

3D 打印树脂种植工作模型尺寸稳定性对替代体复制精度影响的初步研究

李欣¹ 鲁玉宗² 杨咏涛³ 温奥楠⁴ 王勇^{3,4} 赵一姣^{3,4}

1. 青岛大学附属医院口腔种植科 青岛大学口腔医学院, 青岛 266100;

2. 山东华新义齿有限公司, 青岛 266106; 3. 北京大学医学部医学技术研究院, 北京 100191;

4. 北京大学口腔医学院·口腔医院, 数字化研究中心, 国家口腔医学中心, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 口腔生物材料和数字诊疗装备国家工程研究中心, 国家卫生健康委口腔数字医学重点实验室, 口腔数字医学北京市重点实验室, 北京 100081

[摘要] **目的** 研究3D打印树脂种植工作模型尺寸稳定性对替代体复制精度的影响。**方法** 获取10例拟进行2个种植体支持的联冠或者固定桥修复患者的数字化印模, 在模型打印完成后的3、7、14 d在替代体上安装扫描杆进行扫描, 在Geomagic Wrap 2021软件中基于扫描数据分析不同时间扫描杆相对于口内扫描的3D偏差、线性偏差和角度偏差。**结果** 种植替代体位置发生了与模型收缩方向一致的近中舌侧偏移。从第7天开始, 替代体(扫描杆)的3D偏差、距离线性偏差和角度偏差相较于第3天显著增大($P<0.05$)。在第14天时, 变化更加明显, 其中3D偏差、距离线性偏差及轴线角度偏差与3 d和7 d组相比差异均具有统计学意义($P<0.05$)。各组间高度线性偏差差异无统计学意义。**结论** 3D打印树脂模型的尺寸稳定性不足会导致替代体相对位置和角度的变化, 从而影响替代体对种植体位置复制的精度。建议在模型打印完的7 d内完成修复体的制作。

[关键词] 3D打印; 树脂工作模型; 尺寸稳定性; 种植修复; 精度

[中图分类号] R783 **[文献标志码]** A **[doi]** 10.7518/hxkq.2025.2024462



本文链接 开放科学标识码

Preliminary study on the influence of the dimensional stability of 3D printed resin master model on the replication accuracy of implant replicas

Li Xin¹, Lu Yuzong², Yang Yongtao³, Wen Aonan⁴, Wang Yong^{3,4}, Zhao Yijiao^{3,4}

1. Dept. of Oral Implantology, Affiliated Hospital of Qingdao University, School of Stomatology, Qingdao University, Qingdao 266100, China; 2. Shandong Huaxin Denture Co., Ltd, Qingdao 266106, China; 3. Institute of Medical Technology, Peking University Health Science Center, Beijing 100191, China; 4. Center of Digital Dentistry, Peking University School and Hospital of Stomatology & National Center for Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & National Engineering Research Center of Oral Biomaterials and Digital Medical Devices & NHC Key Laboratory of Digital Stomatology & Beijing Key Laboratory of Digital Stomatology, Beijing 100081, China

Supported by: Qingdao Natural Science Foundation (23-2-133-zyyd-jch); Medical and Health Science and Technology Development Plan Project of Shandong Province (202208050566)

Correspondence: Wang Yong, E-mail: kgcadc@bjmu.edu.cn; Zhao Yijiao, E-mail: kqcacds@bjmu.edu.cn

[收稿日期] 2024-12-18; **[修回日期]** 2025-04-16

[基金项目] 青岛市自然科学基金(23-2-133-zyyd-jch); 山东省医药卫生科技发展计划项目(202208050566)

[第一作者] 李欣, 副主任医师, 博士, E-mail: lixindentist@126.com

[通信作者] 王勇, 教授, 硕士, E-mail: kgcadc@bjmu.edu.cn; 赵一姣, 高级工程师, 硕士, E-mail: kqcacds@bjmu.edu.cn

