

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2024.05.001

· 专家共识 ·

数字化种植导板手术的精确性：非手术因素分析及对策的专家共识

徐淑兰¹, 李平¹, 杨烁¹, 李少冰¹, 卢海宾¹, 朱安棣¹, 黄立舒², 王劲茗³, 徐世同⁴, 王丽萍⁵, 汤春波⁶, 周延民⁷, 周磊⁸

1. 南方医科大学口腔医院(口腔医学院)口腔种植中心, 广东 广州(510280); 2. 澳门威尔口腔医疗中心, 澳门(999078); 3. 中山大学光华口腔医院口腔种植科, 广东 广州(510000); 4. 广州瑞泰口腔医院, 广东 广州(510000); 5. 广州医科大学附属口腔医院口腔种植科, 广东 广州(510000); 6. 南京医科大学附属口腔医院口腔种植中心, 江苏 南京(210029); 7. 吉林大学口腔医院口腔种植中心, 吉林 长春(130021); 8. 泰康拜博医疗集团有限公司, 广东 广州(510000)

【摘要】 计算机辅助静态导板引导种植手术的标准化流程包括术前检查、数据采集、计算机辅助设计、计算机辅助制作以及种植导板引导手术。其间每一环节产生的误差都可能导致误差的叠加效应, 从而影响种植体植入的准确性。然而, 临床医师往往关注于外科手术中的误差因素, 却忽略了术前阶段的不规范操作导致种植手术产生不可逆转的误差。本文结合国内专家的临床实践与国内外研究进展, 从种植导板手术术前检查、数据采集、导板设计、导板制作等方面, 对种植导板手术的误差来源进行总结, 并制定解决误差的策略, 形成专家共识。①术前因素考量: 术前应该根据患者口腔情况选择合适的种植导板类型, 必要时选用固位螺钉辅助支持式导板; ②规范数据采集流程: 尽量采用锥形束CT与口外扫描法进行数据采集, 建议选择小视野进行CBCT拍摄, 同时保持患者头部固定, 对于口内带有金属修复体的患者采用配准标记导板, 并且合理控制口外扫描的环境温度与光照; ③优化计算机辅助设计: 建议选用手柄引导的种植系统与封闭式金属套筒, 并通过标记物重叠的方式进行图像配准, 另外, 适当地设计固位螺钉、延伸导板的支持结构、增加导板引导段长度都是减少误差的可行方法; ④改进计算机辅助制作: 根据不同的打印技术设置最佳的打印参数, 选择合适的打印后处理与灭菌方法也是至关重要的。

【关键词】 数字化种植; 种植导板手术; 非手术因素; 准确性; 患者因素; 数据采集; 导板设计; 导板制作

【中图分类号】 R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2024)05-0321-09

【引用著录格式】 徐淑兰, 李平, 杨烁, 等. 数字化种植导板手术的精确性: 非手术因素分析及对策的专家共识[J]. 口腔疾病防治, 2024, 32(5): 321-329. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2024.05.001.

Accuracy of digital guided implant surgery: expert consensus on nonsurgical factors and their treatments

XU Shulan¹, LI Ping¹, YANG Shuo¹, LI Shaobing¹, LU Haibin¹, ZHU Andi¹, HUANG Lishu², WANG Jinming³, XU Shitong⁴, WANG Liping⁵, TANG Chunbo⁶, ZHOU Yanmin⁷, ZHOU Lei⁸. 1. Dental Implant Center, Stomatological Hospital, School of Stomatology, Southern Medical University, Guangzhou 510280, China; 2. Macau Weiyu Dental Medical Center, Macao Special Administrative Region 999078, China; 3. Department of Implantology, Guanghua School of Stomatology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510000, China; 4. Guangzhou Ruitai Dental Hospital, Guangzhou 510000, China; 5. Department of Implantology, Affiliated Stomatological Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510000, China; 6. Dental Implant Center, Affiliated Stomatological Hospital of Nanjing Medical University,

【收稿日期】 2023-04-27; **【修回日期】** 2023-10-28

【基金项目】 广东省基础与应用基础研究基金(2021A1515111140, 2021B1515120059); 南方医科大学口腔医院科研培育项目(PY2021003, PY2020011); 广州市科技项目(202102080148)

【作者简介】 徐淑兰, 主任医师, 硕士, Email: xushulan_672588@smu.edu.cn, Tel: 86-20-34152947

【通信作者】 周磊, 主任医师, 教授, 博士, Email: zho668@263.net, Tel: 86-20-84233801



微信公众号

Nanjing 210029, China; 7. Dental Implant Center, Hospital of Stomatological, Jilin University, Changchun 130021, China; 8. Taikang Bybo Dental Group Co.,Ltd., Guangzhou 510000, China

Corresponding author: ZHOU Lei, Email: zho668@263.net, Tel: 86-20-84233801

【Abstract】 The standardized workflow of computer-aided static guided implant surgery includes preoperative examination, data acquisition, guide design, guide fabrication and surgery. Errors may occur at each step, leading to irreversible cumulative effects and thus impacting the accuracy of implant placement. However, clinicians tend to focus on factors causing errors in surgical operations, ignoring the possibility of irreversible errors in nonstandard guided surgery. Based on the clinical practice of domestic experts and research progress at home and abroad, this paper summarizes the sources of errors in guided implant surgery from the perspectives of preoperative inspection, data collection, guide designing and manufacturing and describes strategies to resolve errors so as to gain expert consensus. Consensus recommendation: 1. Preoperative considerations: the appropriate implant guide type should be selected according to the patient's oral condition before surgery, and a retaining screw-assisted support guide should be selected if necessary. 2. Data acquisition should be standardized as much as possible, including beam CT and extraoral scanning. CBCT performed with the patient's head fixed and with a small field of view is recommended. For patients with metal prostheses inside the mouth, a registration marker guide should be used, and the ambient temperature and light of the external oral scanner should be reasonably controlled. 3. Optimization of computer-aided design: it is recommended to select a handle-guided planting system and a closed metal sleeve and to register images by overlapping markers. Properly designing the retaining screws, extending the support structure of the guide plate and increasing the length of the guide section are methods to feasibly reduce the incidence of surgical errors. 4. Improving computer-aided production: it is also crucial to set the best printing parameters according to different printing technologies and to choose the most appropriate postprocessing procedures.

