

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2025.19.044

•综述•

数字化种植在口腔种植中的应用进展

杨超

(黄骅市人民医院口腔科, 河北 黄骅 061100)

[摘要] 数字化种植技术通过引入手术导板、动态导航等关键技术, 实现了以修复为导向的种植理念, 提升手术过程的可预测性、精准度与安全性, 并进一步优化美学效果与患者体验。尽管该技术在成本控制、技术学习曲线以及多源数据融合精度等方面仍存在一定挑战, 但随着人工智能、生物打印等前沿技术的不断融合与应用, 数字化种植正逐步发展为口腔种植领域的标准范式, 推动学科朝着更加个性化、智能化的方向迈进。本文系统梳理了数字化种植的核心内涵及其技术体系, 从术前诊断规划、外科手术的导板引导到最终修复体制作, 全面剖析了其全流程临床应用, 总结了当前数字化种植的主要优势与面临的关键问题, 并对其未来发展趋势进行展望, 以期为该技术的规范化推广和持续创新提供理论依据。

[关键词] 数字化种植; 口腔种植手术导板; 口内扫描; 三维打印

[中图分类号] R783.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1004-4949(2025)19-0175-04

Application Progress of Digital Implantation in Oral Implantology

YANG Chao

(Department of Stomatology, Huanghua Municipal People's Hospital, Huanghua 061100, Hebei, China)

[Abstract] Digital implantation technology has realized the restoration-oriented implantation concept by introducing key technologies such as surgical guide plate and dynamic navigation. It improves the predictability, accuracy and safety of the surgical process, and further optimizes the aesthetic effect and patient experience. Although the technology still faces certain challenges in cost control, technical learning curve and multi-source data fusion accuracy, with the continuous integration and application of cutting-edge technologies such as artificial intelligence and bioprinting, digital implantation is gradually developing into a standard paradigm in the field of oral implantology, promoting the discipline to move towards a more personalized and intelligent direction. This paper systematically sorts out the core connotation and technical system of digital implantation, comprehensively analyzes its full-process clinical application from preoperative diagnosis and planning, guide-assisted surgical operation to final restoration production, summarizes the main advantages and key problems of current digital implantation, and looks forward to its future development trend, in order to provide a theoretical basis for the standardized promotion and continuous innovation of this technology.

[Key words] Digital implantation; Oral implant surgical guide; Intraoral scanning; 3D printing

口腔种植技术(oral implantology)作为一项旨在恢复患者咀嚼功能与美观的成熟治疗手段, 已广泛应用于临床。然而, 传统口腔种植技术长期依赖于医师的临床经验与徒手操作, 其在精准度与治疗效果可预测性方面存在固有局限。为应对这一挑战, 数字化种植技术应运而生, 它通过集成锥形束CT、口内扫描及计算机辅助设计/制造

等技术, 构建了从三维可视化诊断、虚拟手术规划到3D打印手术导板精准引导的完整诊疗闭环。这一技术的根本优势在于, 它能够系统性提升种植体植入的精确性、优化手术流程的效率, 并最终确保治疗结果的可预测性与稳定性, 标志着口腔种植进入了精准可控的新阶段。基于此, 本文系统综述数字化种植的技术体系、临床流程、优

势与挑战，并展望其未来发展，旨在为该技术的规范化应用与创新提供参考。

1 数字化种植的技术基石

1.1 数据采集层 在数字化种植的数据采集中，锥形束CT（CBCT）是进行精准手术规划的核心基础，它提供的颌骨高分辨率三维数据，为评估骨量、骨密度及规避重要解剖结构提供了关键依据^[1, 2]。口内扫描则是另一关键组成，它能快速、精准地获取牙列与软组织的三维数字模型，有效取代了传统印模^[3]。最终，通过面部扫描仪将微笑、唇齿关系等软组织美学信息数字化，并与前述数据融合，共同构成了实现以修复为导向的个性化种植设计的完整信息基础。

1.2 数据处理与虚拟设计层 专用种植规划软件是数字化种植流程的核心环节，负责将CBCT、口内扫描及面部扫描等多源数据进行精准匹配与融合，构建出融合骨骼、牙齿与牙龈形态的虚拟患者模型^[4, 5]。在此整合模型基础上，医生可进行虚拟种植体的三维定位与植入路径规划，并同步可视化修复体的预期形态与位置，从而在生物力学稳定性和美学效果两方面实现整体优化，为后续手术与修复提供精确依据

