

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2026.08.046

•综述•

数字化种植导板在全口种植美学修复中的应用进展

王阿琴

(浙江大学医学院附属口腔医院·浙江大学口腔医学院·浙江省口腔疾病临床医学研究中心·全省口腔生物医学重点实验室, 浙江 杭州 310000)

[摘要] 牙列缺失是严重影响患者生活质量的口腔健康问题。传统全口种植技术高度依赖术者经验, 而近年来, 数字化技术的引入有效提升了牙科手术的精准性、可预测性与微创性。本文旨在系统梳理数字化种植导板的技术演进路径, 重点分析其在支持方式、导板设计等维度的迭代, 总结其在改善手术精度、修复效果及美学表现方面的临床证据, 并探讨精度控制策略与未来发展趋势, 以期为临床实践提供参考。

[关键词] 数字化种植导板; 种植牙手术; 牙列缺失; 精度控制

[中图分类号] R783.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2026)08-0187-04

Application Progress of Digital Implant Guide in Full-mouth Implant Aesthetic Restoration

WANG Aqin

(Stomatology Hospital of Zhejiang University School of Medicine/Zhejiang University School of Stomatology/Zhejiang Clinical Medical Research Center of Oral Diseases/Zhejiang Key Laboratory of Oral Biomedical Research, Hangzhou 310000, Zhejiang, China)

[Abstract] Dentition loss is an oral health problem that seriously affects patients' quality of life. Traditional full-mouth implant techniques rely heavily on surgeons' experience, while in recent years, the introduction of digital technology has effectively improved the accuracy, predictability and minimally invasiveness of dental surgery. This paper systematically reviews the technological evolution of digital implant guides, focuses on the iteration of support methods and guide design, summarizes clinical evidence on improving surgical accuracy, restoration effect and aesthetic performance, and discusses accuracy control strategies and future development trends, so as to provide references for clinical practice.

[Key words] Digital implant guide; Dental implant surgery; Dentition loss; Accuracy control

牙列缺失 (dentition loss) 是临床常见的口腔疾病, 患病率随年龄增长升高, 不仅影响咀嚼、发音及面部美观, 还可引发慢性疼痛、营养不良和社交障碍, 加重患者心理负担^[1, 2]。传统全口义齿固位力差、异物感强, 对牙槽嵴严重吸收者效果不佳; 传统种植修复虽有所改善, 但高度依赖医师经验, 缺乏精准可控性。种植支持式修复体能提供更稳定的固位力, 延缓牙槽嵴吸收进程^[3]。随着数字化技术的广泛应用, 数字化种植导板的引入有效提升了全口种植的精准度与可预测性, 为实现美学修复提供了技术保障。然而, 该技术在支持方式、设计理念、精度控制及临床

整合等方面仍面临诸多挑战与优化空间^[4]。本文系统梳理数字化种植导板的技术演进路径、临床效果及发展趋势, 以期为推动该技术的规范化应用提供参考。

1 数字化种植导板的技术演进路径

数字化种植导板是基于计算机辅助设计与制造技术, 将术前虚拟规划转化为术中精准引导的个性化手术器械。其基本原理是通过锥形束计算机断层扫描获取患者颌骨三维数据, 结合口内扫描或模型扫描获取牙列与黏膜形态, 在专用软件中进行虚拟种植规划, 确定种植体的理想数量、

位置、角度与深度。规划完成后,通过3D打印等技术制作导板,术中依靠导板上的套筒与钻针系统,将虚拟规划精确转移至实际手术操作中,实现以修复为导向的精准种植。随着临床应用的深入,数字化种植导板在支持方式(从黏膜支持、牙支持、骨支持到混合支持)与导板设计(从单一式、复合式到组合式)两个方面持续演进,成为提升种植精度与适应复杂病例的关键技术路径。

1.1 支持方式:从单一支撑到混合协同 早期导板多采用黏膜支持式,直接覆盖于牙槽嵴黏膜。该方式操作简便,但受软组织弹性影响,导板易发生微小位移,精度有限,主要适用于牙槽嵴条件相对简单的无牙颌病例。为提高稳定性,临床逐渐发展出牙支持式与骨支持式导板。牙支持式依靠余留牙提供刚性锚定,有效提升精度,成为全口即刻种植的重要工具;骨支持式则通过螺钉固定于骨面,稳定性最佳,适用于骨量严重不足或邻近重要解剖结构的复杂病例,但其翻瓣操作创伤较大。为兼顾精度与微创,近年来混合支持式导板应运而生。该方式通过联合利用牙、黏膜及骨组织实现多重支撑,既提升了整体稳定性,又扩大了对复杂解剖条件的适应性。李蕾等^[5]研究证实,在全口种植手术中,混合支持式导板的植入精度显著优于传统的黏膜支持式导板,体现了支持方式从单一走向“协同”的演进趋势。