[Abstract] **Objective** This study aimed to investigate the influence of the dimensional stability of 3D printed resin master model on the replication accuracy of implant replicas. **Methods** Ten digital impressions of patients undergoing continuous crowns or fixed bridge restoration supported by two implants were obtained, and

resin models with implant replicas were 3D printed. Scanning rods were fixed on the replicas 3, 7, and 14 days after printing. The 3D, linear, and angular deviations of the scanning rods at different times were analyzed through Geomagic Wrap 2021 software. **Results** The position of the replicas shifted mesiolingually, in the same direction as the shrinkage of the model. From day 7 onward, the 3D, distance linear, and angular deviations of the replicas (scanning rod) significantly increased compared with those on the 3rd day ($P<0.05$). On the 14th day, the changes were even more pronounced, with the above deviations showing statistical significance ($P<0.05$) compared with those for the 3-day and 7-day groups. No statistical difference in height linear deviation was observed among the groups. **Conclusion** The insufficient dimensional stability of 3D printed resin models can lead to changes in the relative position and angle of the replicas, thereby affecting the accuracy of the replicas in recreating the implant's position. Complete manufacturing of prosthesis is recommended within 7 days after the model is printed.

[Key words] 3D printing; resin working model; dimensional stability; implant restoration; accuracy

种植体与基台以及基台与牙冠之间的被动就位有利于获得长期稳定的功能和修复效果。在种植修复体制作过程中,工作模型中替代体对口内种植体三维位置的准确复制和保持稳定,是实现被动就位的先决条件,对于种植修复的精度有着重要的影响^[1]。临床上转移种植体三维位置的技术除了传统印模技术外,通过数字化扫描结合3D打印技术来获得带有种植替代体的树脂模型应用越来越普及。与传统方法相比,数字化技术简单高效^[2],患者舒适度高^[3],易于储存,节省空间^[4]。

种植修复的数字化流程包括:使用口内扫描仪实时获取患者牙龈、牙齿、种植扫描杆、咬合记录等表面形态信息,数据以标准细分曲面语言(standard tessellation language, STL)的格式导出^[5]。在软件中匹配扫描杆,自动生成替代体,便获得带有种植体三维位置信息的数字化模型,然后利用3D打印机将数据通过分层加工和叠加成型的方式打印出来,形成种植树脂工作模型^[6]。在模型上选择合适型号的成品基台、修整基台,在此基础上完成上部修复体的设计和制作,最后在树脂模型上进行牙冠试戴、调磨、抛光等处理,若共同就位道良好,可将修复基台与牙冠体外粘接。

由此可见,数字化扫描技术获取的数字化种植印模和3D打印技术制作的树脂模型,是决定种植体三维位置复制是否准确两大关键因素。大量研究^[7-8]表明,牙列缺损范围较小的种植数字化印模技术是临床上可代替传统硅橡胶取模的方法。2018年第五组ITI共识报告^[9]指出,体外条件下,数字化技术对于获取单个或多个相邻种植体的牙列缺损和多个种植体的牙列缺失的印模精度与传统方式相当。光固化树脂类3D打印技术已发展成熟,打印速度较快,成型精度较高,特别适合配合口内扫描打印牙颌模型的复杂细节特征^[10]。准

确复制口内软硬组织和种植体三维位置的打印模型是一种有效替代石膏模型的新方式^[11]。

关于数字化种植修复精度的研究,大多数文献都集中在数字化印模的精度^[12-13]和3D打印精度^[14-15]。而数字化扫描结合3D打印技术转移复制多颗种植体三维位置后,3D打印树脂模型的尺寸稳定性对替代体之间相对位置的影响未见有文献报道。本研究旨在获取拟进行2个种植体支持的联冠或者固定桥修复患者的打印模型,通过分析模型打印后不同时间的替代体上扫描杆相对位置变化,明确光固化3D打印模型的尺寸稳定性是否会对种植替代体三维位置和种植修复精度产生影响,以期为临床应用提供参考和指导。

1 材料和方法

1.1 数据获取

选择已植入2颗种植体(Straumann公司,瑞士),拟行联冠或者3单位固定桥修复的临床患者10例。旋出愈合基台,旋入高精度聚醚醚酮扫描杆(CARES®,ITI, Straumann公司,瑞士),拍摄X线片确保扫描杆准确就位,并加力15 N。使用3 Shape口内扫描仪获取含有扫描杆、软硬组织形态的数字化模型信息,作为参考模型。

