选择灭菌程序为通用程序[温度134℃、压强2.1 bar(1 bar=100 000 Pa)、灭菌时间5.5 min、干燥时间20 min];三维测量软件(Geomagic Control X 2020, 3D systems, 美国);统计软件Graphpad Prism 9.4.1(Graphpad Software, LLC, 美国)。

二、研究对象

制备右上第一磨牙区内嵌有1个种植体口扫代型的上颌石膏模型1副(图1A),选择未经使用的PEEK-Ti种植体水平内锥形连接单牙扫描杆1个,以10 N·cm力矩安装到石膏模型的口扫代型上,作为本项研究的参考模型(图1B)。

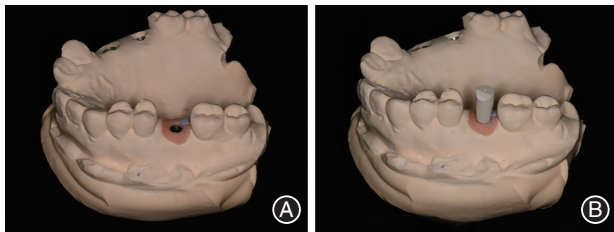


图1 制备用于体外研究测试的模型 A:制备右上第一磨牙区内嵌有1个种植体口扫代型的上颌石膏模型;B:在石膏模型的口扫代型上,安装1个未经使用的钛基底-聚醚醚酮(PEEK-Ti)扫描杆作为参考模型。

三、数字化模型获取

在相同光线下,室温24~26℃,相对湿度45%~55%的实验室内,对PEEK-Ti种植扫描杆经高压蒸汽灭菌循环后扫描的准确度进行体外研究测试。

1. 参考模型数据的获取:使用三维牙颌模型扫描仪重复扫描参考模型,每次扫描操作前均依据生产商的说明顺序对扫描仪进行校准,随后将参考模型置于扫描仪内部平台上进行重复扫描,获取的数据以“.stl”格式文件导出,命名为“参考模型数据”(图2)。

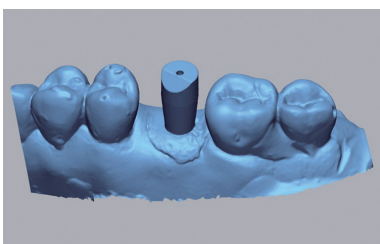


图2 使用三维牙颌模型扫描仪重复扫描参考模型,获取参考模型数据

2. 未拆卸组-测试模型数据的获取:同时由一位具备多年口内数字化印模操作经验的操作者,按产品手册建议的扫描方法和顺序,对口内扫描仪进行校准并重复扫描参考模型,获取的数据以“.stl”格式文件导出,命名为“未拆卸组-测试模型数据”。

3. 灭菌组-测试模型数据的获取:卸下扫描杆,分别经0、10、20、30、40、…、100次高压蒸汽灭菌后,再以10 N·cm力矩重新安装到石膏模型的口扫代型上进行重复扫描,并获取第0、10、20、30、40、…、100次高压蒸汽灭菌的测试模型数据,分别命名为“灭菌组-测试模型数据(0、10、20、30、40、…、100)”,共对扫描杆进行了100次的高压蒸汽灭菌。最终获取13组数据,每组数据均包含10次重复扫描结果,分别获取到10次参考模型数据及120次测试模型数据(含未拆卸组和灭菌组)。

4. 每次的高压蒸汽灭菌具体流程:把卸下的扫描杆放入密封纸质灭菌袋(热封袋),置于高压蒸汽灭菌器中,选择“通用程序”进行灭菌;待灭菌程序结束后,把扫描杆置于常温下,待其自然冷却至18~37℃后,方可再次使用。

四、数据处理及精度评价

把“灭菌组-测试模型数据”导入三维测量软件中对齐扫描杆数据库,通过三维比较功能获取均方根(root mean square, RMS)值,对扫描杆网格数据与扫描杆数据库的一致性进行评价(图3)。