1.3 数字制造层 数字制造是数字化种植流程的实体化环节，其核心在于将虚拟设计方案转化为精准的实物。3D打印是当前制造个性化手术导板、临时修复体及颌骨解剖模型的主流技术^[6]。基于光固化或材料喷射等原理的打印机，能够高效、高精度地成型复杂结构。而对于最终的永久修复体，如氧化锆基台与全瓷冠桥，则通常采用计算机辅助切削技术进行精密加工^[7]。该减材制造工艺通过对预成瓷块或金属块的铣削，确保了修复体具备优异的机械强度和边缘密合度。

2 数字化种植的临床工作流程

数字化种植的临床实践构成了一个环环相扣的闭环系统，其核心流程始于精准的术前规划，并贯穿于外科手术与最终修复的全过程。

2.1 精准的术前诊断与虚拟规划 工作流程始于多源数据的采集与融合。通过将CBCT获取的颌骨三维数据与口内扫描获得的牙列及软组织形态进行精准匹配，可在专用软件中构建出完整的虚拟患

者模型。在此基础上，医生严格遵循以修复为导向的原则进行规划：首先确定理想修复体的空间位置，进而逆向推导出种植体所需的最佳三维位置、植入深度及轴向角度^[8]。该软件还可辅助医生自动规避重要解剖结构，并模拟远期骨改建情况，从而提升手术方案的科学性与预见性。

2.2 手术导板的设计与制作 虚拟方案确定后，软件将自动生成与种植体位置精确匹配的手术导板三维模型^[9]。导板设计需综合考虑就位道稳定性、支撑方式（牙支持、骨支持或黏膜支持），并预留引导套管与冷却水道，以确保钻针能严格沿预设路径进行精准的窝洞预备。最终，导板模型通过高精度的3D打印技术快速制造，并经消毒后应用于临床手术。

2.3 导板引导下的精准外科手术 手术过程中，医生将导板戴入患者口内，通过其引导套管完成逐级备洞。这一关键步骤确保了实际操作与术前虚拟规划的高度一致性，最大限度地降低了人为误差，实现了微创、精准且高效的手术目标^[10]。对于无牙颌等复杂病例，该技术甚至能够实现即刻负重，从而大幅缩短整体治疗周期^[11]。

2.4 高效、精准的数字化修复 修复阶段同样延续并深化了数字化流程的精准优势。术后可基于口内扫描数据与术前设计，快速制作与软组织形态高度契合的临时修复体，为软组织塑形奠定良好基础。在最终修复体制作环节，临床医生既可采用传统的基台水平转移取模，亦可利用扫描体结合口内扫描技术，精准获取穿龈轮廓等关键软组织信息后进行数字化设计^[12]。这种贯穿始终的数字化流程，不仅提升了修复体制作的效率，更重要的是通过数据链的完整传递，保证了修复体与种植体、周围软组织之间达到优异的被动就位效果与长期稳定的边缘适应性^[13]，从而为种植治疗的长期成功提供可靠保障。

3 数字化种植的优势与挑战

3.1 核心优势 数字化口腔种植技术通过整合三维影像、口内扫描、CAD/CAM设计与制造、手术导航及3D打印等关键技术^[14]，实现了种植诊疗模式的系统性革新，其核心优势体现在精准性、可预测性、高效性及微创性等多个方面。首先，在诊断与规划阶段，通过将CBCT获取的颌骨数据与

口内扫描的牙列、软组织模型进行拟合，可在虚拟环境中构建患者的个体化解剖模型。医生可据此全面评估骨条件、解剖关系及美学预期，并遵循以修复为导向的原则，预先确定种植体的理想三维位置、深度与轴向，为后续手术奠定科学基础^[15]。其次，在手术实施环节，基于虚拟规划生成的静态导板或动态导航系统，能够精准引导器械操作，确保植入位置与术前设计高度一致。该技术不仅有效规避了重要解剖结构，降低手术风险，更通过微创方式减轻组织损伤，缩短术后恢复时间，提升治疗安全性及患者舒适度。此外，数字化流程大幅提升了整体诊疗效率。口内扫描替代传统印模，简化了数据获取流程；CAD/CAM技术与3D打印的应用实现了手术导板、临时及最终修复体的快速制作，有效压缩了治疗周期^[16]。数字化模型也有助于医患沟通，增强治疗透明度和患者信任。最后，全流程的数字化数据为病例存档、疗效评估与学术研究提供了便利，有助于推动种植治疗的标准化与持续优化^[17]。

