

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4949.2026.05.043

## 数字化技术在口腔修复中的应用及发展

马艳丽, 陈林, 姜微微

(内蒙古自治区第三医院口腔种植中心, 内蒙古 呼和浩特 010000)

**[摘要]** 近年来, 随着数字化技术在口腔功能修复全流程中的深入应用, 其在美学美容方面的价值也日益凸显。当前, 口腔修复领域常用的数字化技术主要包括三维数据获取技术、口腔计算机辅助设计与辅助加工技术(CAD/CAM)及口腔手术实施数字化技术等几大类。本文系统梳理了口腔修复不同类别的数字化技术的技术原理以及技术特点, 分析各类技术在口腔功能修复和美学修复中应用特点以及应用现状, 并结合技术发展趋势, 指出不同数字化技术深度融合、智能化程度提升以及应用场景不断拓展是未来的核心方向, 以期更好地推进数字化口腔修复的临床实践优化, 并为后续相关研究开展提供理论参考。

**[关键词]** 数字化技术; 口腔修复; 应用; 发展

**[中图分类号]** R783

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1004-4949(2026)05-0177-05

### Application and Development of Digital Technology in Oral Rehabilitation

MA Yanli, CHEN Lin, JIANG Weiwei

(Dental Implant Center of the Third Hospital of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010000, Inner Mongolia, China)

**[Abstract]** In recent years, with the in-depth application of digital technology in the whole process of oral functional rehabilitation, its value in aesthetic cosmetology has become increasingly prominent. At present, the common digital technologies in the field of oral rehabilitation mainly include three-dimensional data acquisition technology, computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) technology in stomatology, and digital technology for oral surgery implementation. This paper systematically sorts out the technical principles and characteristics of different types of digital technologies for oral rehabilitation, analyzes the application characteristics and current status of various technologies in oral functional rehabilitation and aesthetic rehabilitation, and combined with the development trend of technologies, points out that the in-depth integration of different digital technologies, the improvement of intelligence and the continuous expansion of application scenarios are the core directions in the future, so as to better promote the optimization of clinical practice of digital oral rehabilitation and provide theoretical reference for the development of subsequent related researches.

**[Key words]** Digital technology; Oral rehabilitation; Application; Development

口腔修复(oral rehabilitation)作为现代口腔医学的核心分支之一, 主要针对牙体缺损、牙列缺损、牙列缺失及颌面部组织缺损等疾病开展修复治疗, 在重建患者口腔咀嚼、发音等生理功能、改善颌面美观与咬合协调性、提升患者生活质量等方面具有不可替代的临床价值。既往临床上, 常规口腔修复技术对医生的操作技能及临床

经验依赖性较强, 存在精度不足、修复周期较长、临床效果一致性差等不足, 不仅难以精准恢复患者的口腔生理功能与解剖形态, 也难以满足日益增长的个性化美学修复需求<sup>[1]</sup>。近年来, 随着数字化技术的快速发展, 其逐步渗透并深度融合于口腔修复临床全过程, 从口内数据精准采集、数字化修复方案设计、自动化加工制作, 到

基金项目: 内蒙古科协2025年度科普赋能乡村振兴项目: 齿间智慧-全天候口腔防御计划(编号: CB-048)

第一作者: 马艳丽(1993.1-), 女, 内蒙古乌兰察布人, 本科, 主治医师, 主要从事牙体牙髓疾病及口腔修复方面研究

通讯作者: 姜微微(1978.9-), 男, 内蒙古赤峰人, 本科, 副主任医师, 主要从事牙槽外科及口腔种植方面研究



术前模拟规划与术中导航引导, 实现了全流程数字化闭环管理, 推动口腔修复诊疗模式由传统经验驱动向现代数据驱动转型, 显著提升了修复体的精度、稳定性与临床适配性<sup>[2]</sup>。基于此, 本文系统梳理数字化技术在口腔修复领域的应用现状, 总结其临床应用现状, 并对未来发展趋势进行展望, 旨在为进一步优化数字化口腔修复的临床实践路径、提升诊疗质量、推动相关技术创新与研究深化提供科学的理论依据与实践参考。