将“参考模型数据”“测试模型数据(含未拆卸组和灭菌组)”分别对齐扫描杆数据库且删除扫描杆网格数据后,另存为“.stl”格式文件,并命名为:“参考模型数据对齐组”“未拆卸组-测试模型数据对齐组”及“灭菌组-测试模型数据对齐组”。

导入“未拆卸组-测试模型数据对齐组”与“参考模型数据对齐组”数据,采用手动对齐方式对两组数据进行初步对齐;选择最佳拟合算法,选取扫描杆邻近的2个天然牙为对齐区域,进行两两重叠对齐(图4);在对齐的扫描杆数据库上建立几何特征(中轴线以及底部中心点),并导出中轴线的向量和底部中心点的坐标系位置,取其平均值作为“真值”,以减少系统误差。

导入“灭菌组-测试模型数据对齐组”数据,以同样的方式分别与“参考模型数据对齐组”进行拟合,扫描杆数据库建立几何特征(中轴线以及底部中心点)后导出其中轴线的向量及底部中心点的坐

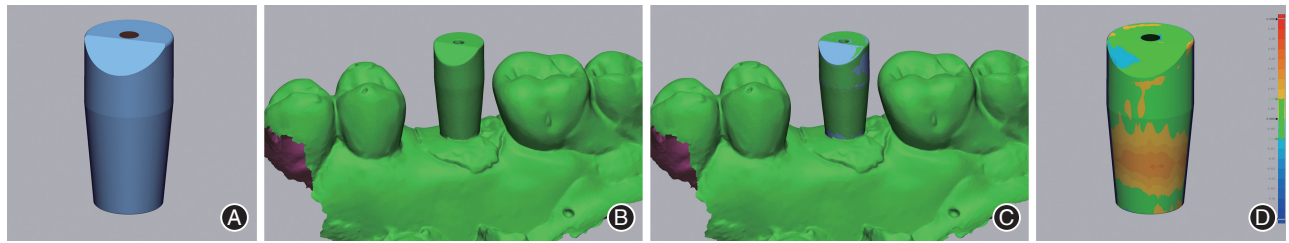


图3 扫描杆网格数据与扫描杆数据库一致性检测 A:厂商提供的“扫描杆数据库”;B:参考模型数据;C:采用最佳拟合算法进行扫描杆对齐;D:扫描杆最佳拟合对齐后的三维比较图。

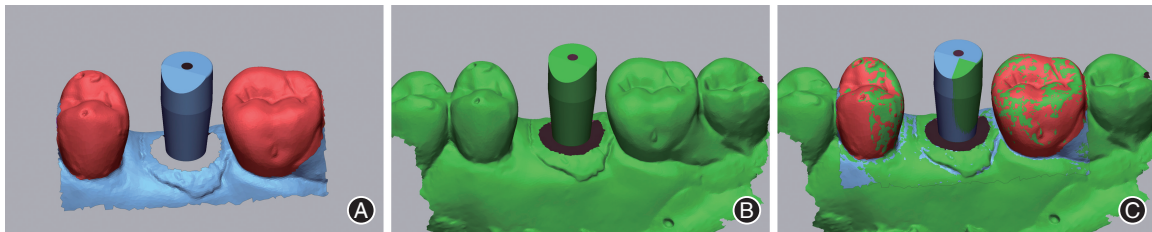


图4 参考模型数据对齐组数据与未拆卸组-测试模型数据对齐组数据进行拟合对齐 A:导入参考模型数据对齐组数据;B:导入未拆卸组-测试模型数据对齐组数据;C:选择最佳拟合算法,选取扫描杆邻近的2颗天然牙(红色区域)为对齐区域,进行两两重叠对齐。

