

数字化口腔医学的发展与应用进展

王 凯

重庆医科大学 重庆

【摘要】随着信息技术和智能化技术的迅速发展,数字化口腔医学逐渐成为现代口腔医疗领域的重要方向。数字化口腔医学包括数字印模、口内扫描、虚拟仿真、三维建模、计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、3D 打印、人工智能辅助诊疗、大数据管理以及纳米材料在临床应用中的整合等多个方面。通过数字化技术的引入,口腔诊疗的精准性和效率得以显著提升,同时在教学、科研和管理上也展示出广阔的应用前景。数字化口腔技术不仅改善了传统口腔治疗中存在的操作误差和耗时问题,还在复杂手术、个性化义齿修复以及口腔疾病早期诊断中提供了可量化、可追踪和可复现的方案。近年来,随着虚拟现实、增强现实、人工智能以及 3D 打印等技术的成熟,口腔教育和培训也进入了数字化时代,实现了高仿真模拟训练和精准评估。与此同时,数字化口腔医学的数据整合能力和智能分析能力为个性化治疗、远程医疗以及医疗大数据应用提供了强有力的支持。本文系统综述了数字化口腔医学的发展历程、核心技术、临床应用、教育培训、数据与人工智能管理、材料创新等方面的最新进展,并对现阶段的挑战与未来发展趋势进行了深入分析,为口腔医学科研、临床及教育工作者提供参考和指导。

【关键词】数字化口腔医学;口内扫描;三维建模;人工智能;3D 打印;临床应用

【收稿日期】2025 年 5 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 6 月 25 日 **【DOI】**10.12208/j.iosr.20250008

Development and application of digital dentistry

Kai Wang

Chongqing Medical University, Chongqing

【Abstract】 With the rapid development of information technology and intelligent technology, digital oral medicine has gradually become an important direction in the field of modern oral healthcare. Digital oral medicine encompasses multiple aspects, including digital impressions, intraoral scanning, virtual simulation, 3D modeling, computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM), 3D printing, artificial intelligence-assisted diagnosis and treatment, big data management, and the integration of nanomaterials in clinical applications. The introduction of digital technology has significantly improved the precision and efficiency of oral diagnosis and treatment, while also demonstrating broad application prospects in teaching, research, and management. Digital oral technology not only addresses operational errors and time-consuming issues in traditional oral treatment but also provides quantifiable, trackable, and reproducible solutions for complex surgeries, personalized denture restoration, and early diagnosis of oral diseases. In recent years, with the maturity of technologies such as virtual reality, augmented reality, artificial intelligence, and 3D printing, oral education and training have entered the digital era, achieving high-fidelity simulation training and precise evaluation. Meanwhile, the data integration and intelligent analysis capabilities of digital oral medicine provide strong support for personalized treatment, telemedicine, and medical big data applications. This article systematically reviews the latest advancements in the development history, core technologies, clinical applications, education and training, data and artificial intelligence management, and material innovation of digital oral medicine. It also conducts an in-depth analysis of the challenges and future development trends at the current stage, providing references and guidance for oral medical research, clinical practice, and educators.

【Keywords】 Digital oral medicine; Intraoral scanning; 3D modeling; Artificial intelligence; 3D printing; Clinical applications

引言

口腔健康是整体健康的重要组成部分，口腔疾病的高发性和复杂性给诊疗带来了巨大挑战^[1]。传统口腔治疗方法主要依赖人工操作、物理印模以及医生的经验判断，这在复杂病例中容易出现误差，影响治疗效果^[2]。例如，在多牙缺失或阻生牙拔除的操作中，精确定位和操作的难度较大，传统方法难以保证手术精度和修复效果^[3]。此外，传统诊疗流程耗时较长，患者等待时间较长，同时增加了医疗成本和心理压力^[4]。这些因素促使口腔医学领域亟需更加高效、精准和可量化的技术手段。