1.2 导板设计:从单一功能到模块组合 与支持方式演进同步,导板的结构设计也经历了从单一式向复合式、再向组合式的迭代升级。早期单一式导板将手术规划完全集成于一体,结构简单,但功能单一,无法同时引导拔牙、骨修整等多步骤操作。随后出现的复合式导板采用分步设计,通过截骨导板与种植导板的先后使用,初步实现了“即拔即种”流程的标准化,但术中需多次更换组件,存在误差累积风险。近年来,组合式导板成为主流设计趋势。该类导板通过固位钉先将基板稳定固定于颌骨,再在基板上顺序更换功能模块(如截骨导板、种植导板),模块间采用榫卯等机械连接结构增强稳固性,有效减少了多次操作带来的累积误差。李岩等^[6]研究显示,采用榫卯连接式组合导板,术后种植体角度偏差仅为 2.27° ,颈部与尖端偏差分别约 1.77 mm 和 1.93 mm ,充分体现了模块化设计在提升种植精度方面的临床优势。

2 数字化种植导板的临床效果

2.1 精确度 种植体植入的精确度是影响手术疗效与长期稳定性的关键因素。更高的精确度能够确保种植体实际植入位置与术前设计高度一致,从而优化修复体的生物力学分布,减少异常应力对边缘骨组织的负面影响,为种植体的长期稳定提供保障。数字化种植导板之所以能够实现高精度种植,其技术原理贯穿于“数据采集-虚拟规划-术中引导”3个核心环节。首先,通过锥形束计算机断层扫描(CBCT)获取颌骨三维数据,结合口内扫描获取牙列与黏膜形态,实现光学扫描与影像数据的精确配准,为虚拟规划提供高保真数字模型。其次,在专用软件中进行以修复为导向的逆向设计,根据最终修复体的理想位置反推种植体的三维位点、角度与深度,避开下牙槽神经管、上颌窦等重要解剖结构,实现个性化种植方案优化。最后,通过3D打印技术将虚拟规划转化为带有金属套筒的术中导板,套筒的轴向与内径精确限制了钻针的进入方向与直径,配合限深装置控制备孔深度,将虚拟规划的空间参数无偏移地转移至实际手术操作中,从而从机制上保证了种植体植入的高精度。临床研究进一步验证了数字化导板的精度优势。靳彬等^[7]在前牙区种植手术中,应用数字化3D打印导板,结果显示其种植体的顶端偏差、根部偏差、垂直距离偏差及角度偏差均显著低于采用常规导板的对照组,治疗有效率高达90.91%,明显优于常规导板,充分体现了高精度向优异临床疗效的有效转化。

2.2 美观度 前牙区及多牙位缺失不仅影响咀嚼与发音功能,更直接导致牙弓形态破坏、面部支撑丧失与笑容美学缺损,表现为牙龈乳头萎缩、黑三角形成、唇齿关系失调等美学问题,严重影响患者社交心理与生活品质。因此,实现自然、协调且稳定的美学修复已成为现代种植治疗的重要目标。数字化导板技术不仅提升了手术的精准性与功能性,更在美学可预测性与个性化实现方面展现出显著优势。在美学设计与实施过程中,数字化微笑设计(DSD)与三维面部扫描、口内扫描数据的深度融合,使得医生能够在虚拟环境中模拟患者的笑容形态、牙齿比例、牙龈轮廓及唇齿协调关系,从而制定个性化的美学手术方案。数字化导板可在此基础上,精准控制种植体的三维位置、植入角度及穿龈轮廓,确保修复体具备良好的牙龈乳头支撑、自然的龈缘曲线以及协调

的牙齿形态与排列,有效避免因植入偏差导致的美学并发症,如修复体过长、牙龈退缩或微笑线不协调等。有研究显示^[8],在上颌无牙颌种植手术中,采用DSD结合数字化导板进行美学设计的患者,其对修复体形态、颜色、牙龈美学及整体笑容协调性的满意度高达94.74%,显著高于采用常规设计的患者。该结果进一步验证了数字化技术在实现患者个性化美学期望方面的临床价值。此外,美学修复不仅关注形态与色彩的恢复,更需兼顾功能与美学的统一。数字化导板通过精准植入与修复体设计,可实现咬合力学的合理分布与软组织的美学支持,在满足患者美观需求的同时,保障修复的长期稳定性与口腔健康。未来,随着人工智能辅助美学分析、动态表情捕捉等技术的融入,数字化导板在美学种植中的应用将更趋向系统化、智能化与个性化,进一步提升患者的美学体验与身心满意度。