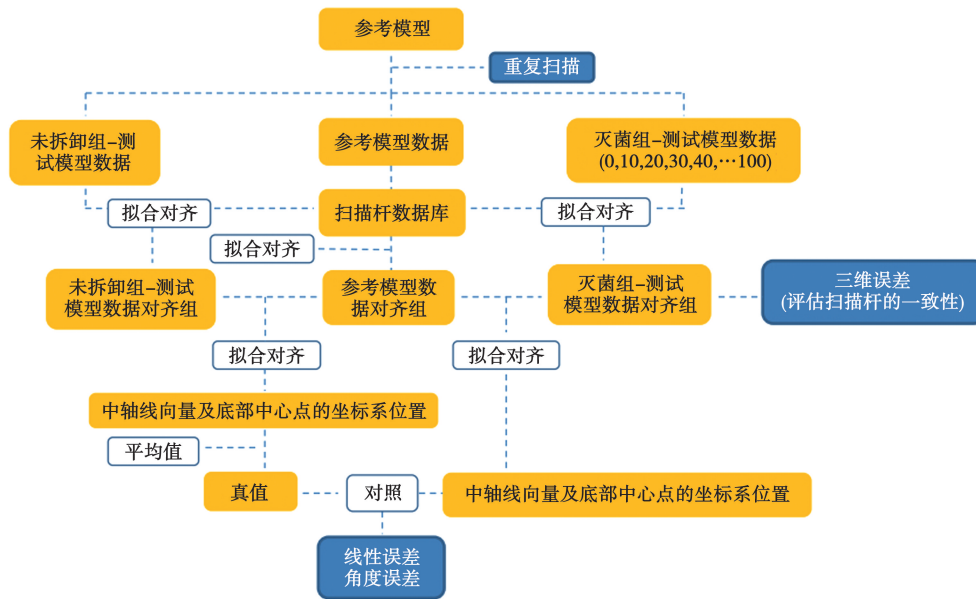


图5 对钛基底-聚醚醚酮(PEEK-Ti)种植扫描杆经高压蒸汽灭菌循环后扫描的准确度进行体外研究测试的操作流程图

标系位置。“灭菌组-测试模型数据对齐组”的中轴线向量与“真值”的中轴线向量之间形成的角度偏差,定义为:“角度误差”;“灭菌组-测试模型数据对齐组”的底部中心点坐标系位置与“真值”的底部中心点坐标系位置之间形成的距离偏差,定义为“线性误差”。本研究的操作流程如图5所示。

五、统计学处理方法

使用Graphpad Prism 9.4.1软件进行统计学分析,采用Shapiro-Wilk检验及Brown-Forsythe卡方检验,所有数据均符合正态分布($P > 0.1$)且方差齐($P > 0.1$),以 $\bar{x} \pm s$ 表示;使用重复测量单因素方差分析

(repeated-measures One-Way ANOVA)比较各组线性误差、角度误差及三维误差(扫描杆一致性),检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

结 果

本研究分析PEEK-Ti种植扫描杆经高压蒸汽灭菌循环后扫描的准确度见表1。重复测量单因素方差分析结果显示,高压蒸汽灭菌次数的增加对线性误差($F = 1.363, P = 0.210$)、角度误差($F = 1.339, P = 0.222$)和三维误差(扫描杆一致性)($F = 1.532, P = 0.141$)的影响,各组间差异均无统计学意义。

表1 钛基底-聚醚醚酮(PEEK-Ti)种植扫描杆经高压蒸汽灭菌循环后扫描准确度比较($\bar{x}\pm s$)