1.2 3D打印树脂工作模型

基于口内扫描数据,使用高精度树脂打印机(Ultra Craft A2D,广州黑格智能科技有限公司)和三维打印树脂材料(M200,义乌筑真电子科技有限公司)打印制作对应的树脂模型。模型打印完成后,按照打印机操作说明要求对打印模型进行清洗、干燥、固化、去除支撑、打磨和抛光,然后在相应缺牙位点安装数字化印模专用种植体替代体,利用摩擦和螺丝固位确保替代体安放准确。

打印完成的模型保存于25℃、46%湿度的条件下,同时避免阳光直射。

1.3 实验分组

在模型打印后的第3、7、14天,将扫描杆按与口内相同的位置以15 N的扭矩拧在种植体替代体上,采用统一的扫描路径,获得不同时间各组的扫描数据。研究^[15-16]表明模型打印第3天尺寸相对较为稳定,可以代表模型在正常使用条件下的尺寸状态,因此选择3 d为对照组,7和14 d为实验组,将各组模型扫描数据与口内扫描参考数据的差值进行对比。在整个扫描过程中,保证口内光学扫描仪在同一时间段且相同的环境下进行采集数据。

1.4 扫描杆3D偏差分析

将各组扫描数据保存为STL文件,导入到Geomagic Wrap 2021软件中,首先通过“N点对齐”工具,利用牙尖特征标志点,将各时间段模型扫描数据与同一病例中口内扫描参考数据进行初步对齐。选择扫描杆近远中至少2颗牙齿相同部位(牙

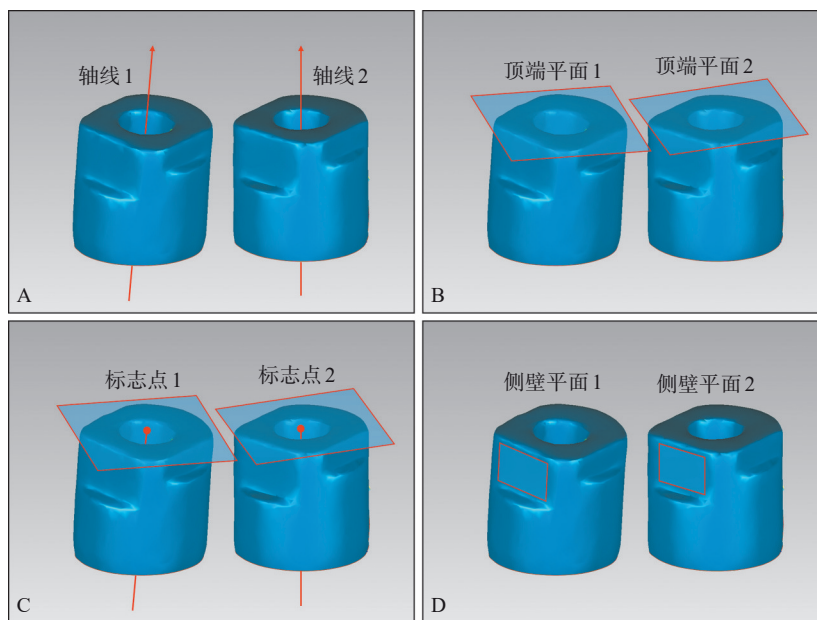
齿骀面和外形高点线以上的轴面)进行“最佳拟合对齐”,再使用“3D偏差分析”功能,计算获得配准后实验组和对照组扫描杆与对应参考模型扫描杆之间的三维形态差异的均方根(root mean square, RMS),计算方法见公式,具体如下。

$$RMS = \frac{1}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{1,i} - X_{2,i})^2}$$

n 代表参考扫描杆上测量点的数量, $X_{1,i}$ 表示参考扫描杆的第*i*个测量点, $X_{2,i}$ 代表测量点 $X_{1,i}$ 在不同时间模型组扫描杆上对应的最近点。同时生成3D偏差分析色阶图。

1.5 扫描杆轴线角度偏差分析

利用软件中“特征”“旋转轴”建立2个扫描杆的中心轴(图1A),使用“两直线夹角”功能计算角度值并记录。将从参考模型获得的数据作为轴线角度偏差实验的真值。应用上述方法分别计算对照组和实验组扫描杆的轴线角度,将对照组和实验组的数据分别减去相应的参考模型的数据,最终获取2个扫描杆(替代体)间轴线角度偏差值。