【Key words】 digital implant dentistry; guided implant surgery; non-surgical factors; accuracy; patient factors; data acquisition; guide plate design; guide plate fabrication

J Prev Treat Stomatol Dis, 2024, 32(5): 321-329.

【Competing interests】 The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from Basic and Applied Basic Research Fund of Guangdong Province (No. 2021A1511140, No. 2021B1515120059); Scientific Research Cultivation Project of Stomatology Hospital of Southern Medical University (No. PY2021003, No. PY2020011); Science and Technology Project of Guangzhou City (No. 202102080148).

数字化种植导板手术是一种利用外科导板引导种植体定位和导向的手术方法。首先通过计算机成像技术获取口腔软硬组织的三维图像,在手术规划软件中虚拟手术计划并设计手术导板信息(包括种植体的位置、数目、植入方向及角度)。然后,采用计算机辅助制作技术加工制作个性化手术导板,最后在手术导板的辅助下完成手术^[1]。相较于传统种植手术,种植导板手术具有充分的优势,能提高种植手术安全性与准确性,并提供可预测的美学效果^[2]。数字化种植导板手术标准流程包括患者术前检查、数据采集、导板设计与制作及外科手术。

种植导板手术的准确性无疑是一个至关重要的临床问题。根据《第五次ITI共识会议》,种植导板手术三维方向的安全边界应控制在2.0 mm以上^[3]。关于种植导板手术的误差评估,不同研究结果之间的同质性较差且误差范围大,最大误差高

达到3.64 mm;这显然难以完全满足临床需求^[4]。因此,为了提高种植导板手术的准确性,临床应用必需严格把控各个环节的误差。临床医生通过手术技巧与外科经验控制导板手术的误差必然是重要的^[5],但严格把控术前因素也是控制手术误差的关键核心。然而,术前因素对导板手术误差的影响往往被忽略,其造成导板的固有误差是手术中无法察觉的。因此,本文根据国内外最新研究进展结合国内专家的临床实践,对术前影响种植导板精确性的因素包括患者口腔因素的评估、数据采集、导板设计及其制作等方面进行讨论分析,总结各个环节误差的来源、提出控制误差的对策,形成共识性建议,为临床医生提供实践指南。

1 口腔因素评估

种植导板手术前对患者口腔内情况进行系统

性评估,主要包括患者口内余留牙的数目、缺牙区软硬组织情况、缺牙位置与分区等因素。充分了解患者口腔情况有利于临床医生做出合适的术前诊断和治疗方案设计。另外,患者的开口度需要满足种植导板手术的要求。因此,患者口腔因素评估是种植导板手术的必要环节,是导板手术精确度的先决因素。

1.1 余留牙的数目及牙列缺损的部位

临床医生应该根据患者余留牙的数目,选择种植导板的支持方式与类型。当患者口内余留牙的数目较多且无病理性松动度时,通常建议选择牙支持式的种植导板。牙支持式种植导板的基牙数目以10颗为宜,基牙数目的减少都会影响导板放置的准确性和稳定性^[6]。目前,有充分的临床证据证实,牙支持式导板引导下的种植手术准确性优于黏膜支持式和骨支持式的种植导板^[7-8]。

缺牙位置与分区也是种植导板准确性的影响因素。前牙区种植比后牙区的种植准确性更高^[9]。目前,有充足的临床证据支持缺牙部位位于游离端,会导致导板手术产生明显的误差。相比于非游离端植入的种植体,游离端植入的种植体准确度有所降低^[10]。在游离端植入植体时,建议通过固位钉设计减少导板远中游离端的移位。

1.2 软组织的质地和厚度

对于黏膜支持式导板,患者口腔内黏膜软组织的弹性会干扰种植导板的放置,由此造成的导板位移也是导板手术的误差因素^[11]。在上颌无牙颌患者中,黏膜厚度与种植体偏差成正相关,黏膜厚度每增加1 mm会导致种植体偏差平均增加0.41 mm^[12]。对于下颌无牙颌患者,黏膜厚度的增加也会导致种植体冠方偏差增大^[13]。

1.3 颌骨的骨质

不同类型的种植导板应用于不同密度颌骨骨质时,植入植体的准确性也会产生差异。对于黏膜支持式种植导板,当颌骨类型为致密骨时,种植体导板的角度偏差较小^[14]。然而,对于骨支持式的种植导板,颌骨骨质密度越大,所产生的种植角度偏差也越大,在这种情况下,初始先锋钻导致牙槽骨内的种植入路偏移就更难纠正,导板也更容易发生旋转移动^[15]。

2 数据采集

计算机辅助影像(computer-assisted imaging, CAI)是指为确保正确诊断和制定可靠治疗计划而

采集患者口腔的数字化数据,主要通过口腔颌面部锥形束CT(cone beam computed tomography, CBCT)来获取患者颌骨及牙列等重要结构的三维影像,并使用数字化扫描仪获取口腔内软硬组织的表面图像。CAI是种植导板手术的初始治疗步骤,实质上是将患者口内组织信息进行数字化虚拟转换。数据采集过程存在一定的误差,而这种数据采集带来的误差在临床实践中难以被察觉,是导板制作、种植手术精度的潜在影响因素。控制CAI的误差是精准制作导板、实现种植导板手术精准治疗的前提。