灭菌次数	线性误差(μm)	角度误差($^\circ$)	三维误差(μm)
0	5.1 \pm 1.5	0.131 \pm 0.030	11.5 \pm 1.1
10	5.5 \pm 2.0	0.101 \pm 0.026	11.8 \pm 1.0
20	4.3 \pm 1.3	0.103 \pm 0.027	10.9 \pm 0.7
30	5.2 \pm 2.6	0.119 \pm 0.025	11.7 \pm 1.6
40	5.8 \pm 1.6	0.103 \pm 0.029	11.3 \pm 0.9
50	4.8 \pm 2.3	0.111 \pm 0.036	11.3 \pm 0.6
60	7.0 \pm 1.8	0.107 \pm 0.028	11.5 \pm 1.1
70	5.6 \pm 2.8	0.108 \pm 0.039	11.4 \pm 1.1
80	6.3 \pm 2.8	0.117 \pm 0.026	11.8 \pm 0.9
90	7.0 \pm 2.8	0.111 \pm 0.030	10.8 \pm 0.5
100	6.5 \pm 3.3	0.127 \pm 0.030	12.0 \pm 0.8
F值	1.363	1.339	1.532
P值	0.210	0.222	0.141

注:灭菌组扫描杆的底部中心点坐标系位置与“真值”的底部中心点坐标系位置相比($P>0.05$);灭菌组扫描杆的中轴线向量与“真值”的中轴线向量相比($P>0.05$);灭菌组扫描杆的网格数据与扫描杆数据库的一致性相比($P>0.05$)。

讨 论

本研究评估了在单颗植体数字化印模中,高压蒸汽灭菌次数对PEEK-Ti种植扫描杆扫描准确度的影响,结果表明,高压蒸汽灭菌次数对PEEK-Ti种植扫描杆扫描的准确度没有显著影响,零假设被接受。

精确的印模是获得长期稳定修复效果的前提条件,印模的制取是影响修复体密合度的关键步骤。种植体支持式的修复体对密合度的要求更加严格^[13-14],这与种植体的长期成功率密切相关。在种植体支持式上部结构修复的数字化印模流程中,影响种植修复数字化印模准确性的因素包括操作的环境因素^[15-16]、操作者的经验^[17]、数字化印模技术^[18-20]、扫描方法^[21-23]及与扫描杆相关的因素^[7,24-25](如扫描基底^[26-27]、植体深度^[28-30]和跨度^[31-32]等)。而扫描杆在获取种植体虚拟位置、生成虚拟模型方面起着重要的作用,因此与扫描杆相关的因素至关重要,其中,扫描杆与种植体的安装力矩可能会影响种植修复数字化印模的准确性,改变扫描杆与种植体之间的适配度。多项研究评估了安装力矩对扫描杆沉降效应的影响,Diker等^[10]分别使用10、15 N·cm力矩对单个一体式PEEK和单个一体式钛扫描杆的影响,使用15 N·cm力矩安装扫描杆时,一体式PEEK扫描杆轴向位移较大,而一体式钛扫描杆的

位移较小;Tan等^[7]评估了多种扫描杆,分别使用了5、10和15 N·cm的力矩,结果显示,随着力矩的增加,一体式PEEK扫描杆的偏差增加,而带有金属基底的扫描杆受影响较小。Kim等^[33]的研究也得出了类似的结论,研究指出使用10 N·cm力矩安装扫描杆时,带有钛基底的扫描杆位移较小,并指出具有此种连接类型的扫描杆有助于减小其沉降效应。

