

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2020.07.011

· 综述 ·

口腔种植固定义齿数字化印模精度的研究进展

李尊泰^{1,2}, 孟维艳^{1,2}

1. 吉林大学口腔医院种植科, 吉林 长春(130000); 2. 吉林省智能化口腔治疗技术工程重点实验室, 吉林 长春(130000)

【摘要】 随着数字化技术在口腔治疗中的广泛应用, 数字化印模已成为越来越多种植医师在印模制取时的选择。数字化印模具有患者体验佳、椅旁时间少、精度高等优势。本文回顾近5年的临床与基础实验研究文献, 概述数字化印模精度的影响因素, 给临床医师提供科学合理的建议。文献复习结果表明, 影响数字化印模精度的根本因素是数字化印模系统的成像方式及其配套软件。由于数字化印模系统受限于目前科技发展水平, 印模精度易受到医师扫描方式及策略、操作熟练度、扫描杆材质及形态、患者口内情况与环境光源等因素影响。建议医师在合理选用印模系统的前提下, 严格控制环境灯光, 应用直接法于口内获取印模以期获得高精度印模。在未来的应用中, 印模系统的逐步更新可减少系统性误差, 从而降低医师操作难度, 提升印模精度。

【关键词】 数字化; 印模; 扫描成像技术; 真实度; 精度; 误差; 种植修复; 固定义齿; 医师因素; 患者因素; 环境因素

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2020)07-0463-05

【引用著录格式】 李尊泰, 孟维艳. 口腔种植固定义齿数字化印模精度的研究进展[J]. 口腔疾病防治, 2020, 28(7): 463-467.



开放科学(资源服务)标识码(OSID)

Research progress on the precision of digital impressions used in implant-supported fixed prostheses LI Zuntai^{1,2}, MENG Weiyan^{1,2}. 1. Oral Implantology Department, Hospital of Stomatology, Jilin University, Changchun 130000, China; 2. Jilin Provincial Engineering Laboratory of Intelligent Oral Treatment Technology, Changchun 130000, China

Corresponding author: MENG Weiyan, Email: mengsitong66@163.com, Tel: 86-13596109555

【Abstract】 Since the digital impression technique has already been widely used in dental therapy, it has grown into a popular option among implant practitioners. The advantages of the digital impression technique are as follows: better experience for patients during the treatment; less chair-side time consumption; and reliability in making the precise impression. Thus, we reviewed the relevant factors that impact the precision of the digital impression technique and introduced its influence mechanism through an evidence-based method that was based on analyzing *in vitro* and *in vivo* literature published within the previous 5 years, with a focus on such considerations as relevant factors to dentists, digital impression systems, patients, and the environment. A review of the literature showed that the main factors that have a large influence on impression precision are imaging techniques and the software for the impression system. However, due to the development of impression systems that are restricted at scientific and technological levels, impression precision is affected by multiple factors, such as scanning techniques, dentist operation proficiency, material and contours of scan-bodies, patient conditions, and ambient light. Dentists are advised to scientifically choose the impression system, limit ambient light and adopt direct techniques that could enhance impression precision. In the future, the development of impression systems could reduce the systematic errors, decrease the operating complexity of dentists, and improve impression precision.

【收稿日期】 2019-08-06 **【修回日期】** 2020-02-22

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目(81571007)

【作者简介】 李尊泰, 硕士研究生在读, Email: 736306995@qq.com

【通信作者】 孟维艳, 教授, 博士, Email: mengsitong66@163.com, Tel: 86-13596109555

【Key words】 digitization; impression; scanning imaging technology; trueness; precision; errors; implant repair; fixed denture; physician factor; patient factor; environmental factor

J Prev Treat Stomatol Dis, 2020, 28(7): 463-467.

随着数字化技术的发展,数字化印模在种植固定义齿修复中广泛应用。数字化印模具有低技术敏感性、牙椅使用时间少、患者就诊体验佳等优点,受到临床医师及患者的喜爱。其中,高精度是数字化印模的核心优势。精密准确的上部修复结构可以显著增加种植修复治疗的长期成功率^[1],而精确制作修复体的前提是精确的印模。在实际应用中,影响数字化印模精度的因素较多。为量化数字化印模的精确程度,Ender等^[2]于2015年提出“真实度”(trueness)和“精度”(precision)概念,真实度定义为:扫描对象与真实几何体之间的差异,精度定义为:相同扫描仪在多次扫描同一物体时,非同次扫描之间的差异。真实度用于描述印模结果与标准值之间的差异,精度用于描述在特定条件下数字化印模出现的偶然误差。本文以口腔种植固定义齿修复的数字化印模的精度为基础,概述医师因素、数字化系统、患者因素、环境因素对数字化印模精度的影响,以期指导临床应用。