2.1 锥形束CT数据采集

目前,颌骨组织和牙根位置的信息数据主要通过锥形束计算机断层扫描确定,其三维重建的准确性在种植导板手术中尤为重要,将影响整个种植手术中诊断、治疗计划和结果的有效性。锥形束CT影像的误差范围为0.04~0.68 mm^[16],其误差主要受到运动伪影、金属伪影以及CBCT拍摄参数三方面因素影响。①运动伪影:患者头部移动造成的运动伪影会破坏断层图像的等距表示,导致患者CBCT影像产生一定程度的失真和质量下降^[17];②金属伪影:患者前牙区或后牙区的金属修复体会造成术后种植体冠方和根方的显著线性偏差^[18],随着患者口内金属修复体的增加,其对后续图像匹配精度的影响就会越大^[19];③CBCT拍摄参数:CBCT仪器的曝光参数也会影响CBCT影像的准确性,包括视野、扫描的范围,以及体素的大小等。相对于大视野(约12英寸直径的范围)以评估多颗牙齿,小视野(约6英寸直径的范围)可以减小金属产生的伪影,可以提供高质量图像并降低3D图像的失真^[20]。另外,体素越小,图像/CBCT的质量就越高^[21]。

2.2 数字化口腔扫描

数字化口腔扫描(又称表面扫描)包括口腔内扫描和口腔外扫描,相比传统的印模方法,数字化口腔内扫描能提高临床操作的效率,同时改善患者的就诊体验。目前,数字化口腔内扫描是利用光学成像原理,其精度达 $(360 \pm 46) \mu\text{m}$ 至 $(40 \pm 20) \mu\text{m}$ ^[22]。数字化口腔扫描的准确性与其范围、环境及方法密不可分。

口腔内扫描的成像精度随着扫描范围增加而降低^[23]。目前普遍认为口外扫描仪会有更高的扫描精度。以24℃室温为界,环境温度增加5℃或降低5℃,都会导致口腔内扫描仪的精度降低,其

中温度升高对精度的影响更大^[24]。另外,优化环境光照条件能提高口扫系统的精度^[25]。

3 种植导板设计

计算机辅助设计(computer-assisted design,CAD):将CBCT影像(DICOM文件)和口腔扫描仪获得组织表面图像(STL文件)输入种植手术规划软件;软件对图像进行断层切片和可视化处理,通过设置种植导板手术的参数,模拟种植体的植入情况并设计种植导板。CAD程序包含种植手术规划与手术导板设计,正确使用CAD软件是精准制作种植导板、实施手术方案的前提。

3.1 图像配准

图像配准是指种植规划软件识别上传的STL和DICOM文件中存在的共同解剖点,通过自动合并识别和手动调整两种方式来关联合并两种图像,以获得正确的患者数据的过程。不同图像配准技术产生在种植体根端误差差异高达1.92 mm^[26]。图像配准精度往往取决于余留牙的数目、分割模式以及配准模式。

患者口腔内的余留牙有助于颌骨三维图像之间进行高精度的匹配^[19]。患者口内存在7颗以上未进行修复的天然牙,CBCT影像与口内扫描图像的匹配更准确;相反,如果患者口内不存在或只有

很少的天然牙,图像的匹配准确性较差^[10]。此外,不同的分割模式(手动与自动)会影响配准精度。与手动分割相比,自动分割中软件提供的默认灰度值范围对于CBCT影像数据的分割是不准确的,图像配准精度显著降低^[20]。所以,临床应用上首选手动分割模式。最后,CBCT影像与数字化扫描仪获得的图像的重叠或者配准模式对两者之间配准的准确性也有影响。种植规划软件主要有两种配准模式,一种是通过牙齿表面外形直接重叠CBCT影像和数字化的牙齿模型,另一种是通过重叠放射导板上的标记物来重叠两者的图像,虽然两者的准确性均符合临床使用标准,但是前者的准确性明显低于后者^[26]。

3.2 导板的设计

种植导板的基本结构包括导板的支持结构、套筒、固位钉、钻孔等,这些结构直接影响着种植导板引导下种植钻针的定位,从而影响着种植体位置的准确性。其中,如若导板套筒内径大于种植钻针的直径,在备洞过程中种植钻针会产生“微摆动”,从而造成种植体的角度误差^[15]。此外,导板的设计分为引导部分与非引导部分,引导部分由套筒与手柄高度组成,而非引导部分为套筒底部至种植窝底部的距离(图1)。理论上,通过计算引导部