高压蒸汽灭菌法是临床应用较广泛、灭菌效果较佳的消毒方法,也是临床上数字化种植扫描杆最常用的消毒方式之一^[34]。然而,目前关于高压蒸汽灭菌对种植扫描杆扫描准确度的影响的研究还很缺乏。Kato等^[35]分析了高压蒸汽灭菌和重复使用对基台水平和骨水平的一体式PEEK扫描杆的影响。结果显示,经高压蒸汽灭菌处理的扫描杆增加了误差值,但不论是否经过高压蒸汽灭菌处理的扫描杆,经反复拆卸连接后,对其测量值没有显著影响。最近的一项研究评估了安装力矩和灭菌对一体式设计的两种材料扫描杆线性误差的影响,结果表明扫描杆的轴向位移受材料类型、力矩值和灭菌的影响;灭菌增加了一体式PEEK扫描杆位移,而观察到的较大误差值可能是因其对高温的敏感性造成的^[10]。Kumar等^[9]指出,在121℃下经过30 min、50个灭菌周期后,PEEK扫描杆的横向尺寸约减少了6%。然而,在本研究中测试的PEEK-Ti种植扫描杆,高压蒸汽灭菌对其线性和角度的准确性没有显著影响,结果可能归因于与一体PEEK材料设计相比,扫描杆的钛基底变形敏感性较低。由于不同实验设计的异质性,无法直接与过往研究进行比较。尽管如此,在本研究中能观察到当灭菌周期超过50次时,线性误差出现轻微递增,可以预见到扫描杆发生轻微的变形。扫描杆的一致性对于数据库文件的对齐至关重要^[33],但在过往的相关研究中^[10,35],未能对其进行评估。在本研究中,进行了扫描杆一致性评估,以检测灭菌过程中扫描杆PEEK部分是否发生了变形,但结果表明,在PEEK部分的外表面上没有检测到显著变形。因此,本研究推测预期的轻微变形可能源于两种不同材料的机械连接,正如Arcuri等^[6]的研究发现,不同材料的组合至关重要,特别是由两种材料组合成的扫描杆。尽管在本研究中没有发现显著的误差,但是在PEEK-Ti种植扫描杆经过多次灭菌后仍需谨慎,不应忽视轻微的误差,因为在种植修复数字化印模流程中,轻微的误差可能会影响数字化印模的准确度,如果误差被放

大到可检测的程度,将会导致最终修复体出现邻接误差问题^[36]和局部受力误差问题^[37]。

本研究属于体外研究测试,结果显示高压蒸汽灭菌次数对PEEK-Ti种植扫描杆的外形改变及其获取数字化印模数据的准确度没有显著影响,经高压蒸汽灭菌100次后的PEEK-Ti种植扫描杆仍可满足临床数字化印模的需求。研究发现,当灭菌次数超过50次时线性误差出现轻微的递增,这可能是由于两种不同材料的机械连接引起的。本研究所用的PEEK-Ti种植扫描杆在国内外临床较为常见且具有一定代表性,后续研究可考虑增加不同厂家的扫描杆产品进行对比研究。此外,研究只对单个PEEK-Ti种植扫描杆进行了测试,具有一定的局限性,后续研究可考虑增加扫描杆的样本量,获取更多的测试结果信息比较分析,进一步支持和探索本研究结果。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 谢馨:实验设计、实验操作、文章撰写;李一鸣:论文审阅及修正;胡晓均:数据统计分析、数据整理、作图;邓飞龙:指导研究方案设计及研究经费的支持