A: 扫描杆中心轴建立; B: 扫描杆顶端平面建立; C: 标志点建立,以及平面与中心轴的交点; D: 扫描杆侧壁平面建立。

图1 扫描杆特征建立

Fig 1 Feature establishment of scanning rod

1.6 扫描杆距离线性偏差分析

利用“最佳拟合”构建与扫描杆顶端一致的平面(图1B),该平面与轴线相交于一点,此点就是测量线性距离的标志点(图1C),选择“两点距离”测量同一病例2个扫描杆标志点之间的线性距离并记录。将从参考模型获得的数据作为真值。应用上述方法分别计算对照组和实验组扫描杆的

线性距离,将对照组和实验组数据分别减去相应的参考模型的数据,最终获取2个扫描杆(替代体)间距离线性偏差值。

1.7 面角角度偏差分析

使用软件的“特征”功能,利用“最佳拟合”构建出标准扫描杆的侧壁平面(图1D),该平面可反映种植体内部抗旋结构的精确位置。选择“两

平面夹角”，测量同一病例2个扫描杆侧壁平面之间的角度并记录。将从参考模型获得的数据作为真值。应用上述方法分别计算对照组和实验组扫描杆的面角角度，将对照组和实验组的数据分别减去相应的参考模型的数据，最终获取2个扫描杆（替代体）面角角度偏差值。

1.8 扫描杆高度线性偏差分析

在采集选项卡的测量中，选择“两平面距离”，测量同一病例2个扫描杆顶端平面之间的距离并记录。将从参考模型获得的数据作为真值。应用上述方法分别计算对照组和实验组扫描杆的高度线性距离，将对照组和实验组的数据分别减去相应的参考模型的数据，最终获取2个扫描杆（替代体）间高度线性偏差值。

1.9 统计学分析

各组RMS值、线性偏差、角度偏差等实验数据采用均值±标准差进行描述，使用SPSS 22.0软件进行统计分析。采用Shapiro-Wilk检验对数据进行正态性检验，采用配对样本t检验分别对7 d组和14 d组与3 d组比较。 $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。

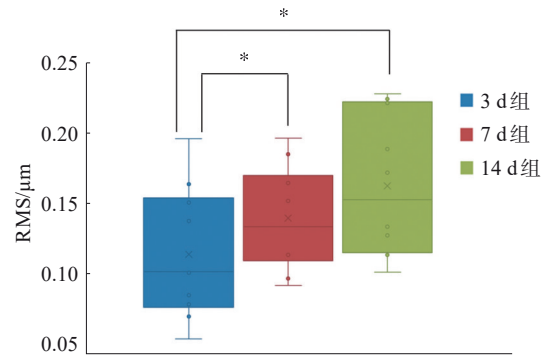
2 结果

2.1 3D偏差分析

3、7和14 d组扫描杆与对应的参考模型扫描杆的3D偏差RMS平均值分别为 (115.56 ± 43.41) 、 (141.15 ± 35.40) 和 (164.02 ± 47.42) μm ，7 d组和14 d组相对于3 d组RMS值明显增大，差异均具有统计学意义 ($P < 0.01$) (图2)。说明随着时间延长，模型会发生翘曲变形，扫描杆3D偏差逐渐增大。各组的色阶图见图3。由图3可见，随着时间的延长，扫描杆位置发生了向近中舌侧的位移，与模型整体收缩方向一致。