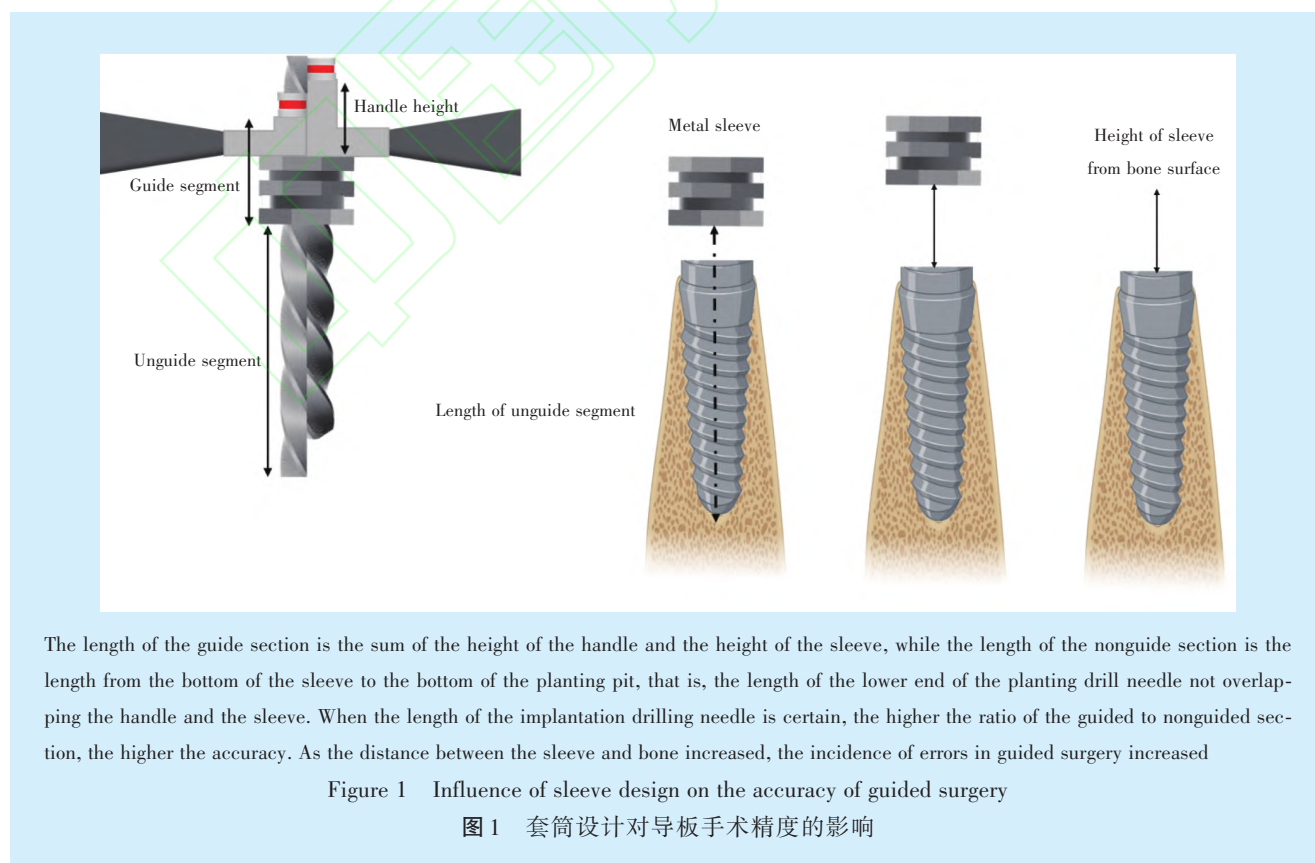


Figure 1 Influence of sleeve design on the accuracy of guided surgery

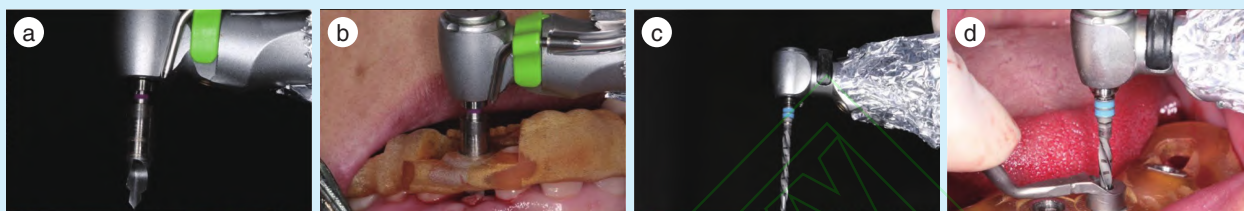
图1 套筒设计对导板手术精度的影响

分与非引导部分的比值,其比值越大精度越高^[27]。

3.2.1 种植钻针系统 种植钻针系统分为种植钻针引导系统和钻针手柄引导系统,主要区别在于:导板套筒是与钻针,还是与手柄配合;前者钻头导向段直径与金属套筒内径相适应,使钻针在手术过程中不易移动;后者则是通过手柄与套筒配合引导钻针备洞(图2)。有相关的临床证据支持直接引导钻系统是提高种植体植入准确性的有效方法^[28]。相比于钻针手柄系统,选择引导钻系统有

利于提高导板手术后种植体的准确性。

3.2.2 支持结构 导板的稳定性和密合度取决于支持结构覆盖牙齿的数量、部位及覆盖牙冠面积大小等因素。对于牙列缺损的患者,后牙处支撑的手术导板准确性高于前牙处支撑^[29]。对于单颗后牙缺失的病例,手术导板的牙冠覆盖在外形高点以上2 mm处时,种植体偏差最大,而手术导板牙冠覆盖至牙齿外形高点或外形高点以下2 mm的情况,都不会影响种植准确性^[30]。



a&b: implant guide drill system. c&d: implant drill needle handle system; The two systems differ in terms of the implant guide drill system (a&b), the guide section of the implant drill is expanded to reduce the gap between the metal sleeves, while in the implant handle system (c&d), the handle can also guide the implant drill. The selection of a guided drilling system is beneficial for improving the accuracy of implantation after guided plate surgery