## 1 数字化技术在口腔修复中的应用现状

### 1.1 口腔医学三维数据获取技术

三维数据的获取是口腔修复当中的核心和基础环节, 获取精准、全面的颅颌面及口腔组织数据可以有效保证口腔修复方案设计的科学性, 并确保修复体的适配性, 更能为口腔美学修复提供重要支持, 实现口

腔功能与美学修复的有机统一。牙颌模型扫描是最早也是目前精度最高的一种口腔三维数据获取技术, 广泛应用于口腔技工室对石膏模型或印模的扫描场景<sup>[3]</sup>。口内三维扫描是最为便捷的一种口腔三维数据获取数字化技术, 能够满足无实体模型化的口腔诊疗, 并附带口腔健康诊断等功能<sup>[4]</sup>。面部三维扫描可为涉及口腔颜面部形态相关的临床诊疗提供数据支撑, 有助于实现全方位的口腔诊疗方案设计<sup>[5]</sup>。锥形束CT (CBCT) 技术为口腔临床获取颌骨、关节和牙根等三维体数据提供技术支撑, 降低对大型螺旋CT设备技术的依赖, 使口腔诊疗全面进入三维时代<sup>[6]</sup>。这些技术面对的采集对象、技术原理、精度特点等不同, 相互之间形成了互补, 并应用于不同的口腔修复情景。不同三维数据获取技术的核心参数, 见表1。

表1 口腔医学三维数据获取技术核心参数对比表

参数	牙颌模型扫描技术	口内三维扫描技术	面部三维扫描技术	锥形束 CT (CBCT) 技术
核心技术原理	桌面式光学扫描	近距光学扫描	面式光学扫描	X 射线锥形束断层扫描与三维重建
采集数据类型	石膏模型或印模扫描	口腔内牙周组织、牙体、口腔黏膜、咬合关系及部分牙槽嵴软组织	口腔面部三维数据	颌骨、关节和牙根等三维体数据
精度	可达 5 $\mu\text{m}$	可达 20 $\mu\text{m}$	约为 0.2 mm	约 200 $\mu\text{m}$

结合当前各种口腔医学三维数据获取技术的应用情况, 牙颌模型扫描、口内三维扫描、面部三维扫描及锥形束CT (CBCT) 等核心技术可以保证口腔多源三维数据的获取, 在口腔修复领域可以为单冠、嵌体、固定桥、种植修复体及活动义齿等方案的制定提供精确的解剖学数据支持, 同时能够根据获取的牙体形态、牙龈轮廓与面部软硬组织等三维数据, 对牙冠宽长比、修复体边缘密合度、微笑时牙列与唇线的协调性等美学指标进行量化分析, 从而更好地满足患者对美学效果的个性化需求, 实现修复功能与美学的兼顾<sup>[7, 8]</sup>。目前, 我国基于上述数字化技术生产的国产品牌扫描设备, 经过技术迭代与临床验证, 其扫描精度和功能已日趋完善, 可满足口腔临床诊疗、技工室修复加工及美学修复诊疗等多场景的实际需求, 为口腔修复数字化发展提供了有力的设备保障<sup>[9-11]</sup>。

### 1.2 口腔计算机辅助设计及辅助加工技术

在三维数据采集的基础上, 口腔计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助加工 (CAM) 等数字化技术的应用, 能够突破传统口腔修复在手工操作精度与效率方面的限制, 满足嵌体、贴面、全瓷冠等修复体的个性化仿生设计要求, 同时能够有效提升口腔修复美学效果。该技术不仅可以使修复牙体的色泽、纹理与天然牙体高度匹配, 还可以结合患者的面部比例优化牙体形态, 确保修复后牙体兼具功能与美观的双重效果。CAD技术能够对口腔修复体、种植导板、正畸矫治器等产品进行精准设计, 并且可对一些口腔疾病进行辅助诊断, 能够显著提升口腔修复效率与精度, 提升口腔修复的美学效果<sup>[12]</sup>。CAM技术可通过计算机系统对各类生产加工设备进行管理 and 控制, 提升加工的精度和自动化程度<sup>[13]</sup>。这两项技术的技术原理、功能和精度等核心技术参数, 见表2。