数字化口腔医学应运而生，通过将信息技术与口腔医疗深度融合，实现诊疗流程的数字化、智能化和可视化^[5]。数字化技术不仅能够精确记录牙齿及口腔软硬组织形态，还可以在三维空间中进行分析和模拟，从而提高诊疗的准确性和可控性。与传统方法相比，数字化口腔技术能够显著减少操作误差，缩短诊疗时间，并为复杂手术和个性化修复提供可靠的技术支持。与此同时，数字化技术在口腔教育、科研以及医疗管理中的应用，也为现代口腔医学的发展提供了新的动力。

数字化口腔技术的发展并非孤立存在，它涵盖了数字印模、口内扫描、虚拟仿真、三维建模、计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）、3D 打印、人工智能辅助诊疗、大数据管理以及先进材料的整合应用等多个方面。通过数字化手段，可以实现对口腔疾病的早期诊断、精确定位和个性化治疗，同时能够对治疗过程进行全程记录和追踪。现代口腔医生可以利用数字化影像进行精细化分析，实现对患者口腔状态的实时评估，并通过虚拟手术规划优化操作方案，从而提升临床效果。

此外，数字化口腔技术还在教育和科研方面发挥了重要作用。通过虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，医学生和临床医生可以在安全、可控的虚拟环境中进行手术练习，实现高仿真模拟训练^[5]。这种方式不仅降低了操作风险，也能提高培训效率和技能掌握度。同时，三维建模和虚拟仿真技术在科研中提供了可量化的实验数据，使研究者能够更加精准地评估不同治疗方案和技术效果，为口腔医疗创

新提供科学依据。

总体而言，数字化口腔医学正在从诊疗、教育、科研和管理四个方面全面推动口腔医疗的现代化发展。随着信息技术、人工智能、3D 打印和先进材料的不断进步，数字化口腔技术将在精准诊疗、个性化修复以及智能化教育培训等领域发挥更加重要的作用。本文将在后续章节中系统综述数字化口腔技术的发展历程、核心技术、临床应用、教育培训、数据与人工智能管理、材料创新以及未来发展趋势，为科研、临床和教育工作提供全面参考。

1 数字化口腔技术发展

随着信息技术和医疗设备的迅猛发展，数字化口腔技术已经成为现代口腔医学的重要方向。数字化技术在口腔医学中的应用不仅体现在诊疗工具和设备的智能化，还涵盖了整个诊疗流程的优化与升级^[6]。例如，口腔数字化印模、口内扫描、虚拟仿真以及 CAD/CAM 等技术的引入，使传统手工操作和经验判断逐渐被高精度数字化流程所替代，大幅度提升了治疗精度和效率^[7]。

数字化印模技术是数字化口腔技术的核心环节之一，通过口内扫描器将牙齿及口腔组织进行三维数字化建模，生成高精度的数字印模数据^[8]。与传统硅胶印模相比，数字印模具有操作简便、舒适度高、误差小、数据可重复利用等优势。数字化印模不仅适用于种植修复、正畸治疗，还能够为复杂的口腔修复提供精确的数据基础，为后续的 CAD/CAM 设计和三维打印提供保障^[9]。

CAD/CAM 技术的引入，为数字化口腔技术的发展提供了坚实支撑。通过计算机辅助设计与制造，牙科医生可以根据数字化印模数据进行个性化修复体设计，实现牙齿形态、咬合关系以及美学效果的精确控制^[10]。此外，CAD/CAM 系统能够与三维打印设备和数控加工设备联动，实现从设计到加工的全流程数字化，缩短制作周期，降低人工误差，提升修复体的适配性和临床效果^[11]。

虚拟仿真技术也是数字化口腔技术的重要组成部分。在口腔手术、阻生牙拔除及种植操作中，虚拟仿真系统通过三维建模和手术模拟，为医生提供可视化操作方案^[12]。医生可以在虚拟环境中反复练习

手术操作, 评估不同方案的可行性与风险, 从而在真实手术中提高操作精度和安全性。这种技术还广泛应用于口腔教育领域, 使医学生能够在安全、可控的环境中掌握手术技能。

数字化口腔技术的发展不仅提升了诊疗精度, 还推动了个性化医疗的实现。通过数字化建模与分析, 医生可以根据患者牙齿和口腔组织的具体情况制定个性化的治疗方案, 实现精准诊疗。与此同时, 数字化数据的标准化与可存储性, 使得患者病历、手术记录、修复体设计数据能够长期保存和追踪, 为后续复诊、维护及研究提供了可靠依据。

