

口腔种植中数字化导板的分类体系与精度分析

王艺锦 王海玲*

大连医科大学中山学院 辽宁大连 116085

摘要: 数字化导板是实现精准种植的核心技术。数字化导板的广泛应用使得明确该技术的核心特征、适用边界及优化方向变得尤为迫切。本文系统梳理了数字化导板的技术分类,同时紧密结合临床操作流程,深入剖析了影响其种植精度的核心因素。研究发现,当前研究在智能化技术融合方面仍存在局限。基于此,本文提出未来研究应致力于人工智能规划与多模态执行工具之间的协同机制,以推动向更智能、稳定的新阶段发展。

关键词: 口腔种植; 数字化导板; 种植精确性; 影响因素

引言

数字化导板是将术前虚拟环境中规划的种植体位置精确地转移至实际手术部位的载体,对于实现精准种植、提升手术成功率至关重要^[1]。在临床手术中,种植体能否被精准植入理想种植位点仍是医生的核心关注点。手术过程中受患者自身状态及操作环境等因素干扰,种植体的植入深度、角度、位置易发生偏离,此类误差不仅可能影响牙周及邻牙健康,严重者甚至引发牙槽骨侧壁穿孔等结构性损伤^[2]。因此,如何有效控制围手术期的误差,实现种植体的精准植入,已成为临床亟待解决的关键问题。本文旨在系统阐述数字化导板的分类体系,并重点围绕其核心的精准度问题,深入剖析关键影响因素,以期为该科技的规范应用与持续优化构建一个完整的评估框架。

一、文献综述

(一) 数字化导板的分类

数字化导板通过整合临床数据实现精准种植,为手术提供了精准保障的同时,搭建起医患高效沟通的桥梁。在临床实际应用中,术者将患者个体病理特征与治疗需求进行精准匹配,根据不同分类维度,为患者选择最优方案,主要分类方式如下:依据其支持方式的差异,可

将其分为牙支持式、骨支持式、黏膜支持式和混合支持式^[3]。Turbush等对三种支持方法进行实验,发现牙支持式导板精确度最优,骨支持式导板虽需翻瓣操作,但仍能确保较高精度定位,混合支持式导板的精度受牙与黏膜支持比例的增减而波动,黏膜支持式导板因软组织的可压缩性,成为精度不确定性最高的方式^[4]。依据限制程度不同,可分为非限制式、部分限制式、完全限制式。限制程度越高,通常意味着对种植体参数的控制越强,即有利于降低手术误差^[1]。部分限制式次之,非限制式最差。按引导的控制范围,可分为全程手术导板和半程手术导板。后续操作脱离机械引导,依赖术者经验完成,存在误差累积的可能,因此半程手术导板的精确度通常低于全程手术导板^[5]。综上所述,支持方式、限制程度到引导控制范围三大分类维度,有助于形成数字化导板选择的系统化、规范化的决策框架,进而实现个性化精准种植。

(二) 数字化导板的精准性

精准性是评价数字化导板临床效果的核心指标。数字化导板的精确性表现为多环节累积的空间偏差。通常通过比较术前规划与术后实际种植体的位置来进行评估,主要指标包括入口偏差、尖端偏差、角度偏差、深度偏差。Tahmaseb等人对静态导板辅助的手术进行了精准度计算,分析了数字化导板的可靠性、精确性,计算数据如下:种植体中心入口点的平均误差为1.2毫米(95%CI: [1.04-1.44]),根尖位置的平均误差为1.4毫米(95%CI: [1.28-1.58]),平均角度偏差为3.5度(95%CI: [3.00-3.96]),高度平均误差为0.5毫米(95%CI: [-0.08 to 1.13 mm])^[7]。Colombo等也进行了

作者简介: 王艺锦(2006-),女,汉族,辽宁大连人,本科,研究方向为口腔医学。

通讯作者简介: 王海玲(1996.12),女,汉族,硕士研究生,大连医科大学中山学院口腔医学院教师,主要研究方向为口腔修复学、本科教育。

精精度评估实验, 结果表明, 平均冠状、中央、顶端线形偏差分别为0.68毫米、0.72毫米和0.82毫米, 即术后实际植入位置与术前虚拟规划位置无显著性差异^[8]。同时现有数据表明, 数字化导板引导手术的价值所在, 是实现虚拟规划向临床现实可靠转化的关键技术。

(三) 数字化导板精确性的影响因素

数字化导板的精确性受多环节因素共同影响, 从数据采集到手术植入的整个流程中, 误差会逐级传递与累积, 最终影响临床效果。

1. 数据采集环节

本环节误差主要源于影像设备的固有误差、患者运动误差、数据融合误差三方面。CBCT的扫描层厚直接决定了CBCT的精度: 层厚越小, 图像分辨率越高, 几何失真越低, 精精度越高^[9]。而口内扫描技术由于其原理的限制, 存在全牙弓扫描失真现象^[10]。这些因素均会影响采集数据的真实性, 进而影响后续精度操作。