2.3 美学与功能的协调性 美学修复与功能重建并非彼此独立,而是相辅相成、不可分割的整体治疗目标。数字化种植导板技术的核心优势之一,正是在于其能够在实现高度美学表现的同时,确保种植修复体的生物力学合理性与功能可持续性。通过术前三维规划与术中精准引导,数字化导板可确保种植体植入的理想三维位置、轴向与深度,从而为修复体提供良好的咬合支持、应力分布与软组织保护,避免因植入偏差导致的异常负荷、修复体松动或边缘骨吸收等功能性问题。在临床实践中,美学与功能的协调统一,直接关系到患者的长期满意度与修复成功率。美学效果的提升不仅能恢复患者的面容美观与自然笑容,更能有效增强其社交信心、心理健康与生活参与度,体现了口腔修复从形态修复向身心重建的现代治疗理念转变。庄晓森等^[9]的研究进一步表明,采用数字化导板辅助治疗的患者,在口腔健康相关生活质量的多个维度——包括功能适应、心理舒适与社会交往等方面,均表现出显著改善,这充分说明美学与功能协同优化对患者整体健康的正向影响。因此,在应用数字化导板进行全口种植治疗时,临床医生应始终秉持“美学引导功能,功能支撑美学”的整合思维,在虚拟设计阶段即综合考虑微笑美学、咬合关系、软组织形态与生物力学环境,通过数字化技术实现从规划到执行的全流程控制,最终达成患者在外观、功能与心理层面的全面提升。

2.4 安全性 传统种植牙手术面对复杂解剖区域进行多颗种植体植入时,主要依赖术者的经验与术中二维影像判断,存在较高神经损伤、窦腔穿孔等潜在风险。使用数字化种植导板能基于高精度CBCT数据实现三维可视化规划,并精准执行手术操作以减少术中损伤,降低术后并发症风险。叶淑华等^[10]研究显示,使用3D口腔扫描结合数字化导板治疗下颌后牙牙列缺损种植患者,较传统种植治疗,术后并发症风险显著降低。

3 数字化种植导板的精度控制和未来趋势

3.1 精度控制的现有措施 针对数字化导板在全口种植手术中的精度问题,临床已形成贯穿各环节的系列控制措施。在数据采集环节,为克服CBCT金属伪影与颌位记录误差,可采用优化算法,如Yashayaeva A等^[11]指出Varian的HyperSight MAR重建算法有助于减少金属伪影。在导板制作环节,为控制3D打印变形,可优先选用高精度光固化或数字光处理技术,这也是《口腔种植数字化外科导板临床应用规范》中提及的方法^[12],并通过优化支撑结构、规范清洗与二次固化等后处理工艺,降低材料收缩导致的形变。在临床操作环节,首先需确保导板稳定就位,可通过植入足量固位钉并采用三角形等布局优化其稳定性。窝洞预备时,应使用与导板套筒精确匹配的专用钻针系统,利用限深挡片控制深度,依靠套筒规范钻针轴向,并保证冷却水充分灌洗,维持骨组织温度低于47℃。种植体植入时,需通过导板引导携带体就位,使植入轨迹与设计一致,并使用扭矩扳手控制植入扭力以获得初期稳定性。最后在修复阶段,可通过导板辅助转移印模或直接戴入预成修复体,确保修复体的被动就位,实现从外科到修复的精准衔接^[13]。

3.2 精度控制的智能化发展趋势 当前,精度控制技术已从被动补偿向主动预防方向发展。手术机器人系统的应用标志着精度控制进入新高度,在口腔种植手术中机器人系统可通过机械臂稳定执行术前规划,避免术者手部震颤影响而实现精准种植。王一茗等^[14]的体外研究显示,口腔种植机器人在多种骨倾角下均能实现较高的种植精度。此外,当前技术发展呈现出融合趋势,孟怡麟等^[15]研究发现口腔种植机器人与复叠式导板系统的组合,可协同互补提高种植精度。在种植规划环节,基于人工智能的算法已开始应用于临



床实践,以Diagnocat为代表的软件能够通过深度学习自动识别关键解剖结构,预测最优种植路径,并为复杂病例制定个性化手术方案。Mema H等^[16]回顾性分析显示,Diagnocat在牙科疾病诊断中准确率高达96%,且在缺牙和牙齿修复体中表现较为均衡。特别是在美学维度,AI技术可通过整合三维面部扫描、口内光学扫描及美学数据库信息,实现数字化微笑设计的量化分析与动态模拟。基于AI的算法能够自动提取面部软组织特征、分析唇齿关系,并推荐符合个体美学特征的修复体形态、牙龈轮廓及牙齿比例,从而辅助医生完成以美学为导向的个性化种植修复方案设计,提升美学结果的可预测性与再现性^[17-20]。