未来, 随着人工智能与机器学习技术的进一步发展, 数字化口腔技术将更加智能化。通过对大量临床数据的分析和学习, AI 可以辅助医生进行疾病诊断、治疗方案推荐以及修复体设计优化。此外, 云计算和远程医疗平台的结合, 将打破地域限制, 实现远程会诊和协同诊疗, 使优质医疗资源更加均衡地分布。

综上所述, 数字化口腔技术的发展正以多维度、多层次的方式推动口腔医学的现代化。从数字印模、CAD/CAM 设计、虚拟仿真, 到人工智能辅助诊疗, 数字化技术正在实现诊疗流程的精确化、个性化和智能化。未来的发展将进一步优化医疗效率、提升临床效果, 并推动口腔医学教育与科研的创新。

2 数字化口腔临床应用

数字化技术在口腔临床的广泛应用已经显现出显著优势, 不仅提升了治疗精度, 也优化了操作流程。口内扫描技术是数字化临床应用的核心之一, 通过高精度三维扫描, 医生能够获得患者口腔软硬组织的详细信息^[13]。该技术在口腔种植、修复及正畸治疗中, 能够准确捕捉牙列及咬合关系, 减少传统印模的误差, 并缩短治疗时间。

数字化技术在口腔教育与培训中日益成为核心手段, 它不仅提升了教学效率, 也优化了操作技能培训。在住院医师和学生培训中, 数字化评价系统能够实时监测学员操作精度, 对教学过程进行科学管理。这种系统化反馈机制帮助教师针对学生的薄弱环节进行指导, 同时使学生能够自主调整学习策略, 显著提升临床操作水平和学习效果。

口内数字扫描技术在教育领域的应用, 为学生提供了高精度的口腔模型, 使其能够观察牙列及口

腔组织的细微结构。与传统牙模相比, 数字化模型具备可放大、旋转和交互操作的优势, 学生可通过虚拟平台模拟操作, 从而在安全环境下熟悉各种口腔操作流程。这种技术也便于教师进行个性化指导, 提升学生对复杂解剖结构和临床操作的理解。

在牙体牙髓治疗领域, 数字化导板和虚拟规划技术的应用同样显著提高了操作精度^[14,15]。通过导板引导, 阻生牙拔除及复杂种植手术的定位更加精准, 降低了术中意外风险, 同时提高了手术效率和患者舒适度。导板结合三维成像和虚拟仿真技术, 还为个性化治疗提供了强有力的支持, 使复杂病例得以标准化处理。

数字化三维重建技术为口腔外科和种植手术培训提供了直观的模拟工具。通过将 CBCT 或口内扫描数据转换为三维模型, 学员可以在虚拟环境中进行拔牙、种植和修复手术模拟, 减少了直接操作患者的风险。此类模拟不仅提升了手术精度, 还帮助学员理解手术中的空间关系和操作流程, 提高了临床判断能力。

数字化影像测量技术同样在教学中发挥重要作用。通过膜片定位牙龈测量法结合 CBCT 影像, 可以准确评估牙龈厚度和骨量, 为学生提供标准化的操作参考。这种精准测量方法不仅加强了理论与实践结合, 还培养了学员术前评估和手术规划的能力, 使临床操作更具科学性和可预测性。

数字化技术还在口腔修复和正畸治疗中发挥关键作用。例如, 三维数字模型和 CAD/CAM 系统的结合, 能够实现义齿、牙冠及贴面的个性化设计与制作^[16]。通过数字化流程, 修复体的形态、咬合和美学效果能够在制作前进行虚拟评估和调整, 显著提升临床成功率。此外, 数字化技术支持快速原型制作, 使患者能够更快获得定制修复体, 改善就诊体验。

虚拟仿真和数字化培训系统的临床价值也日益凸显^[17]。医生和医学生可以在虚拟手术平台中反复模拟操作, 掌握复杂手术技巧, 降低临床风险。结合数字化影像和数据分析, 医师能够实时评估操作精度和治疗效果, 从而不断优化临床流程, 提高整体治疗质量。