2.2 线性偏差分析

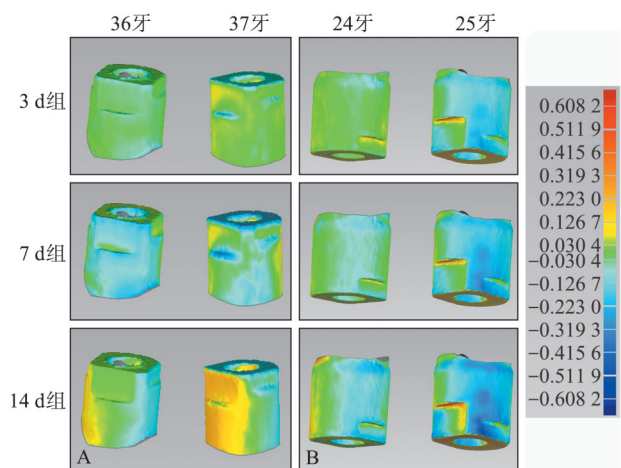
3、7、14 d组扫描杆的距离线性偏差分别为 (42.41 ± 26) 、 (60.1 ± 23) 和 (73.83 ± 28) μm (图4)。随着时间的延长，距离线性偏差逐渐增大，说明随着模型的收缩，其内的替代体水平向相对位置发生了变化。各实验组与对照组的距离线性偏差差异均具有统计学意义 ($P < 0.01$)。3、7和14 d组高度线性偏差分别为 (59.12 ± 24) 、 (80.34 ± 41) 、 (82.78 ± 34) μm (图4)。各实验组和对照组间高度线性偏差差异均无统计学意义 (P 值分别为0.14和0.07)。



与3 d组相比，* $P < 0.01$ 。

图2 3、7、14 d组扫描杆3D偏差RMS值箱型图

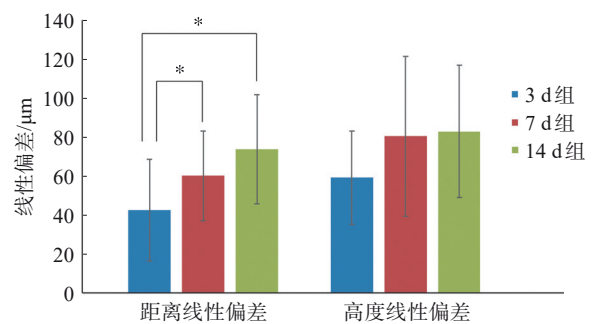
Fig 2 Box plot of 3D deviation RMS values of scanning rods in 3, 7, and 14 days groups



A: 患者1, 36、37牙扫描杆颊侧观; B: 患者2, 24、25牙扫描杆颊侧观。绿色表示与参考数据之间的变化极小(范围在 ± 0.03 μm 之内), 蓝色表示向舌侧移位, 黄色到红色表示向颊侧、近中移位。

图3 3、7、14 d组扫描杆3D偏差分析色阶图

Fig 3 Color scale diagram of 3D deviation analysis of scanning rods in 3, 7, and 14 d groups



与3 d组相比，* $P < 0.01$ 。

图4 3、7、14 d组线性偏差柱状图

Fig 4 Histogram of linear deviations in 3, 7, and 14 d groups

2.3 角度偏差分析

3、7、14 d组扫描杆的轴线角度偏差分别为

0.17°±0.11°、0.35°±0.18°和0.62°±0.28°(图5)。说明模型中替代体随着模型的收缩变形发生了相对倾斜度的改变,时间越久,变化越明显。各实验组与对照组的轴线角度偏差结果显示差异均具有统计学意义($P<0.01$)。3、7和14 d组面角角度偏差分别是1.19°±0.5°、1.69°±0.68°、2.13°±0.89°(图5)。随着打印时间的延长偏差逐渐增大,说明替代体在模型中发生了旋转,从而导致了内侧壁抗旋平面位置的变化。各实验组与对照组的面角角度偏差结果显示差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