参 考 文 献

- [1] Goracci C, Franchi L, Vichi A, et al. Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full - arch impressions: A systematic review of the clinical evidence [J]. *Eur J Orthod*, 2016, 38(4):422-428. DOI:10.1093/ejo/cjv077.
- [2] Gallardo YR, Bohner L, Tortamano P, et al. Patient outcomes and procedure working time for digital versus conventional impressions: A systematic review[J]. *J Prosthet Dent*, 2018, 119(2):214-219. DOI:10.1016/j.prosdent.2017.07.007.
- [3] Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: A randomized crossover trial[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2016, 27(12):e185-e189. DOI:10.1111/clr.12600.
- [4] Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review [J]. *J Prosthet Dent*, 2018, 120(3):343-352. DOI:10.1016/j.prosdent.2017.10.029.
- [5] Huang R, Liu Y, Huang B, et al. Improved scanning accuracy with newly designed scan bodies: An *in vitro* study comparing digital versus conventional impression techniques for complete-arch implant rehabilitation[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2020, 31(7):625-633. DOI:10.1111/clr.13598.
- [6] Arcuri L, Pozzi A, Lio F, et al. Influence of implant scanbody material, position and operator on the accuracy of digital impression for complete-arch: A randomized *in vitro* trial[J]. *J Prosthodont Res*, 2020, 64(2):128-136. DOI:10.1016/j.jpjor.2019.06.001.
- [7] Tan JZH, Tan MY, See Toh YL, et al. Three - dimensional positional accuracy of intraoral and laboratory implant scan bodies [J]. *J Prosthet Dent*, 2022, 128(4):735-744. DOI:10.1016/j.prosdent.2020.09.057.
- [8] Arcuri L, Lio F, Campana V, et al. Influence of implant scanbody wear on the accuracy of digital impression for complete-arch: A randomized *in vitro* trial [J]. *Materials (Basel)*, 2022, 15(3):927. DOI:10.3390/ma15030927.
- [9] Kumar A, Yap WT, Foo SL, et al. Effects of sterilization cycles on PEEK for medical device application [J]. *Bioengineering (Basel)*, 2018, 5(1):18. DOI:10.3390/bioengineering5010018.
- [10] Diker E, Terzioglu H, Gouveia DNM, et al. Effect of material type, torque value, and sterilization on linear displacements of a scan body: An *in vitro* study [J]. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2023, 25(2):419-425. DOI:10.1111/cid.13187.
- [11] 戚仕涛,汤黎明,王羽. 压力蒸汽灭菌设备质量控制技术和实例[J]. *医学研究生学报*, 2008, 21(4):446-448. DOI:10.3969/j.issn.1008-8199.2008.04.032.
- [12] 贾佳,王亚飞. 口腔器械常用消毒灭菌方法效果比较[J]. *护理学杂志*, 2016, 31(22):85-86. DOI:10.3870/j.issn.1001-4152.2016.22.085.
- [13] Vandeweghe S, Vervack V, Dierens M, et al. Accuracy of digital impressions of multiple dental implants: An *in vitro* study [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017, 28(6):648-653. DOI:10.1111/clr.12853.
- [14] van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, et al. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology [J]. *PLoS One*, 2012, 7(8):e43312. DOI:10.1371/journal.pone.0043312.
- [15] Revilla-León M, Subramanian SG, Att W, et al. Analysis of different illuminance of the room lighting condition on the accuracy (trueness and precision) of an intraoral scanner [J]. *J Prosthodont*, 2021, 30(2):157-162. DOI:10.1111/jopr.13276.
- [16] Revilla-León M, Methani MM, Özcan M. Impact of the ambient light illuminance conditions on the shade matching capabilities of an intraoral scanner [J]. *J Esthet Restor Dent*, 2021, 33(6):906-912. DOI:10.1111/jerd.12662.
- [17] Lim JH, Park JM, Kim M, et al. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience [J]. *J Prosthet Dent*, 2018, 119(2):225-232. DOI:10.1016/j.prosdent.2017.05.002.
- [18] Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, et al. Trueness of 12 intraoral scanners in the full - arch implant impression: A comparative *in vitro* study [J]. *BMC Oral Health*, 2020, 20(1):263. DOI:10.1186/s12903-020-01254-9.
- [19] Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, et al. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants: A comparative *in vitro* study [J]. *BMC Oral Health*, 2019, 19(1):101. DOI:10.1186/s12903-019-0792-7.
- [20] Zhang XY, Cao Y, Hu ZW, et al. Scanning accuracy of 10 intraoral scanners for single-crown and three-unit fixed denture preparations: An *in vitro* study [J]. *Chin J Dent Res*, 2022, 25