Figure 2 Implant guide drill system and implant drill needle handle system

图2 种植钻针引导系统和种植手柄引导系统

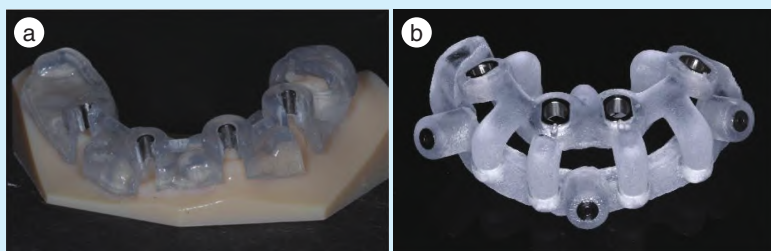
3.2.3 辅助固位装置 辅助固位装置(如固定螺钉与插销式固位钉)能有效提高导板的稳定性,从而增加种植的准确性。适当地增加固位钉数目可有效增加种植导板的稳定性,减少种植体最终位置的偏差^[6]。对于上颌无牙颌患者,建议将固定螺钉均匀分布,前后牙区各设计2个固位钉可以使导板放置更加稳定^[31]。固位钉的设计在无牙颌病例中尤为重要,通过设计辅助固位钉可以将黏膜支持式导板转变为辅助支持式导板,从而有效提高导板的稳定性。

3.2.4 套筒的设计 套筒的设计与类型选择也影响着种植导板手术的准确性。封闭式套筒比开放式套筒显示出更高的角度精度。当套筒距离牙槽

嵴的高度为2 mm时(图3),无论是封闭式套筒还是侧方开窗的开放式套筒对种植导板手术的准确性影响一致,但是随着套筒距离牙槽嵴高度的提高,具有开放式套筒的导板种植手术的种植体的角度偏差增加大于封闭式套筒^[32]。

4 种植导板制作

计算机辅助制作(computer-assisted manufacturing, CAM)是指将数字化设计的虚拟物件制造为有形实物的过程。CAM直接影响着种植导板外形体积的准确性,是实现种植导板准确性的重要基础之一。目前,导板制作可通过增材制造(3D打印)和减材制造(铣削加工)。3D打印技术制作的种



a : open sleeve; b: closed sleeve

Figure 3 Open and closed sleeves for implant guide surgery

图3 种植导板手术的开放式套筒和封闭式套筒

植导板与铣削法制作的种植导板在种植体位置准确性方面有着一致性,但3D打印技术具有高效性、易操作、高精度等优势,更适于临床应用^[33]。由此,本文着重分析3D打印的导板准确性的影响因素。

4.1 打印技术与参数

临床上常用的3D打印技术包括立体光刻打印技术(stereolithography, SLA)、数字化光处理(direct light processing, DLP)、多喷嘴喷墨技术(multijet printing, MJP)等不同方法。大量实验证据表明,使用不同3D打印技术制作数字化种植导板,无论是考虑种植导板的真实性和精度,还是出于改善种植体位置误差的目的,MJP都是最佳选择^[34-35]。值得一提的是,研究中不同的3D打印技术制造的手术导板的准确性都是符合临床使用标准,其中DLP打印效率最高^[35]。

不同打印参数的设置,比如打印角度或打印层厚,也是影响导板精度的重要因素。对于适用于单颗种植牙的手术导板,相比于打印层厚100 μm的参数设置,50 μm的打印层厚可以提高导板的精度。打印角度选择45°和90°,种植钻孔产生误差也会比0°打印时更小,90°打印的时间最长但最节省材料^[36-37]。

4.2 打印材料的选择

不同的打印树脂材料也影响着打印后外科导板和种植手术的准确性,主要表现为对种植体冠方和根方线性偏差的影响^[38]。选用不同品牌的丙烯酸基光固化树脂材料对导板打印的精准性也有一定的影响,在E-dentstone®、E-shell®、NextDent™ Model以及NextDent™ SG四种光固化树脂中,NextDent™ SG丙烯酸基光固化树脂制作的导板具有较高准确性^[39]。对于远中游离端的种植导板,选择树脂材料的杨氏模量越低,种植体植入后的准确性越高^[29]。

4.3 打印后处理与灭菌方式

打印后处理是3D打印的关键步骤,包括后漂洗、后固化、去除支撑结构。而采用不同的后处理方法影响着制作导板的准确性。近年来,笔者团队前期研究证实后处理直接影响3D打印树脂材料的特性,包括后漂洗使用的溶液不同^[40]、时间延长^[41]和后固化设备的选择^[42]均会影响打印物体的理化特性及其生物安全性能。

关于种植导板后漂洗方法的选择,超声清洗对种植导板表面的影响小于手动处理,其在控制

导板整体体积、组织面和咬合面的偏差方面具有一定的优势^[43]。此外,对于种植导板的后固化方式,后固化的温度和时间都会影响打印的精度,其中温度的影响更大,主要是后固化方式对树脂打印精度和体积的影响^[44]。

根据《口腔器械消毒灭菌技术规范》,种植导板属于高危险口腔器械,宜采用高温高压蒸汽灭菌法^[45]。对于树脂手术导板,化学消毒、高温蒸汽灭菌法和等离子灭菌法均不会影响手术导板的硬度、强度和体积,故蒸汽灭菌法和等离子灭菌法可用于导板的灭菌^[46]。

5 小结

本共识基于研究现状,结合国内专家临床经验,根据种植导板手术前阶段存在的潜在误差因素分析,总结相应的临床对策,经专家讨论达成共识如下:

5.1 预先评估患者的影响因素

对于口内尚存有余留牙、黏膜质地较韧且厚度较薄、颌骨骨质类型为Ⅱ类和Ⅲ类的患者,能保证种植导板手术的准确性。当患者为无牙颌时,宜选择带有固位螺钉的辅助支持式导板,从而避免口腔黏膜使导板移位引起误差。

5.2 规范数据采集方法

在CBCT数据采集过程中,让患者处于坐位并夹持装置以固定患者头部,可有效避免运动伪影;对于口内有金属修复体的患者,宜佩戴带有配准标记点的导板减少金属伪影对CBCT影像的影响;尽可能选择小视野进行CBCT拍摄,这可以提高CBCT影像的成像质量。另外,建议使用口外扫描仪,保证扫描环境的光照,同时控制环境温度为24℃室温;使用口内扫描仪时应尽量在单牙弓内扫描,以提高口腔扫描的精度。