1 医师因素

1.1 印模方式

目前,种植固定义齿修复中数字化印模技术分为间接法与直接法两种。间接法是指以传统方式制取口内印模后,再将传统模型放入印模扫描仓获得数字化模型。直接法指应用数字化印模系统于口内进行扫描,以获取数字化印模。直接法获取种植体数字化印模与传统法相同,分为种植体水平转移与基台水平转移。种植体水平转移采用种植体厂商或第三方提供的扫描杆(scan body)安装在种植体上,并在口内扫描制取数字化印模。基台水平转移采用基台于口内就位、加力、排龈后制取数字化印模。Renne等^[3]在对口外模型基台转移扫描时发现金属基台存在明显的不规则反光,严重干扰数字化印模的精度和细节完整性。在最新操作守则上建议临床医师在口内金属扫描时喷涂二氧化钛粉末以增强数字化印模精度与细节真实度,基台水平转移常用于椅旁CAD/CAM制作。转移水平对数字化印模精度的影响缺乏进一步研究。Güth等^[4]在探究直接法与间接法

精度时,发现采用LAVA C.O.S(3M ESPE,美国)系统时直接法精度($19\ \mu\text{m}$)明显高于间接法($52\ \mu\text{m}$)。Güth等^[5]在其后续研究中发现直接法与间接法之间精度差异受到数字化印模系统的影响,其中CS 3500(Carestream Health, Inc,美国)直接法精度优于间接法,而CEREC AC Omnicam(Dentsply Sirona,德国)与CEREC AC Bluecam(Dentsply Sirona,德国)均为间接法精度较高,这可能与数字化印模系统受到口腔内污染物与环境光线影响有关。Ahrberg等^[6]在对切削全瓷冠进行精度分析后得出,基于直接法数字化模型获得的单冠、三单位冠桥边缘密合性($61.08 \pm 24.77\ \mu\text{m}$)优于间接法($70.40 \pm 28.87\ \mu\text{m}$)。此现象出现的本质是由于间接法比直接法操作步骤多,间接法系统误差大所致。

直接法是数字化印模未来发展趋势,目前直接法精度主要受限于复杂的口内环境与扫描成像技术。因此,建议使用高精度数字化印模系统的医师采用直接法以提高印模精度。

1.2 扫描杆选择

扫描杆在数字化印模种植体水平转移时起到定位种植体三维位置、方向的作用。Arcuri等^[7]应用共聚焦成像数字化印模系统,扫描不同材料扫描杆,对上颌全颌模型进行数字化印模分析得出,扫描杆材料和种植体位置对种植体三维位置和方向均具有显著影响,其中聚醚醚酮(polyether ether ketone, PEEK)材料所制成的扫描杆具有最好的三维位置和方向的精度。此外,Fluegge等^[8]在对不同形态的扫描杆进行口外扫描时得出,扫描杆外形对种植体三维位置和方向的精度影响明显, Camlog 生物技术公司(Camlog Biotechnologies, Basel, 瑞士)与士卓曼扫描杆(Straumann, Basel, 瑞士)对种植体定位能力的差异受到扫描杆形状影响,前者获得了较高精度(详见本文OSID码附表1)。Sawyer等^[9]在对士卓曼扫描杆进行反复安装、加力、制取数字化印模时发现,安装次数对士卓曼扫描杆的种植体定位精度无明显影响,部分CAD/CAM扫描杆在反复加力安装过程中出现定位精度下降,证明了士卓曼扫描杆具有可靠的种植体定

位功能。因此,临床医师在选用扫描杆时如充分考虑生产厂商、扫描杆形态及表面材料等因素,则可提高数字化印模的精度。

1.3 医师操作熟练度

操作者的经验及扫描手法明显影响数字化印模精度。有研究者分对比了口腔医学生、低年资修复医师与高年资修复医师获取的数字化印模的精度,发现有经验的操作者的数字化印模在近远中邻接面和颈缘等细节方面精度较高。Lim等^[10]分析了来自20名不同年资的牙科医师的数字化印模的精度,发现iTero数字化印模系统的精度随医师经验增长而增高,Trios数字化印模系统精度与操作者经验无关。由此可见,未来数字化印模系统的发展可以弥补因医师临床经验差异而出现的精度差异。此外,Latham等^[11]在对Planmeca Emerald(Planmeca,芬兰),3Shape Trios3(3Shape,丹麦),iTero Element(Align Technology,美国)CEREC AC Omnicam数字化印模系统,进行数字化模型精度对比时发现,采用适合的扫描策略可提升数字化印模精度(详见本文OSID码附表2)。因此,操作者在临床应用前完成数字化印模培训,并在口内扫描时选用适合的扫描策略可以明显增加数字化印模精度。