- (3):215-222. DOI:10.3290/j.cjdr.b3317959.
- [21] Mizumoto RM, Alp G, Özcan M, et al. The effect of scanning the palate and scan body position on the accuracy of complete-arch implant scans[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2019, 21(5): 987-994. DOI:10.1111/cid.12821.
- [22] Pattamavilai S, Ongthiemsak C. Accuracy of intraoral scanners in different complete arch scan patterns[J]. J Prosthet Dent, 2024, 131(1):155-162. DOI:10.1016/j.prosdent.2021.12.026.
- [23] Li Z, Huang R, Wu X, et al. Effect of scan pattern on the accuracy of complete-arch digital implant impressions with two intraoral scanners[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2022, 37(4):731-739. DOI:10.11607/jomi.9248.
- [24] Pan Y, Tsoi JKH, Lam WYH, et al. Does the geometry of scan bodies affect the alignment accuracy of computer-aided design in implant digital workflow: An *in vitro* study? [J]. Clin Oral Implants Res, 2022, 33(3):313-321. DOI:10.1111/clr.13890.
- [25] Mizumoto RM, Yilmaz B, McGlumphy EA Jr, et al. Accuracy of different digital scanning techniques and scan bodies for complete-arch implant-supported prostheses[J]. J Prosthet Dent, 2020, 123(1):96-104. DOI:10.1016/j.prosdent.2019.01.003.
- [26] Dutton E, Ludlow M, Mennito A, et al. The effect different substrates have on the trueness and precision of eight different intraoral scanners[J]. J Esthet Restor Dent, 2020, 32(2): 204-218. DOI:10.1111/jerd.12528.
- [27] Bocklet C, Renne W, Mennito A, et al. Effect of scan substrates on accuracy of 7 intraoral digital impression systems using human maxilla model[J]. Orthod Craniofac Res, 2019, 22(Suppl 1): 168-174. DOI:10.1111/ocr.12273.
- [28] Wu HK, Chen G, Huang X, et al. Accuracy of single-implant digital impression with various scanbody exposure levels at anterior and posterior regions[J]. J Dent, 2023, 138: 104641. DOI:10.1016/j.jdent.2023.104641.
- [29] Sequeira V, Harper MT, Lilly CL, et al. Accuracy of digital impressions at varying implant depths: An *in vitro* study[J]. J Prosthodont, 2023, 32(1):54-61. DOI:10.1111/jopr.13496.
- [30] Laohverapanich K, Luangchana P, Anunmana C, et al. Different implant subgingival depth affects the trueness and precision of the 3D dental implant position: A comparative *in vitro* study among five digital scanners and a conventional technique[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2021, 36(6): 1111-1120. DOI: 10.11607/jomi.9014.
- [31] Lyu M, Di P, Lin Y, et al. Accuracy of impressions for multiple implants: A comparative study of digital and conventional techniques[J]. J Prosthet Dent, 2022, 128(5): 1017-1023. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.01.016.
- [32] Chen Y, Zhai Z, Watanabe S, et al. Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners[J]. J Dent, 2022, 124: 104220. DOI:10.1016/j.jdent.2022.104220.
- [33] Kim J, Son K, Lee KB. Displacement of scan body during screw tightening: A comparative *in vitro* study[J]. J Adv Prosthodont, 2020, 12(5):307-315. DOI:10.4047/jap.2020.12.5.307.
- [34] Dioguardi M, Sovereto D, Illuzzi G, et al. Management of instrument sterilization workflow in endodontics: A systematic review and meta-analysis[J]. Int J Dent, 2020: 5824369. DOI: 10.1155/2020/5824369.
- [35] Kato T, Yasunami N, Furuhashi A, et al. Effects of autoclave sterilization and multiple use on implant scanbody deformation *in vitro*[J]. Materials (Basel), 2022, 15(21): 7717. DOI: 10.3390/ma15217717.
- [36] Choi YD, Lee KE, Mai HN, et al. Effects of scan body exposure and operator on the accuracy of image matching of implant impressions with scan bodies[J]. J Prosthet Dent, 2020, 124(3): 379.e1-379.e6. DOI:10.1016/j.prosdent.2020.04.004.
- [37] Bhering CL, Takahashi JM, Luthi LF, et al. Influence of the casting technique and dynamic loading on screw detorque and misfit of single unit implant-supported prostheses[J]. Acta Odontol Scand, 2013, 71(3/4): 404-409. DOI: 10.3109/00016357.2012.690528.

(收稿日期:2024-04-26)

(本文编辑:王嫚)