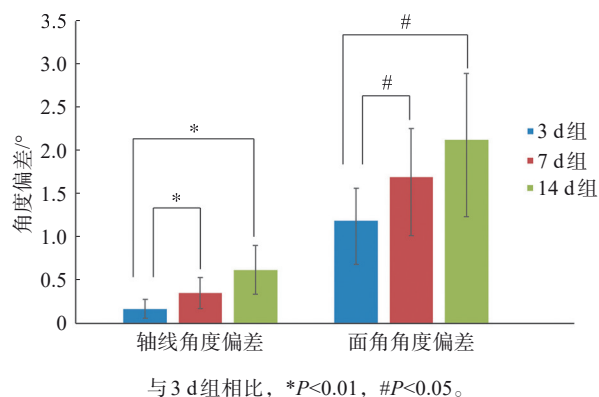


图5 3、7、14 d组角度偏差柱状图

Fig 5 Histogram of angular deviations in 3, 7, and 14 d groups

3 讨论

种植修复数字化技术越来越广泛地应用于临床,且贯穿于种植印模制取、模型制备、牙冠设计制作全过程。目前,口内数字化扫描主要应用于种植体支持的单冠和小跨度桥修复^[17-18]。而光固化3D打印的树脂模型也有逐渐取代石膏模型的趋势^[19]。由于牙冠与基台以及基台与种植体之间的被动就位对于患者临床结果的长期稳定性至关重要,所以与天然牙支持的冠桥修复体相比,种植体支持的修复体对密合度的要求更高^[20]。而印模的制取和模型制备是影响种植修复体密合度的关键因素。对于小跨度的种植修复口内扫描数字化印模,大部分研究认为其准确度在临床可接受阈值或不低于传统印模技术^[21-22],将三维数据实体化的3D打印树脂牙颌模型也有良好的精度表现^[23]。然而关于打印模型的尺寸稳定性对于种植修复精度的影响尚未见文献报道。因此需要来评估3D打印模型的稳定性对替代体位置的影响,以便在临床中为患者提供最佳的数字化种植修复体验和疗效。

种植体上部修复体的设计、制作是基于安放修复基台的树脂打印模型完成的,同时牙冠边缘密合性、形态及邻接关系也需要在打印模型上进行检验、调磨和修改。多数关于光固化3D打印树脂模型的研究表明其打印精度可以满足临床要求。然而,光固化打印树脂会随着时间延长出现聚合收缩和翘曲变形^[24],从而降低模型精度^[25]。对于种植修复,打印模型后需要等待基台,修整基台,再进行牙冠的设计、制作、调整,整个过程需要2周甚至更长的时间完成。而对于这种长治疗周期的项目,工作模型的远期尺寸稳定性是否会导致替代体相对位置改变,进而影响替代体对口内种植体三维位置复制的精度是一个值得考虑的问题。

数字化技术的精度决定种植修复的精度。种植修复过程中复制种植体三维位置的精度误差允许范围目前尚无定论^[26]。Brånemark^[27]认为种植修复时就位偏差应小于10 μm,但是目前的技术难以达到此精度范围。多数学者^[28-30]认为种植修复时模型的误差控制在100~150 μm是可以接受的。在进行种植修复时,如果3D打印模型中替代体位置与口内种植体实际位置存在大于200 μm的误差,就不能保证修复体的制作精度,进而会影响修复体被动适合性、邻接与咬合,甚至会导致后期种植修复的失败。本研究结果显示替代体3D、线性和角度偏差均随着模型放置时间的延长而逐渐增大,虽然3 d组相对于口内扫描组也发生了一定程度的变化,但差异里包含了配准、打印、安放替代体等环节产生的误差,不能代表模型尺寸变化而产生的结果,而且差异较小,在可以接受的范围内,所以将3 d与参考模型之间的线性和角度偏差作为对照,与7和14 d进行对比,以明确打印模型存放的时间对替代体位置、角度变化的影响。

3D偏差分析可以相对直观地获得综合评价结果,RMS值越小,说明匹配物体间差异越小,RMS值越大,说明匹配物体间差异越大。本实验中RMS值显示随着时间推移,扫描杆位置差异变化越来越大,相对于3 d组,7 d组和14 d组发生了明显的位置变化($P<0.01$),3 d和7 d组均在150 μm以内,但第14天RMS达到平均164 μm。根据3D偏差分析色阶图,不同时间组模型的扫描杆相对于参考模型颊侧、远中大多显示蓝色,舌侧、近中大多显示黄色,模型打印时间越久,颜色变化越明显。这表明替代体随着模型的翘曲变形,位置发生了近中舌侧的位移。

从角度偏差结果可见,随着模型放置时间增

长,其内的替代体并不仅仅是随着模型收缩方向出现整体位置的变化,而是发生了一定程度的倾斜和旋转,导致两替代体轴线角度和内部抗旋平面的相对位置发生了变化,其差异具有统计学意义。在进行单冠修复时,替代体轴向和水平向角度的少量变化可能会对邻接和咬合产生一定的影响,临床上可以通过少量的邻接和咬合调整使基台和牙冠顺利被动就位,并达到理想的咬合,不影响戴牙效果。但多颗种植体进行联冠或固定桥修复时,角度变化产生的制锁作用会导致基台或者牙冠不能达到被动就位,并且不能通过邻接和咬合调整解决,往往需要返工重新制作,增加了椅旁和患者等待的时间。