1.4 咬合扫描策略

数字化咬合记录的精度是影响印模精度及修复体精度的关键因素之一。颌面扫描精度与咬合时颊侧扫描精度均可对数字化咬合记录产生明显影响。Ende等^[12]对多种数字化印模系统扫描精度分析后,发现较少的颌面扫描张数可以提高颌面精度。导致该现象的本质是扫描成像算法。扫描仪于口内扫描得到点云(point cloud)信息,其中80%的点集中于待测物体表面,程序会在预计目标表面附近设置阈值,以自动去除干扰、错误信息。此阈值为一个相对较小的范围,阈值内的点均得到保留,作为三角面重建的基础。因此,较多的扫描张数会引发阈内点数增多,使得数字化模型表面积明显大于口内真实表面积,引发印模精确度降低。Solaberrieta等^[13]对数字化咬合记录精度分析时发现,较小的咬合记录面积可明显提升咬合记录精度。较大的咬合记录面积与较高的扫描张数会引发阈内有效点数增加,数字化印模系统运算量增大,在有效迭代次数内无法获得最佳值;阈内边缘点对咬合记录对齐影响较大,有效点增多加重了边缘点对咬合记录对齐的影响,使咬合记录

精度降低。

Eneko等^[14]对全可调颌架石膏模型进行口外数字化印模及数字化咬合记录精度进行探究,得出3Shape Trios数字化印模系统颌面印模精度明显高于LAVA C.O.S与Zfx Intrascan(Zimmer Biomet,美国),建议医师采用间距较大的三点式扫描策略获取数字化咬合记录以期获得较高精度。两点式咬合记录时,建议临床医师获取咬合记录之间的距离尽量增大,以获得更高精度。总之,减少颌面及咬合记录扫描张数,采用三点式咬合记录扫描策略(详见本文OSID码附图1),选用恰当的印模系统可明显提高咬合记录精度。

2 数字化印模系统因素

2.1 扫描成像技术

当前,不同厂商的数字化印模系统推出了不同的成像技术(详见本文OSID附表3)。成像主流技术分为:共聚焦技术、光学相干断层扫描、主动波振面采样、云纹干涉采样法、三角测量技术五类^[15-16]。其中共聚焦技术与光学相干断层扫描技术对半透明物体扫描具有显著优势。三角测量技术与主动波振面采集技术则以边缘清晰度见长。由此得出结论,临床使用共聚焦技术数字化印模系统,可明显增加数字化印模精度与准确性。

2.2 数字化印模系统软件

配套软件是数字化印模系统重要组成部分,负责将扫描仪获取的信息进行重叠、对接、矫正等工作,对数字化印模系统的精确度起到关键作用。目前,数字化印模系统缺乏统一的传输格式及输出/输入接口(O/I),难以单独比较其软件算法优劣。研究者们分别对7种常用数字化印模系统的精度进行了体外研究^[17-22],提示数字化系统对印模精度影响较大(详见本文OSID码附表4)。实验采用的模型材料、光照强度、色温等实验条件的不同,得出的结果存在较大差异。其中部分实验评估时忽略了数字化印模最或然值(检测平均值)和真值(原始数值)之间的差异对精度评估的影响,而采用标准差代替白塞尔公式描述印模系统的精度。该情况的出现使精度值偏低,高估了印模系统的精度。

3 患者因素

3.1 存留牙与种植体数目

患者口内存留牙、种植体数目、患者配合度等

均可影响数字化印模精度。Anthoy等^[20]扫描冰冻头颅上颌时,发现对牙列进行扫描的精度高于对软组织扫描的精度。Mangano等^[19]探究牙列缺失(精度: $28.5 \pm 0.5 \mu\text{m}$)与牙列缺损模型(精度: $46.3 \pm 4.9 \mu\text{m}$)时,发现后者数字化印模精度较高。由此可见,患者口内牙齿更多可以获得更好的数字化印模精度。Rech-Ortega等^[22]分析全口种植的数字化印模时得出,6枚种植体的印模精度高于4枚种植体。因此,在全口修复时,更多的种植体数目可以提升数字化印模的精度。