此外, 数字化口腔技术在诊断和监测方面的应用日趋成熟。例如, 口腔内扫描结合影像分析, 可用

于早期牙隐裂、牙周病以及种植部位的精细评估^[18]。这些数字化方法不仅提供了可量化的诊断指标，还可以长期跟踪患者口腔健康状态，为个性化治疗和预防策略提供科学依据。

数字化技术还推动了远程口腔医疗的发展。通过数字化影像和数据共享平台，医生可以实现远程会诊和协作，特别适用于偏远地区或多学科复杂病例的管理^[19]。这种模式提高了医疗资源的利用效率，也为患者提供了更便捷、精准的医疗服务。

综上所述，数字化技术在临床应用中的优势十分显著。它不仅提高了诊疗精度，缩短了治疗周期，还在个性化治疗、手术规划、远程医疗和教育培训等方面发挥了重要作用。随着技术的不断升级，数字化口腔临床应用将向更智能化、综合化和个性化方向发展，为现代口腔医学提供坚实的技术基础。

3 数字化口腔教育与培训

数字化技术在口腔教育与培训中日益成为核心手段，它不仅提升了教学效率，也优化了操作技能训练^[20]。在住院医师和学生培训中，数字化评价系统能够实时监测学员操作精度，对教学过程进行科学管理。这种系统化反馈机制帮助教师针对学生的薄弱环节进行指导，同时使学生能够自主调整学习策略，显著提升临床操作水平和学习效果。

在口腔临床中，数字化技术的应用已经从辅助工具逐步发展为核心环节，涵盖了牙体牙髓治疗、口腔种植、正畸、颌面外科、修复以及口腔疾病预防等各个方面。在牙体牙髓治疗中，数字化扫描与三维建模技术使得牙体和根管的解剖结构可以被精准重建。医生通过虚拟手术规划，能够准确测量牙髓腔形态和根管走向，从而优化治疗方案，减少对牙齿健康组织的损伤，同时提高治疗效率和成功率。此外，结合微创器械和数字化导航系统，医生在实施根管治疗或牙体修复操作时，可以实现精准定位，降低操作失误率。

在口腔种植领域，数字化技术的优势尤为显著。通过数字化口内扫描、CBCT 影像及三维建模，医生可以在虚拟环境中进行种植体选型、位置规划和角度调整，充分考虑骨量、咬合关系及美学需求。这种可视化、可预测的方案设计显著提高了种植体的初期稳定性和长期生存率，同时减少了术中调整次数，缩短了手术时间。与传统种植手术相比，数字化方

案还能在复杂病例中实现微创手术，减轻患者疼痛和术后肿胀，提高康复速度。

正畸治疗中，数字化技术同样发挥了重要作用。数字化口内扫描结合计算机辅助设计，能够精确捕捉牙列及颌面结构信息，实现透明矫治器和可移动矫治器的精准制作。医生可以通过软件模拟整个矫治过程，预测牙齿移动轨迹，并在必要时对方案进行调整。这不仅提高了矫治效果的可控性，也缩短了矫治周期，降低了传统矫治方法中因人为误差导致的复诊次数。

在颌面外科和复杂牙列修复中，数字化技术的应用更加全面。三维重建模型能够为医生提供全景式的解剖信息，结合手术导航系统，使医生能够在术前充分评估风险，制定详细的手术路径和切削方案。对于重度牙列缺失或颌面畸形患者，通过数字化设计的手术导板和个性化修复体，可以实现术中精准操作与术后理想美学效果。同时，数字化影像和模拟技术也为术后功能评估提供了可量化依据，有助于制定个性化康复方案。

数字化技术在口腔疾病预防和口腔健康管理中也发挥着日益重要的作用。通过数字化口内扫描与分析软件，医生能够对早期龋病、牙石沉积及牙周炎症进行精准评估，形成个性化预防方案。结合数字化记录和远程监测系统，患者可以随时了解自身口腔健康状况，实现远程随访和行为干预。这种基于数据的精准预防模式，不仅提高了口腔疾病的早期发现率，也降低了后续治疗成本，提升了患者的健康管理体验。