在线性偏差方面,替代体之间距离的变化差异存在统计学意义,但高度偏差无统计学意义,原因可能为牙颌模型水平向尺寸大于垂直向尺寸,因此牙颌模型的整体变形往往对水平向尺寸影响更大,模型随着放置时间延长发生水平向整体收缩,导致两替代体之间水平向距离发生变化,不涉及高度的变化,这与前期研究^[18,31]结果一致。

准确复制口内软硬组织和种植体三维位置的打印模型是种植修复成功的关键。本研究关注的是加工厂制作牙冠常用的以液态光固化树脂作为原料的3D打印模型。结果表明对于制作周期较长且多颗种植体支持的冠桥修复,3D打印模型的精度和尺寸稳定性尚不能完全取代传统印模方法获得的石膏模型。为了减少修复体制作中的误差和医生戴牙时的工作量,建议在模型打印完的7d内完成修复体的制作,若不能保证制作周期控制在7d之内,可以将联冠改成2个单冠设计,采用不具有抗旋结构的桥基台或者重新打印模型。与此同时,医生应在熟悉数字化种植修复原理和操作要点的前提下严格把握适应证,减少各个环节的误差,方能充分发挥其优势,达到理想的种植修复效果。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

[参考文献]

- [1] Abduo J, Palamara JEA. Accuracy of digital impressions versus conventional impressions for 2 implants: an *in vitro* study evaluating the effect of implant angulation[J]. *Int J Implant Dent*, 2021, 7(1): 75.
- [2] Ting-Shu S, Jian S. Intraoral digital impression technique: a review[J]. *J Prosthodont*, 2015, 24(4): 313-321.
- [3] 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.
- [4] Alikhasi M, Alsharbaty MHM, Moharrami M. Digital implant impression technique accuracy: a systematic review[J]. *Implant Dent*, 2017, 26(6): 929-935.
- [5] Mandelli F, Ferrini F, Gastaldi G, et al. Improvement of a digital impression with conventional materials: overcoming intraoral scanner limitations[J]. *Int J Prosthodont*, 2017, 30(4): 373-376.
- [6] 陈洪刚, 剡亚妹, 高婧. 3D打印在口腔种植学中的应用研究进展[J]. *实用口腔医学杂志*, 2021, 37(3): 419-422. Chen HG, Yan YM, Gao J. Research progress on the application of 3D printing in oral implantology[J]. *J Pract Stomatol*, 2021, 37(3): 419-422.
- [7] Cicciù M, Fiorillo L, D'amico C, et al. 3D digital impression systems compared with traditional techniques in dentistry: a recent data systematic review[J]. *Materials (Basel)*, 2020, 13(8): 1982.
- [8] Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, et al. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: a review [J]. *J Prosthodont*, 2018, 27(1): 35-41.
- [9] Wismeijer D, Joda T, Flugge T, et al. Group 5 ITI Consensus report: digital technologies[J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018, 29 (Suppl 16): 436-442.
- [10] 孙玉春, 李榕, 周永胜, 等. 三维打印在口腔修复领域中的应用[J]. *中华口腔医学杂志*, 2017, 52(6): 381-385. Sun YC, Li R, Zhou YS, et al. Application and outlook of three-dimensional printing in prosthetic dentistry[J]. *Chin J Stomatol*, 2017, 52(6): 381-385.
- [11] Etemad-Shahidi Y, Qallandar OB, Evenden J, et al. Accuracy of 3-dimensionally printed full-arch dental models: a systematic review[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(10): 3357.
- [12] 王伟娜, 雒静, 赵金花, 等. 三维打印口腔修复种植体的研究进展[J]. *口腔医学*, 2024, 44(2): 156-160. Wang WN, Luo J, Zhao JH, et al. Research progress of dental implant fabricated with 3D printing[J]. *Stomatology*, 2024, 44(2): 156-160.
- [13] Malik J, Rodriguez J, Weisbloom M, et al. Comparison of accuracy between a conventional and two digital intraoral impression techniques[J]. *Int J Prosthodont*, 2018, 31(2): 107-113.
- [14] Olea-Vielba M, Jareño-García D, Methani MM, et al.