4 总结

数字化种植导板技术已成为全口种植的核心工具,可提升手术精度与效率,降低并发症风险,并在功能恢复、美学效果及患者满意度方面优势显著。然而,该技术仍面临精度需进一步提升、设备与培训成本高昂、个体差异影响适应性等挑战。未来,该技术将向智能化、精准化及个性化方向发展,融合人工智能、手术机器人及生物打印等新技术,推动美学导向的精准种植修复。随着技术普及与成本优化,数字化导板有望成为全口种植修复的标准化方案。临床医师应持续关注前沿发展,以优化治疗策略。

[参考文献]

[1]GBD 2021 Oral Disorders Collaborators.Trends in the global,regional,and national burden of oral conditions from 1990 to 2021:a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J].Lancet,2025,405(10482):897-910.

[2]张珊珊,张宇,邸萍,等.无牙颌种植修复对患者口腔健康相关生命质量影响的Meta分析[J].中华口腔医学杂志,2017,52(5):305-309.

[3]张凯悦,赵保东,韩泽禹,等.数字化导板与pick-up技术在牙列缺失种植修复中的应用1例[J].中华老年口腔医学杂志,2022,20(6):348-352.

[4]王燕,陈超.基于数字化手术导板引导下前牙美学区种植修复效果分析[J].中国美容医学,2023,32(11):139-142.

[5]李蕾,刘卓珏,王帅,等.数字化全程导板引导下全口种植修复种植体位置精确度的比较研究[J].中华老年口腔医学杂志,2023,21(6):342-346.

[6]李岩,杨清然,徐光宙.“榫卯”连接式全程数字化组合导板在全口种植手术中的临床应用[J].中国口腔种植学杂志,2021,26(5):306-312.

[7]靳彬,郭智锋,谢国芳.数字化3D打印种植导板对前牙区种植体的精确度及美学效果的影响分析[J].中国美容医学,2023,32(11):123-126.

[8]孙平,许玲莉,胡济安.数字化微笑设计技术在口腔修复学美学教学中的应用[J].浙江医学教育,2022,21(3):179-183.

[9]王婉蓉,谢瑞,白石柱,等.基牙预备-种植体植入联合导板引导下种植体辅助式可摘局部义齿修复1例报告[J].中国实用口腔科杂志,2022,15(5):634-637,640.

[10]叶淑华,朱佳栋,邓宁宁.3D口腔扫描结合数字化导板在下颌后牙牙列缺损种植中的应用效果评价[J].上海口腔医学,2025,34(3):286-290.

[11]Yashayaeva A,MacDonald RL,Robar J,et al.Evaluation of a Metal Artifact Reduction Algorithm for Image Reconstruction on a Novel CBCT Platform[J].J Appl Clin Med Phys,2024,25(11):e14516.

[12]白石柱,陈佳,宫莘,等.口腔种植数字化外科导板临床应用规范[J].中华老年口腔医学杂志,2023,21(4):238-241.

[13]Mulder van Staden S,de Villiers C,Bath T,et al.Technical Design,Surgical Challenges,and Troubleshooting in a Fully Guided Implant Workflow[J].J Vis Exp,2025,(226):10.3791/68765.

[14]王一茗,滕微微,赵文博,等.口腔种植机器人在不同骨倾角下种植精度的体外对比研究[J].口腔医学研究,2025,41(3):238-242.

[15]孟怡麟,瞿晓辉,滕新亚,等.全牙列即刻种植即刻负荷的机器人复杂种植[J].中国口腔种植学杂志,2024,29(1):70-76.

[16]Mema H,Gaxhja E,Alicka Y,et al.Application of AI-Driven Software Diagnocat in Managing Diagnostic Imaging in Dentistry: A Retrospective Study[J].Appl Sci,2025,15:9790.

[17]张颖.面部扫描结合口内扫描在数字化微笑设计及前牙种植修复中的应用[J].医学美学美容,2025,34(21):134-137.

[18]陈泽涛,邱龙诗语,龚卓弘,等.口腔种植定量测量人工智能化的难点解析与解决策略[J].中华口腔医学研究杂志(电子版),2026,20(1):1-8.

[19]Revilla-León M,Gómez-Polo M,Vyas S,et al.Artificial intelligence applications in implant dentistry:A systematic review[J].J Prosthet Dent,2023,129(2):293-300.

[20]Elgarba BM,Fontenele RC,Tarce M,et al.Artificial intelligence serving pre-surgical digital implant planning:A scoping review[J].J Dent,2024,143:104862.

收稿日期: 2026-2-9 编辑: 朱思源