5.3 优化计算机辅助设计

图像配准时,根据种植区域的不同设定灰度阈值,首选手动分割CBCT影像并重叠两种不同类型的文件,建议通过标记物重叠以避免配准过程产生的误差。在导板设计过程中,建议适当伸展导板的支持结构范围;导板支持结构首选牙支持式导板;在应用黏膜式或骨支持式导板时,建议均匀分布固位螺钉,以增加导板的稳定。原则上,适当增加引导段长度、降低非引导段长度,并选择封闭式套筒等方法,可有效减少导板设计中不必要的误差。

5.4 改进计算机辅助制作

手术导板制作前,建议选择合适的打印技术、设置最佳打印参数以及使用正确的打印树脂,譬如,选择DLP打印方式打印导板角度为 90° ,既能满足种植导板精度要求,也提高临床工作效率。此外,正确的后漂洗与后固化处理对保证打印导板的准确性格外重要。最后,根据所选择的打印材料及后固化方法,需选择合适的灭菌方法,既要保证临床的无菌需求,又要避免树脂形变产生误差。

综上所述,在种植导板手术时,术前阶段存在较多影响导板精确性的潜在因素,所谓“失之毫厘,谬以千里”。因此,规范种植导板手术的流程势在必行。

【Author contributions】 Xu SL, Li P, Yang S, Li SB, Lu HB conceptualized and wrote the article. Zhu AD, Huang LS collected the references and wrote the article. Wang JM, Xu ST, Wang LP, Tang CB, Zhou YM, Zhou L conceptualized and reviewed the article, All authors read and approve the final manuscript submitted.

参考文献

- [1] Li S, Yi C, Yu Z, et al. Accuracy assessment of implant placement with versus without a CAD/CAM surgical guide by novices versus specialists via the digital registration method: an in vitro randomized crossover study [J]. *BMC Oral Health*, 2023, 23(1): 426. doi: 10.1186/s12903-023-03116-6.
- [2] Liu S, Guo PC, Zhou GJ. Clinical analysis of the accuracy of digital guide[J]. *Am J Dent*, 2021, 26(3): 169-173. doi: 10.12337/zg-kqzzzz.2021.06.005.
- [3] Wismeijer D, Joda T, Flügge T, et al. Group 5 ITI consensus report: digital technologies [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018, 29 (Suppl 16): 436-442. doi: 10.1111/clr.13309.
- [4] Tattan M, Chambrone L, González-Martín O, et al. Static computer-aided, partially guided, and free-handed implant placement: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2020, 31(10): 889-916. doi: 10.1111/clr.13635.
- [5] Tatakis DN, Chien, Parashis AO. Guided implant surgery risks and their prevention [J]. *Periodontol 2000*, 2019, 81(1): 194-208. doi: 10.1111/prd.12292.
- [6] Matsumura A, Nakano T, Ono S, et al. Multivariate analysis of causal factors influencing accuracy of guided implant surgery for partial edentulism: a retrospective clinical study [J]. *Int J Implant Dent*, 2021, 7(1): 28. doi: 10.1186/s40729-021-00313-2.
- [7] Toutangy E, Brad B, Alzein MA, et al. Evaluating the accuracy of tooth-supported vs mucosa-supported 3d-printed surgical guide in dental implant placement (cross-sectional study) [J]. *Cumhuriyet Dent J*, 2020, 23(3): 154-159. doi: 10.7126/cumudj.694621.
- [8] Kivovics M, Péntzes D, Németh O, et al. The influence of surgical experience and bone density on the accuracy of static computer-assisted implant surgery in edentulous jaws using a mucosa-supported surgical template with a half-guided implant placement protocol—a randomized clinical study [J]. *Materials*, 2020, 13(24): 5759. doi: 10.3390/ma13245759.
- [9] El Kholi K, Lazarin R, Janner SFM, et al. Influence of surgical guide support and implant site location on accuracy of static Computer-Assisted Implant Surgery [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2019, 30(11): 1067-1075. doi: 10.1111/clr.13520.
- [10] Derksen W, Wismeijer D, Flügge T, et al. The accuracy of computer-guided implant surgery with tooth-supported, digitally designed drill guides based on CBCT and intraoral scanning. A prospective cohort study [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2019, 30(10): 1005-1015. doi: 10.1111/clr.13514.
- [11] Ersoy AE, Turkyilmaz I, Ozan O, et al. Reliability of implant placement with stereolithographic surgical guides generated from computed tomography: clinical data from 94 implants [J]. *J Periodontol*, 2008, 79(8): 1339-1345. doi: 10.1902/jop.2008.080059.
- [12] Vasak C, Watzak G, Gahleitner A, et al. Computed tomography-based evaluation of template (NobelGuide™)-guided implant positions: a prospective radiological study [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2011, 22(10): 1157-1163. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.02070.x.
- [13] Ochi M, Kanazawa M, Sato D, et al. Factors affecting accuracy of implant placement with mucosa-supported stereolithographic surgical guides in edentulous mandibles [J]. *Comput Biol Med*, 2013, 43(11): 1653-1660. doi: 10.1016/j.combiomed.2013.07.029.
- [14] Chen Z, Liu Y, Xie X, et al. Influence of bone density on the accuracy of artificial intelligence-guided implant surgery: an invitro study [J]. *J Prosthet Dent*, 2022: S0022-S3913(21)00414-5. doi: 10.1016/j.prosdent.2021.07.019.
- [15] Cassetta M, di Mambro A, Giansanti M, et al. The intrinsic error of a stereolithographic surgical template in implant guided surgery [J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2013, 42(2): 264-275. doi: 10.1016/j.ijom.2012.06.010.
- [16] Fokas G, Vaughn VM, Scarfe WC, et al. Accuracy of linear measurements on CBCT images related to presurgical implant treatment planning: a systematic review [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2018, 29(Suppl 16): 393-415. doi: 10.1111/clr.13142.
- [17] Moratin J, Berger M, Rückschloss T, et al. Head motion during cone-beam computed tomography: analysis of frequency and influence on image quality [J]. *Imaging Sci Dent*, 2020, 50(3): 227-236. doi: 10.5624/isd.2020.50.3.227.
- [18] Kim JE, Park YB, Shim JS, et al. The impact of metal artifacts within cone beam computed tomography data on the accuracy of computer-based implant surgery: an in vitro study [J]. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2019, 34(3): 585 - 594. doi: 10.11607/jomi.7108.
- [19] Flügge T, Derksen W, Te Poel J, et al. Registration of cone beam computed tomography data and intraoral surface scans - A prerequisite for guided implant surgery with CAD/CAM drilling guides [J]. *Clin Oral Implants Res*, 2017, 28(9): 1113-1118. doi: 10.1111/clr.12925.