3.2 面临的挑战 尽管数字化口腔种植展现出优势，但其临床应用仍面临多方面的挑战，主要体现在技术精度、成本可及性、人员能力、标准规范及适应证范围等层面。首先，技术精度与误差控制是关键问题。CBCT成像易受金属伪影、患者移动等因素干扰，影响骨量评估的准确性；口内扫描在软组织形态捕捉及抗唾液、出血干扰方面仍有局限；多源数据匹配过程中存在的算法误差，以及3D打印导板在材料收缩、就位稳定性等方面偏差，均可能导致实际植入位置与设计之间存在差异。此类误差在多牙缺失或无牙颌等复杂病例中更为明显，直接影响手术的安全性与修复效果。其次，高昂的设备成本与技术更新压力限制了其普及。数字化设备及耗材投入巨大，加之技术迭代迅速，给医疗机构带来持续的经济负担，可能加剧地区间与机构间的医疗资源不平衡。第三，数字化技术对医生的能力结构提出了新要求。医生需在传统医学知识基础上，掌握软件操作、数据分析与数字化设计技能，并能够批判性地评估技术局限，其角色正从操作者向流程管理者与决策者转变。这一转型伴随陡峭的学习曲线与思维模式的更新。此外，行业标准与法规监管仍显滞后。目前缺乏针对数字化流程精

度验证、导板消毒规范、数据安全管理等方面的统一标准，为临床质量控制和责任认定带来不确定性^[18]。最后，该技术在极端复杂病例中的应用存在局限。对于伴有严重骨缺损或解剖条件异常的患者，完全依赖数字化方案可能难以替代医生的经验判断与传统外科技术，其理想化设计在具体执行中亦可能面临挑战。

4 数字化种植的未来与展望

人工智能、增强现实/虚拟现实、动态导航及机器人技术的深度融合，正推动种植手术从静态规划迈向实时动态引导，实现亚毫米级的精准控制，提升治疗的可预测性与安全性。口内扫描、三维影像与CAD/CAM技术的无缝整合，将进一步构建高效的一站式诊疗流程，不仅大幅提升工作效率，也使即刻修复日益成为临床常规选择^[19]。在AI的赋能下，基于大数据的个性化治疗方案优化成为可能，而生物3D打印技术的突破更将推动具有生物活性的人工种植体及牙周组织构建，引领口腔修复从功能替代走向仿生再生新阶段^[20]。随着数字化技术的全面协同与临床流程的持续优化，种植治疗将更加微创、舒适与高效，不仅重塑医患沟通与诊疗体验，更将构建覆盖术前评估、手术实施和长期随访的全链路智能医疗生态，最终实现个性化精准医疗在口腔领域的深度普及与广泛应用。

5 总结

数字化种植通过构建完整的技术生态系统，将CBCT、口内扫描、CAD/CAM设计与3D打印等关键技术无缝集成，实现了从数据采集、虚拟规划到精准执行的全程数字化闭环。该技术不仅提升了种植体植入的精确度、手术安全性及修复效果的可预测性，更通过优化诊疗流程改善患者的整体体验。尽管在技术精度、成本控制、人才培养及标准化建设等方面仍面临挑战，但随着人工智能、动态导航及生物3D打印等新技术的深度融合，数字化种植正朝着智能化、个性化和微创化的方向快速发展。它推动了口腔种植从传统经验依赖模式向现代数据驱动模式的根本转变，代表了口腔种植学科发展的必然趋势。数字化种植不仅是技术的革新，更是治疗理念的重要升级。它

通过精准化、标准化和可预测化的特点，为患者提供更安全、更高效的口腔修复解决方案，必将引领口腔种植领域进入一个全新的发展阶段。

[参考文献]