Flügge等^[23]在对拥有不同间距种植体的传统模型进行数字化印模分析时发现,数字化印模的精度随着种植体间距增大而降低。该现象出现的原因软组织具有微动且缺乏特异性形态,使得软件叠加图像时出现角度、线性错误,降低了模型精度。Gan等^[24]探究牙弓形态对数字化印模精度的影响时发现,宽大的牙弓可以明显提升数字化印模的精度。总之,较多的口内余留牙齿、较多的种植体、较小的种植体间距与宽大的牙弓可以明显提升数字化印模精度。

3.2 操作环境

口内操作环境局限和高湿度等特点对数字化印模的精度会产生诸多间接的影响。Flügge等^[25]使用iTero系统进行口内及口外扫描时发现,口外扫描精度更高(口内精度: $50 \mu\text{m}$,口外精度: $25 \mu\text{m}$),口内扫描时下颌印模精度明显高于上颌印模(上颌精度: $57 \mu\text{m}$,下颌精度: $43 \mu\text{m}$),该精度差距和口内较小的操作空间、有限的操作角度、患者配合度、口内唾液等因素有关。因此,医师在进行口内扫描时要尽量保持口内干燥,以熟练的操作降低印模时间、增加印模制取舒适度、提升患者配合度,从而提升数字化印模精度。

3.3 穿龈深度

扫描牙位的穿龈深度与形态同样对数字化印模精度、真实度存在影响。Joda^[26]在对取下临时义齿后袖口塌陷情况分析后得出,临时冠取出后5分钟时袖口已出现塌陷。为解决袖口塌陷,Monaco等^[27]提出了全“数字化技术”(fully digital technique)解决方案,该方案对牙龈袖口、佩戴临时义齿的龈缘形态与安装扫描杆时的穿龈形态进行3次扫描,将三次扫描结果拟合,得出真实的穿龈形态。Canullo等^[28]采用“生物导向制备术”(biologically oriented preparation technique),通过口内扫描获得种植体三维位置信息及软组织形态,口外扫

描获取临时义齿完整形态,经计算机拟合后得出口内真实穿龈形态。Caresteam在最新一代数字化印模系统中给出了“区域锁定”方案——将临时义齿去除后立刻对穿龈形态进行扫描并锁定穿龈区域数据,避免后续扫描对穿龈形态的更改^[5]。因此,数字化印模在前牙美学区应用时,应采用合理的方式避免牙龈袖口塌陷,减少袖口塌陷对数字化印模精度与真实度的影响。

4 环境因素

基于光学原理的数字化印模系统进行口内扫描时容易受到外界光源环境的影响。Arakida等^[29]在对不同光源强度及不同色温条件下数字化印模精度差异的研究中发现,外界光源越暗数字化印模精度越高,光源色温在3 900 K时取得最高精度。综合临床实践需要,关闭牙椅灯光,在3 900 K(黄色)、500 Lux亮度时扫描可达到最佳精度。

5 展望

数字化印模精度已经满足临床需求,但数字化印模精度仍受到医师、环境、患者、印模系统自身等诸多影响。未来,数字化印模扫描成像系统及软件算法的发展趋势是降低环境因素、操作者因素、患者因素对数字化印模精度的影响,降低数字化印模技术敏感性,并扩大数字化印模适应症。目前,医师对影响因素的正确分析与正确决策是影响种植印模精度的关键。医师在临床应用中应结合实际情况,选择恰当的扫描策略、选用合适转移体、控制环境灯光,以期获得更好的印模精度。

参考文献

- [1] Pera F, Pesce P, Bevilacqua M, et al. Analysis of different impression techniques and materials on multiple implants through 3-dimensional laser scanner[J]. *Implant Dent*, 2016, 25(2): 232-237.
- [2] Ender A, Mehl A. Accuracy in dental medicine, a new way to measure trueness and precision[J]. *J Vis Exp*, 2014, 29(86): e51374.
- [3] Renne W, Ludlow M, Fryml J, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: an *in vitro* analysis based on 3-dimensional comparisons[J]. *J Prosthet Dent*, 2016, 118(1): 36-42.
- [4] Güth JF, Keul C, Stimmelmayer M, et al. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing[J]. *Clin Oral Invest*, 2013, 17(4): 1201-1208.
- [5] Güth JF, Runkel C, Beuer F, et al. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization[J]. *Clin Oral Invest*, 2017, 21(5): 1445-1455.