表2 CAD与CAM技术核心参数对比表

维度	CAD技术	CAM技术
技术原理	基于多源口腔三维数据,通过计算机构建虚拟模型,设计修复体的边缘、形态以及咬合等	接收CAD设计数据,利用数控切削、3D打印等设备,对修复材料进行加工,使其成为实体修复体
功能	边缘线确定、修复体虚拟设计、形态与咬合调整、修复方案模拟与优化	嵌体、全冠、种植基台等的快速精确制作
精度	修复体设计边缘适合性误差在50 μm内,虚拟模型精度可达微米级	氧化锆等修复体边缘密合度误差不高于50 μm,并随3D打印精度提升不断提升

结合临床实践来看,CAD技术现已成为口腔修复临床中较为成熟的常规诊疗手段,广泛应用于各类口腔医疗机构与义齿加工企业,覆盖固定修复、种植修复及活动修复等多种临床场景。CAD技术将口腔功能修复与美学优化高度融合,不仅有效提升了修复体边缘密合性与适配精度,还可对牙冠形态、色泽及微笑曲线进行个性化设计,实现口腔生理功能重建与面部美学协调的统一。在临床实践中,CAM技术的精度已达到了较高的水平,能够充分满足口腔修复临床需求,尤其在氧化锆陶瓷切削加工中的应用尤为成熟,已成为现阶段义齿加工的主流方式。随着3D打印技术的日趋成熟,CAM技术在形态复现、批量制造及材料利用率等方面的优势日益凸显,未来有望成为口腔修复领域的核心加工技术。目前,我国国产CAM技术(切削加工、3D打印)在设备和材料成本以及服务等方面在世界范围展现了明显的优势,国际竞争力显著,逐渐成为我国口腔领域的主流技术<sup>[14, 15]</sup>。

1.3 口腔手术实施数字化技术在口腔修复中的应用现状分析 数字化技术除了在上述口腔修复环节中得到应用外,其也在口腔手术辅助当中广泛应用,成为贯通术前规划与术中执行两大环节的关键纽带,也为口腔修复的美学效果提供坚实保障。其中,口腔手术实施中常用的数字技术包含口腔手术导板技术、口腔手术导航技术以及口腔手术机器人技术等。这几类手术实施相关的数字化技术的侧重点不同并相互补充。口腔手术导板技术能够简化术前准备流程,缩短手术时间;口腔手术导航技术能够预防“盲操作”情况,降低手术操作对邻牙、神经等造成的损伤<sup>[16]</sup>。口腔手术机器人技术在一些高难度修复手术中展现优势,提升手术精度,减少对医生经验的依赖,降低手术创伤,促进患者术后恢复<sup>[17]</sup>。这些技术也更能够契合患者对于美学的需求,在保证修复功能的基础上,兼具更好的美学效果。这几类手术实施相关的数字化技术的技术原理、手术精度、应用特点等核心参数,见表3。

表3 口腔修复手术相关数字化技术核心参数对比表

维度	口腔手术导板技术	口腔手术导航技术	口腔手术机器人技术
技术原理	基于多源口腔三维数据,设计手术辅助导板,并通过3D打印技术制作,引导器械按预设路径操作	基于多源口腔三维数据,利用相应专业软件进行手术规划设计后,利用手术导航系统实时跟踪手术器械的空间位置并实施手术	AI分析影像生成方案,机械臂结合力反馈与实时传感,执行精准操作
手术精度	误差0.5~1.0 mm,导板贴合度与医生操作经验会对精度造成影响	误差0.2~0.5 mm,精度与三维数据本身以及分割精度、手术器械注册及标定板实时跟踪相关	误差≤0.1 mm,机械臂重复精度达0.01 mm,支持复杂解剖区域操作
应用特点	降低临床医生对操作经验依赖,提升手术安全性和精准性	辅助医生精准微创实施手术,有助于年轻医生成长	大幅缩短手术时间,降低对医生操作经验依赖,尤其适合复杂手术、基层医疗机构和年轻医生使用