2. 虚拟规划环节

操作者的技术与经验是决定导板规划精确性的核心因素, 直接影响种植体植入位置的精度。Cushen等学者的研究表明: 对比无经验操作者, 经验丰富的术者实施种植手术时, 种植体植入位置偏差更小, 精精度更高; 其与无经验者在植入角度和深度误差上存在显著的统计学差异^[11]。

3. 导板制作环节

导板制作工艺本身亦是精度误差的来源之一。主流的光固化打印技术中, SLA与DLP路径的精度存在差异。Pylant的研究显示, SLA (0.77 ± 0) 打印导板的角度偏差显著小于DLP (1.02 ± 0.47 , $p=0.002$)。SLP的3D打印偏移为 0.18 ± 0.11 ($p=0.017$), DLP为 1.02 ± 0.07 。同时有研究数据指出, DLP在导板打印时间、导板成本、树脂使用量上具有一定优势, 两种方式在种植体放置精度方面存在统计学差异^[12]。但关于对哪种技术路径, 对种植体精度具有更优影响, 目前尚未形成一致结论。

4. 临床手术环节

手术操作中的物理误差同样不容忽视, 如钻针在导板套筒内的微摆动是主要的误差来源。Apostolakis等人的研究指出: 钻针与套筒之间的间隙是术中的固有误差源, 但可通过优化套筒特性的参数, 进而提升手术精度, 最大限度减少误差^[6]。

二、结论与展望

数字化导板技术经历了从概念到临床实践的技术演

进。它显著提升了治疗结果的可预测性和手术的精精度, 为解决复杂解剖条件下的精准植入提供了关键方案。尽管导板技术在精度、操作灵活性以及成本方面仍面临一系列挑战, 但其在精准外科的技术链条中已成为不可或缺的关键环节, 它将稳步推动精准外科技术体系向更智能化、系统化、协同化的方向深入发展。

展望未来, 数字化导板的发展核心仍在于深化应用与精益求精。其发展的核心任务在于深度融入更广阔的数智化进程, 与其他前沿技术协同进化发展。未来, 数字化导板将与动态导航系统、种植机器人深度融合, 构建“导板-导航-机器人”三合一的技术矩阵。在这一技术融合的演进过程中, 深入的基础研究、严谨的成效评估与开放的临床实践, 共同构成了推动该技术体系臻于至善、迈向真正个体化精准的坚实基石与根本动力。

参考文献

- [1] D' Souza, Kathleen Manuela, and Meena Ajay Aras. "Types of implant surgical guides in dentistry: a review." *Journal of oral Implantology* 38.5 (2012): 643-652.
- [2] 关廉, 刘雪梅, 王俊成, 等. 数字化外科导板在上前牙即刻种植中的临床应用和精精度评价[J]. *口腔颌面修复学杂志*, 2020, 21(01): 5-11.
- [3] Shen P, Zhao J, Fan L, et al. Accuracy evaluation of computer-designed surgical guide template in oral implantology [J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2015, 43(10):2189-2194.
- [4] Turbush, Sarah Katherine, and Ilser Turkyilmaz. "Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: an in vitro study." *The Journal of prosthetic dentistry* 108.3 (2012): 181-188.
- [5] Huang, Lirong, Xiaoqing Zhang, and Anchun Mo. "A retrospective study on the transferring accuracy of a fully guided digital template in the anterior zone." *Materials* 14.16 (2021): 4631.
- [6] Lerner, Henriette, et al. "Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics: a retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in the posterior jaws of 90 patients." *BMC Oral Health* 20.1 (2020): 80.
- [7] Tahmaseb, Ali, et al. "The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis." *Clinical oral implants research* 29 (2018): 416-435.

[8]Colombo, Luara, et al. "Accuracy evaluation of computer-guided implant surgery." *Clinical Oral Implants Research* 30 (2019): 526–526.

[9]李晋蒙, 欧国敏. 计算机辅助设计种植导板精确性及其影响因素[J]. *华西口腔医学杂志*, 2017, 35 (01): 93–98.

[10]Richert, Raphaël, et al. "Intraoral scanner technologies: a review to make a successful impression."

Journal of healthcare engineering 2017.1 (2017): 8427595.

[11]Cushen, Sarra E., and Ilser Turkyilmaz. "Impact of operator experience on the accuracy of implant placement with stereolithographic surgical templates: an in vitro study." *The Journal of prosthetic dentistry* 109.4 (2013): 248–254.

[12]Pylant, George Derrick. *Accuracy of 3D Printed Implant Surgical Guides: A Comparison of Stereolithographic and Digital Light Processing Technologies*. Diss. 2022.