- [6] Ahrberg D, Lauer HC, Ahrberg M, et al. Evaluation of fit and efficiency of CAD/CAM fabricated all-ceramic restorations based on direct and indirect digitalization: a double-blinded, randomized clinical trial[J]. Clin Oral Investig, 2016, 20(2): 291-300.
- [7] 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.
- [8] Fluegge T, Att W, Metzger M, et al. A novel method to evaluate precision of optical implant impressions with commercial scan bodies-an experimental approach[J]. J Prosthodont, 2015, 26(1): 34-41.
- [9] Sawyers J, Baig MR, El-Masoud B. Effect of multiple use of impression copings and scanbodies on implant cast accuracy[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2019, 34(4): 891-898.
- [10] Lim JH, Park JM, Kim M, et al. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience[J]. J Prosthet Dent, 2017, 119(2): 225-232.
- [11] Latham J, Ludlow M, Mennito A, et al. Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners[J]. J Prosthet Dent, 2020, 123(1): 85-95.
- [12] Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision[J]. J Prosthet Dent, 2013, 109(2): 121-128.
- [13] Solaberrieta E, Arias A, Brizuela A, et al. Determining the requirements, section quantity, and dimension of the virtual occlusal record[J]. J Prosthet Dent, 2016, 115(1): 52-56.
- [14] Eneko S, Asier G, Aritza B, et al. Intraoral digital impressions for virtual occlusal records: section quantity and dimensions[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 7173824.
- [15] Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, et al. Recent advances in dental optics-Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry [J]. Opt Lasers Eng, 2014, 54: 203-221.
- [16] Amelia C, Roxanna E, Teoh KH, et al. Three-dimensional accuracy of digital implant impressions: effects of different scanners and implant level[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2017, 32(1): 70-80.
- [17] Renne W, Ludlow M, Fryml J, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: an *in vitro* analysis based on 3-dimensional comparisons[J]. J Prosthet Dent, 2017, 118(1): 36-42.
- [18] Hitoshi A, Hidemichi K, Chikayuki O, et al. Examination of the position accuracy of implant abutments reproduced by intra-oral optical impression[J]. PLoS One, 2016, 11(10): e0164048.
- [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): 101-115.
- [20] Anthony SM, Zachary PE, Jansen N, et al. Evaluation of the trueness and precision of complete arch digital impressions on a human maxilla using seven different intraoral digital impression systems and a laboratory scanner [J]. J Esthet Restor Dent, 2019, 31(4): 369-377.
- [21] Amin S, Weber HP, Finkelman M, et al. Digital vs. conventional full-arch implant impressions: a comparative study[J]. Clin Oral Implants Res, 2017, 28(11): 1360-1367.
- [22] Rech-Ortega C, Fernández-Estevan L, Solá-Ruiz MF, et al. Comparative *in vitro* study of the accuracy of impression techniques for dental implants: direct technique with an elastomeric impression material versus intraoral scanner[J]. Med Oral Patol Oral Cir Bucal, 2017, 24(1): 89-95.
- [23] Flügge TV, Att W, Metzger MC, et al. Precision of dental implant digitization using intraoral scanners[J]. Int J Prosthodont, 2016, 29(3): 277-283.
- [24] Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of intraoral digital impressions for whole upper jaws, including full dentitions and palatal soft tissues[J]. PLoS One, 2016, 11(7): e0158800.
- [25] Flügge TV, Schlager S, Nelson K, et al. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner[J]. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2013, 144(3): 471-478.
- [26] Joda T. Time-dependent supraimplant mucosa changes: short communication[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2015, 30(3): 619-621.
- [27] Monaco C, Evangelisti E, Scotti R, et al. A fully digital approach to replicate peri-implant soft tissue contours and emergence profile in the esthetic zone[J]. Clin Oral Implants Res, 2016, 27(12): 1511-1514.
- [28] Canullo L, Di Domenico A, Marinotti F, et al. Soft tissue contour impression with analogic or digital work flow: a case report[J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15(12). doi: 10.3390/ijerph15122623.
- [29] Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, et al. Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intraoral scanner[J]. J Prosthodont Res, 2018, 62(3): 324-329.

(编辑 周春华)



官网



公众号