- Accuracy of the implant replica positions on the complete edentulous additive manufactured cast[J]. *J Prosthodont*, 2020, 29(9): 780-786.
- [15] 李志文, 洪涛, 白石柱, 等. 桌面光固化3D打印模型远期尺寸稳定性的研究[J]. *实用口腔医学杂志*, 2021, 37(2): 158-163.
- Li ZW, Hong T, Bai SZ, et al. A study on long-term dimensional stability of desktop light-curing 3D-printed models[J]. *J Pract Stomatol*, 2021, 37(2): 158-163.
- [16] 古瑞, 王义鹏, 叶吴霜, 等. 三维打印光敏树脂牙列模型形态的长期稳定性研究[J]. *中华口腔医学杂志*, 2023, 58(3): 271-276.
- Gu R, Wang YP, Ye WS, et al. Study on long-term morphological stability of three-dimensional-printed photosensitive resin dental models[J]. *Chin J Stomatol*, 2023, 58(3): 271-276.
- [17] Joda T, Ferrari M, Gallucci GO, et al. Digital technology in fixed implant prosthodontics[J]. *Periodontol* 2000, 2017, 73(1): 178-192.
- [18] Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, et al. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature[J]. *BMC Oral Health*, 2017, 17(1): 149.
- [19] Jin SJ, Kim DY, Kim JH, et al. Accuracy of dental replica models using photopolymer materials in additive manufacturing: *in vitro* three-dimensional evaluation[J]. *J Prosthodont*, 2019, 28(2): e557-e562.
- [20] 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.
- [21] Kaitatzidou A, Chalazoniti A, Faggion CM Jr, et al. Digital scans versus conventional impressions in fixed prosthodontics: an overview of systematic reviews[J]. *J Prosthet Dent*, 2024; S0022-3913(24)00744-3.
- [22] Marghalani A, Weber HP, Finkelman M, et al. Digital versus conventional implant impressions for partially edentulous arches: an evaluation of accuracy[J]. *J Prosthet Dent*, 2018, 119(4): 574-579.
- [23] Ahmad S, Hasan N, Fauziya, et al. Review on 3D printing in dentistry: conventional to personalized dental care [J]. *J Biomater Sci Polym Ed*, 2022, 33(17): 2292-2323.
- [24] Quan H, Zhang T, Xu H, et al. Photo-curing 3D printing technique and its challenges[J]. *Bioact Mater*, 2020, 5(1): 110-115.
- [25] Nestler N, Wesemann C, Spies BC, et al. Dimensional accuracy of extrusion- and photopolymerization-based 3D printers: *in vitro* study comparing printed casts[J]. *J Prosthet Dent*, 2021, 125(1): 103-110.
- [26] 杨婷, 唐婉容. 数字化印模在无牙颌中应用的研究进展[J]. *口腔医学*, 2022, 42(3): 284-288.
- Yang T, Tang WR. Research progress of digital impression in edentulous jaws[J]. *Stomatology*, 2022, 42(3): 284-288.
- [27] Brånemark PI. Osseointegration and its experimental background[J]. *J Prosthet Dent*, 1983, 50(3): 399-410.
- [28] Jemt T. Failures and complications in 391 consecutively inserted fixed prostheses supported by Brånemark implants in edentulous jaws: a study of treatment from the time of prosthesis placement to the first annual checkup [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1991, 6(3): 270-276.
- [29] Rungrojwittayakul O, Kan JY, Shiozaki K, et al. Accuracy of 3D printed models created by two technologies of printers with different designs of model base[J]. *J Prosthodont*, 2020, 29(2): 124-128.
- [30] Papaspyridakos P, Chen YW, Alshawaf B, et al. Digital workflow: *in vitro* accuracy of 3D printed casts generated from complete-arch digital implant scans[J]. *J Prosthet Dent*, 2020, 124(5): 589-593.
- [31] 萧宁, 孙玉春, 赵一姣, 等. 口腔用光固化三维打印精度评价方法的建立及应用效果[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2019, 51(1): 120-130.
- Xiao N, Sun YC, Zhao YJ, et al. A method to evaluate the trueness of reconstructed dental models made with photocuring 3D printing technologies[J]. *J Peking Univ (Health Sci)*, 2019, 51(1): 120-130.

(本文编辑 杜冰)