- [1]Van Steenberghe D, Malevez C, Van Cleynenbreugel J, et al. Accuracy of drilling guides for transfer from three-dimensional CT-based planning to placement of zygoma implants in human cadavers[J]. Clin Oral Implants Res, 2003, 14(1):131-136.
- [2]De Bruyn H, Christiaens V, Doornewaard R, et al. Implant surface roughness and patient factors on long-term peri-implant bone loss[J]. Periodontol 2000, 2017, 73(1):218-227.
- [3]Ammoun R, Suprono MS, Goodacre CJ, et al. Influence of Tooth Preparation Design and Scan Angulations on the Accuracy of Two Intraoral Digital Scanners: An in Vitro Study Based on 3-Dimensional Comparisons[J]. J Prosthodont, 2020, 29(3):201-206.
- [4]Oh KC, Lee B, Park YB, et al. Accuracy of Three Digitization Methods for the Dental Arch with Various Tooth Preparation Designs: An In Vitro Study[J]. J Prosthodont, 2019, 28(2):195-201.
- [5]Orentlicher G, Horowitz A, Kobren L. Computer-Guided Dental Implant Treatment of Complete Arch Restoration of Edentulous and Terminal Dentition Patients[J]. Oral Maxillofac Surg Clin North Am, 2019, 31(3):399-426.
- [6]D'haese J, Van De Velde T, Komiyama A, et al. Accuracy and complications using computer-designed stereolithographic surgical guides for oral rehabilitation by means of dental implants: a review of the literature[J]. Clin Implant Dent Relat Res, 2012, 14(3):321-335.
- [7]Németh A, Vitai V, Czumbel ML, et al. Clear guidance to select the most accurate technologies for 3D printing dental models-A network meta-analysis[J]. J Dent, 2023, 134:104532.
- [8]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.
- [9]张永弟, 张子昂, 杨光, 等. 口腔种植导板的数字化设计与3D打印[J]. 河北工业科技, 2018, 35(4):283-287.
- [10]Golob Deeb J, Bencharit S, Carrico CK, et al. Exploring training dental implant placement using computer-guided implant navigation system for predoctoral students: A pilot study[J]. Eur J Dent Educ, 2019, 23(4):415-423.
- [11]陶宝鑫, 蓝耕良, 黄伟, 等. 动态导航技术辅助无牙颌种植精度分析[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2022, 42(9):1353-1360.
- [12]Jorba-García A, González-Barnadas A, Camps-Font O, et al. Accuracy assessment of dynamic computer-aided implant placement: a systematic review and meta-analysis[J]. Clin Oral Investig, 2021, 25(5):2479-2494.
- [13]Revilla-León M, Subramanian SG, Att W, et al. Analysis of Different Illuminance of the Room Lighting Condition on the Accuracy (Trueness and Precision) of An Intraoral Scanner[J]. J Prosthodont, 2021, 30(2):157-162.
- [14]梁献丽, 王雅楠, 孟中伟, 等. 数字化导板引导的口腔种植修复术在牙列缺损患者中的应用效果[J]. 河南医学研究, 2024, 33(2):327-330.
- [15]David S, Hüfner M, Rauch N, et al. Impact of Autoclaving on the Dimensional Stability of 3D-Printed Guides for Orthodontic Mini-Implant Insertion-An In Vitro Study[J]. Clin Exp Dent Res, 2025, 11(1):e70111.
- [16]Pellegrino G, Taraschi V, Andrea Z, et al. Dynamic navigation: a prospective clinical trial to evaluate the accuracy of implant placement[J]. Int J Comput Dent, 2019, 22(2):139-147.
- [17]伍颖颖, 周丰, 向琳, 等. 数字化导板技术在口腔种植临床教学中的应用[J]. 医学教育研究与实践, 2021, 29(3):469-472, 481.
- [18]Du Y, Wangrao K, Liu L, et al. Quantification of image artifacts from navigation markers in dynamic guided implant surgery and the effect on registration performance in different clinical scenarios[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2019, 34(3):726-736.
- [19]许晓波, 龚语林, 吴映燕, 等. 口内扫描数字化印模技术在磨牙区牙体达龈下缺损全冠修复中的应用[J]. 临床口腔医学杂志, 2023, 39(1):11-14.
- [20]Stefanelli LV, DeGroot BS, Lipton DI, et al. Accuracy of a Dynamic Dental Implant Navigation System in a Private Practice[J]. Int J Oral Maxillofac Implants, 2019, 34(1):205-213.