- [20] Shokri A, Jamalpour MR, Khavid A, et al. Effect of exposure parameters of cone beam computed tomography on metal artifact reduction around the dental implants in various bone densities [J]. BMC Med Imaging, 2019, 19(1): 34. doi: 10.1186/s12880-019-0334-4.
- [21] Kursun-Cakmak EŞ, Demirturk Kocasarac H, Bayrak S, et al. Estimation of contrast-to-noise ratio in CT and CBCT images with varying scan settings in presence of different implant materials [J]. Dentomaxillofac Radiol, 2019, 48(8): 20190139. doi: 10.1259/dmfr.20190139.
- [22] Schmidt A, Wöstmann B, Schlenz MA. Accuracy of digital implant impressions in clinical studies: asystematic review [J]. Clin Oral Implants Res, 2022, 33(6): 573-585. doi: 10.1111/clr.13951.
- [23] Joda T, Lenherr P, Dedem P, et al. Time efficiency, difficulty, and operator's preference comparing digital and conventional implant impressions: a randomized controlled trial [J]. Clin Oral Implants Res, 2017, 28(10): 1318-1323. doi: 10.1111/clr.12982.
- [24] Revilla-León M, Gohil A, Barmak AB, et al. Influence of ambient temperature changes on intraoral scanning accuracy [J]. J Prosthet Dent, 2023, 130(5): 755 - 760. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.01.012.
- [25] Ochoa-López G, Cascos R, Antonaya-Martín JL, et al. Influence of ambient light conditions on the accuracy and scanning time of seven intraoral scanners in complete-arch implant scans [J]. J Dent, 2022, 121: 104138. doi: 10.1016/j.jdent.2022.104138.
- [26] Han YT, Lin WC, Fan FY, et al. Comparison of dental surface image registration and fiducial marker registration: an *in vivo* accuracy study of static computer-assisted implant surgery [J]. J Clin Med, 2021, 10(18): 4183. doi: 10.3390/jcm10184183.
- [27] D'Haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, et al. Current state of the art of computer-guided implant surgery [J]. Periodontol 2000, 2017, 73(1): 121-133. doi: 10.1111/prd.12175.
- [28] Lee DH, An SY, Hong MH, et al. Accuracy of a direct drill-guiding system with minimal tolerance of surgical instruments used for implant surgery: a prospective clinical study [J]. J Adv Prosthodont, 2016, 8(3): 207-213. doi: 10.4047/jap.2016.8.3.207.
- [29] Kessler A, Le V, Folwaczny M. Influence of the tooth position, guided sleeve height, supporting length, manufacturing methods, and resin E-modulus on the *in vitro* accuracy of surgical implant guides in a free-end situation [J]. Clin Oral Implants Res, 2021, 32(9): 1097-1104. doi: 10.1111/clr.13804.
- [30] Wang ZY, Chao JR, Zheng JW, et al. The influence of crown coverage on the accuracy of static guided implant surgery in partially edentulous models: an *in vitro* study [J]. J Dent, 2021, 115: 103882. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103882.
- [31] D'Haese J, van de Velde T, Elaut L, et al. A prospective study on the accuracy of mucosally supported stereolithographic surgical guides in fully edentulous maxillae [J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2012, 14(2): 293 - 303. doi: 10.1111/j.1708-8208.2009.00255.x.
- [32] Guentsch A, An H, Dentino AR. Precision and trueness of computer-assisted implant placement using static surgical guides with open and closed sleeves: an *in vitro* analysis [J]. Clin Oral Implants Res, 2022, 33(4): 441-450. doi: 10.1111/clr.13904.
- [33] Henprasert P, Dawson DV, El-Kerdani T, et al. Comparison of the accuracy of implant position using surgical guides fabricated by additive and subtractive techniques [J]. J Prosthodont, 2020, 29(6): 534-541. doi: 10.1111/jopr.13161.
- [34] Wegmüller L, Halbeisen F, Sharma N, et al. Consumer vs. high-end 3D printers for guided implant surgery-an *in vitro* accuracy assessment study of different 3D printing technologies [J]. J Clin Med, 2021, 10(21): 4894. doi: 10.3390/jcm10214894.
- [35] Anunmana C, Ueawithayasuporn C, Kiattavorncharoen S, et al. *In vitro* comparison of surgical implant placement accuracy using guides fabricated by three different additive technologies [J]. Appl Sci, 2020, 10(21): 7791. doi: 10.3390/app10217791.
- [36] Dalal N, Ammoun R, Abdulmajeed AA, et al. Intaglio surface dimension and guide tube deviations of implant surgical guides influenced by printing layer thickness and angulation setting [J]. J Prosthodont, 2020, 29(2): 161-165. doi: 10.1111/jopr.13138.
- [37] Rubayo DD, Phasuk K, Vickery JM, et al. Influences of build angle on the accuracy, printing time, and material consumption of additively manufactured surgical templates [J]. J Prosthet Dent, 2021, 126(5): 658-663. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.09.012.
- [38] Johansson C, Dibes J, Rodriguez LEL, et al. Accuracy of 3D printed polymers intended for models and surgical guides printed with two different 3D printers [J]. Dent Mater J, 2021, 40(2): 339-347. doi: 10.4012/dmj.2020-039.
- [39] Keßler A, Doseh M, Reymus M, et al. Influence of 3D-printing method, resin material, and sterilization on the accuracy of virtually designed surgical implant guides [J]. J Prosthet Dent, 2022, 128(2): 196-204. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.038.
- [40] Lambart AL, Xepapadeas AB, Koos B, et al. Rinsing postprocessing procedure of a 3D-printed orthodontic appliance material: impact of alternative post-rinsing solutions on the roughness, flexural strength and cytotoxicity [J]. Dent Mater, 2022, 38(8): 1344-1353. doi: 10.1016/j.dental.2022.06.010.
- [41] Xu Y, Xepapadeas AB, Koos B, et al. Effect of post-rinsing time on the mechanical strength and cytotoxicity of a 3D printed orthodontic splint material [J]. Dent Mater, 2021, 37(5): e314-e327. doi: 10.1016/j.dental.2021.01.016.
- [42] Li P, Lambart AL, Stawarczyk B, et al. Postpolymerization of a 3D-printed denture base polymer: impact of post-curing methods on surface characteristics, flexural strength, and cytotoxicity [J]. J Dent, 2021, 115: 103856. doi: 10.1016/j.jdent.2021.103856.
- [43] Ammoun R, Dalal N, Abdulmajeed AA, et al. Effects of two post-processing methods onto surface dimension of *in-office* fabricated stereolithographic implant surgical guides [J]. J Prosthodont, 2021, 30(1): 71-75. doi: 10.1111/jopr.13227.
- [44] Katheng A, Kanazawa M, Iwaki M, et al. Evaluation of dimensional accuracy and degree of polymerization of stereolithography photopolymer resin under different postpolymerization conditions: an *in vitro* study [J]. J Prosthet Dent, 2021, 125(4): 695 - 702. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.02.023.