口腔手术导板技术是口腔修复领域广泛应用的一项技术,随着我国国产3D打印机技术水平的不断提升以及相关材料的推广应用,口腔手术导板的制作成本持续下降,为该技术在我国的临床开展提供了有力支撑。然而,目前全冠牙体预备领域仍缺乏适宜的导板用于临床实践<sup>[18]</sup>。口腔手术导航技术已在口腔种植修复领域成熟应用,可适用于单颗/多颗牙缺失、全口无牙颌等各类口腔修复场景,发挥了良好的临床应用效果,特别是能够有效提升年轻口腔医生的修复操作技能,缩短其学习曲线<sup>[19, 20]</sup>。口腔手术机器人技术在无牙颌种植、颧骨种植等口腔修复领域具有独特的应用优势,我国在该领域已走在世界前列,取得了多项重大突破,当前已有北京瑞医博、北京雅客智慧、苏州迪凯尔等多款种植手术机器人获得国家医疗器械注册证<sup>[21, 22]</sup>。

## 2 数字化技术在口腔修复中的发展趋势

随着医疗数字化转型与智能制造技术的持续发展,数字化技术在口腔修复中的应用不断升级,推动三维数据采集技术、CAD、CAM、人工智能(AI)、5G、物联网等各类数字化技术的数据互通,进一步提升修复体设计与加工精度,缩短设计及加工周期<sup>[23, 24]</sup>。同时,AI图像识别、机器学习、数字孪生技术的广泛应用,将逐步降低口腔修复操作对医生技能及经验的依赖,使年轻医生可熟练开展口腔修复手术,同时有效提升美学效果<sup>[25]</sup>。此外,随着我国数字化设备国产化程度的不断加深,以及便携式口腔诊疗设备、扫描设备的出现,口腔修复数字化设备的生产成本将进一步降低,应用场景也将不断拓展,有望在基层医院乃至家庭中得到广泛普及。本文对数字化技术在口腔修复中的发展趋势进行了总结,见表4。

表4 数字化技术在口腔修复中的发展趋势相关参数表

发展趋势	主要支撑技术	预期发展目标
不同数字化技术深度融合	三维数据采集技术 /CAD/CAM/AI/5G/ 物联网	实时诊疗数据互通,缩短修复体的设计和加工周期,并提升全流程的精确度
智能化程度提升	数字孪生技术、AI图像识别、机器学习等	大幅降低口腔修复期间的人工干预,提升新手医生的熟练程度,提升口腔修复的美学效果
应用场景不断拓展	便携式扫描设备以及家用口腔监测设备的研发和生产	国产数字化设备价格大幅降低,基层机构数字化覆盖率提升,家用监测设备市场扩大

## 3 总结

数字化技术已在口腔修复领域得到广泛的应用,从三维数据采集、修复体的设计加工到手术执行等多个不同环节,有效提升了口腔修复的精准化和高效性,并促进口腔修复标准化诊疗体系的构建。数字化技术的应用促使口腔修复由原本的经验驱动模式不断向数字化驱动模式进行转变,不仅提升了诊疗效果和效率,降低了手术风险,而且还能够有效满足患者对于口腔修复的个性化美学需求,改善患者的就医体验。尽管数字化应用技术在我国口腔修复临床当中已经得到了较为广泛的应用,取得了一些有效应用成果,但随着智能化水平的不断提升以及国产化程度的持续加强,数字化技术在口腔修复领域的发展,将

呈现不同数字化技术深度融合、智能化程度持续提升、应用场景不断拓展等趋势,从而更高效地赋能口腔修复全流程。

### [参考文献]

[1]柳美仙,陈晓康,武峰,等.基于数字化技术的口腔修复粘接材料储存平台构建及应用[J].粘接,2025,52(12):147-149,157.  
 [2]余涛,王兴强.数字化多源数据融合驱动全口种植修复的精准化诊疗技术研究进展[J].现代医学与健康研究电子杂志,2025,9(18):134-138.  
 [3]朱玉佳,蒋博,孙玉春,等.口腔三维冠根整合模型构建方法的研究进展[J].中华口腔医学杂志,2020,55(4):280-284.  
 [4]曹悦,陈俊镨,赵一姣,等.口内三维扫描技术临床应用精度

- 的研究进展[J].中华口腔医学杂志,2020,55(3):201-205.
- [5]赵一姣,熊玉雪,杨慧芳,等.2种三维颜面部扫描仪测量精度的定量评价[J].实用口腔医学杂志,2016,32(1):37-42.
- [6]闫弘静,李志民,冯婧,等.锥形束临床应用现状分析[J].口腔医学研究,2019,35(2):155-158.
- [7]吕婕,高昊辰.基于数字化技术的口腔种植修复牙列缺损效果观察[J].山东医药,2025,65(5):100-104.
- [8]黄清川,黄翠,蔡新杰.数字化口内扫描技术在口腔修复学临床和教学中的应用[J].口腔颌面修复学杂志,2022,23(5):366-373.
- [9]曹悦.口内三维扫描技术应用用于无牙颌数字化印模获取的精度评价[D].北京:北京大学医学部,2021.
- [10]赵一姣,王勇.数字化技术在口腔医学的临床应用现状与分析[J].四川大学学报(医学版),2024,55(1):101-110.
- [11]刘杰,邵贝贝,王伟涛,等.基于CBCT与3D打印技术对完全性骨埋伏阻生牙患者术后VAS评分、并发症、邻牙功能恢复的影响[J].海南医学,2024,35(5):663-668.
- [12]胡睿,林维镇,张琰君.CAD/CAM技术在老年牙齿重度磨耗伴牙体缺损中的应用疗效[J].中国卫生标准管理,2025,16(6):76-79.
- [13]邹雅琴,王敬雯,李珍炫,等.CAD/CAM树脂高嵌体咬合重建对牙齿重度磨耗老年患者咀嚼功能的影响[J].医学理论与实践,2025,38(1):96-97,114.
- [14]袁翔,陈贞展,黄源娇,等.椅旁数字化直接印模法在CAD/CAM全瓷冠种植修复患者中的应用[J].口腔颌面修复学杂志,2025,26(6):416-422.
- [15]许雪红,程少龙,吴昭君.CAD/CAM氧化锆桩核在前牙美学修复中的效果观察[J].中国医疗美容,2025,15(6):112-116.
- [16]张震宇,赵彬,马艳宁.基于数字化影像学的导板与导航技术在口腔医学中的应用[J].口腔医学,2023,43(7):667-672.
- [17]陈圆圆,尼加提·吐尔逊.口腔种植机器人的研究发展及应用现状[J].医学理论与实践,2023,36(9):1481-1483.
- [18]庞莉苹,许铭炎,郭伟忠,等.数字化外科导板在口腔种植修复中的应用分析[J].中国口腔种植学杂志,2022,27(5):292-298.
- [19]满毅,杨幕童.种植机器人、动态导航及全程导板在口腔种植领域的临床应用进展[J].中国口腔种植学杂志,2023,28(3):146-151.
- [20]闫焱鑫.数字化导航技术在显微根尖手术中的应用与进展——评《口腔种植修复》[J].世界中医药,2024,19(18):2880.
- [21]刘琛.口腔手术机器人实现颌骨复杂形态精准磨削的功能开发及其应用基础研究[D].西安:中国人民解放军空军军医大学,2025.
- [22]刘云坤,宋佳,陈晓宇,等.基于自主式口腔手术机器人辅助下自体牙移植1例[J].华西口腔医学杂志,2025,43(6):881-887.
- [23]文化.数字化技术在口腔医学专业教学中的应用研究[J].湖北职业技术学院学报,2025,28(5):23-27,31.
- [24]Li W,Zhang S.Design and Practice of the Application of Digital Technology in Oral Rehabilitation[J].International Journal of Biology and Life Sciences,2025,9(2):36-40.
- [25]陈吉华,赵喆,林娉婷,等.数字化技术与口腔个性化精准修复——建立人牙列动态数据库的临床意义[J].空军军医大学学报,2024,45(10):1081-1086.

收稿日期:2026-1-29 编辑:扶田