- [45] 口腔器械消毒灭菌技术操作规范 WS506-2016 [J]. 中国感染控制杂志, 2017, 16(8): 784-792. doi: 10.3969/j.issn.1671-9638.2017.00.023.

Regulation for disinfection and sterilization technique of dental instruments [J]. Chin J Infect Contr, 2017, 16(8): 784-792. doi: 10.3969/j.issn.1671-9638.2017.00.023.

- [46] Török G, Gombocz P, Bognár E, et al. Effects of disinfection and sterilization on the dimensional changes and mechanical properties of 3D printed surgical guides for implant therapy - pilot study [J]. BMC Oral Health, 2020, 20(1): 19. doi: 10.1186/s12903-020-1005-0.

(编辑 罗燕鸿,曾曙光)



This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Copyright © 2024 by Editorial Department of Journal of Prevention and Treatment for Stomatological Diseases



官网



【作者简介】 徐淑兰,主任医师,博士研究生导师;南方医科大学口腔医院副院长,广东省牙病防治指导中心副主任;中华口腔医学会第六届口腔种植专业委员会副主任委员;广东省医学教育协会副会长;广东省口腔疾病防治专家委员会主任委员;广东省医学教育协会口腔种植学专业委员会主任委员;广东省医师协会口腔医师分会副主任委员;广东省口腔医学会口腔种植专业委员会副主任委员;广东省临床医学学会牙种植学专业委员会副主任委员;广东省医学教育协会医药教师发展专业委员会副主任委员;广东省粤港澳合作促进会医药卫生大健康委员会常务副主任; *Clinical Implant Dentistry and Related Research* 中文版特邀编委; *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants* 中文版编委;《口腔疾病防治》副主编;《中国口腔种植学杂志》副主编,《实用医学杂志》编委。在 *Materials Today Bio*, *Journal of Clinical Periodontology*, *Biomaterials Advances* 等国内外专业期刊共发表学术论文 136 篇,其中 SCI 收录 40 篇。

主持和完成国家级、省部级重点科研项目 18 项,主要参与国家自然科学基金、国家“十一五”攻关和省部级基金项目 25 项,主持教育部教育交流项目 1 项、广东省教育厅临床教学基地教学改革研究项目 1 项,主译和参编专著 6 部。指导硕士、博士研究生和培养进修生 80 多名。对各种骨增量术、软组织美学处理、前牙种植美学修复、严重萎缩无牙颌的种植修复治疗、即刻种植即刻修复具有丰富的临床经验。



【通信作者简介】 周磊,泰康拜博医疗集团有限公司医疗副总裁、集团种植学术委员会主委;国务院政府特殊津贴专家;国际口腔种植学会中国专家组资深委员;国际牙医师学院院士;国际口腔种植医师学会 (The International Congress of Oral Implantologists) 中国分会 (专家委员会) 副会长;中华口腔医学会口腔种植专委会第四届、第五届副主任委员;广东省医师协会第三届理事会副会长;广东省民营牙科协会会长;广东省医学教育协会口腔种植学专业委员会名誉主任委员;白求恩精神研究委员会口腔医学分会常务理事;《中国口腔种植学杂志》编委。