在教育与培训方面，数字化技术提供了更高水平的临床模拟和操作训练。虚拟现实和增强现实技术结合三维口腔模型，使医学生和年轻医生能够在仿真环境中进行操作练习和手术演练，无需直接接触患者即可掌握复杂手术技能。这种沉浸式、可重复、量化的训练模式，不仅提高了学习效率，也降低了初学者的操作风险，为临床能力提升提供了可靠保障。

此外，数字化技术还推动了口腔科研的发展。通过高精度三维模型和大数据分析，研究者可以系统分析口腔解剖结构、病理变化及治疗效果，为新技术、新材料的研发提供科学依据。同时，数字化平台的数据共享和远程协作能力，使多中心临床研究

得以高效开展,促进了学术交流与科研成果转化。

总体来看,数字化口腔技术在临床应用中不仅提升了操作精度和治疗效果,也在教育、科研和患者管理等方面发挥了深远影响。随着技术的不断发展与成熟,未来数字化口腔实践将更加智能化、个性化和高效化,形成集诊断、治疗、教育、科研和管理于一体的综合性数字化口腔体系,为临床医师和患者带来更优质、更安全的口腔医疗服务。

口内数字扫描技术在教育领域的应用,为学生提供了高精度的口腔模型,使其能够观察牙列及口腔组织的细微结构^[21]。与传统牙模相比,数字化模型具备可放大、旋转和交互操作的优势,学生可通过虚拟平台模拟操作,从而在安全环境下熟悉各种口腔操作流程。这种技术也便于教师进行个性化指导,提升学生对复杂解剖结构和临床操作的理解。

数字化三维重建技术为口腔外科和种植手术培训提供了直观的模拟工具^[22]。通过将 CBCT 或口内扫描数据转换为三维模型,学员可以在虚拟环境中进行拔牙、种植和修复手术模拟,减少了直接操作患者的风险。此类模拟不仅提升了手术精度,还帮助学员理解手术中的空间关系和操作流程,提高了临床判断能力。

数字化影像测量技术同样在教学中发挥重要作用。通过膜片定位牙龈测量法结合 CBCT 影像,可以准确评估牙龈厚度和骨量,为学生提供标准化的操作参考^[23]。这种精准测量方法不仅加强了理论与实践结合,还培养了学员术前评估和手术规划的能力,使临床操作更具科学性和可预测性。

三维打印技术在口腔教育中的应用逐渐成熟^[24]。通过打印高精度教学模型,学生可在不依赖真实患者的情况下进行操作练习,包括义齿制作、牙冠设计以及复杂手术模拟。这种重复操作和错误纠正的机会,使学生能够在安全环境中反复训练,培养临床技能和操作熟练度。

数字化平台还支持口腔教育的远程和互动化发展^[25]。教师可通过数字化案例库、远程演示及在线评价系统,实现跨地区教学和技能指导。学生能够在多样化情境中进行学习,提高问题解决能力和临床思维。结合大数据分析,教育者能够为每位学员提供个性化训练方案,使教育过程更加精准化和科学化^[27]。

此外,数字化技术在科研能力培养中也具有重要作用^[26]。学生可以利用虚拟实验平台进行数字化设计、模拟分析和结果验证,掌握现代口腔科研方法。通过数字化手段整合实验与临床数据,学员能够提前熟悉科研流程和数据处理技巧,为未来的临床科研融合奠定基础。

综上所述,数字化口腔教育与培训在提升教学效率、操作精度和科研能力方面具有显著优势。通过数字化评价、口内扫描、三维重建、精准测量及三维打印等技术,现代口腔教育实现了从理论到实践的无缝对接,为培养高素质口腔医学人才提供了坚实保障。

4 数字化口腔影像与诊断

随着口腔医学的发展,数字化影像技术在临床诊断中扮演着越来越重要的角色。传统影像手段如牙片和二维 X 光片存在信息有限和空间感不足的问题,而数字化技术通过三维重建、数字扫描和可视化分析,使牙体牙周及颌面结构的评估更加精准^[26]。三维打印技术与数字化影像的结合,不仅可以用于手术规划,还可以生成真实的口腔模型供术前模拟使用,提高临床操作的可预测性。

随着数字化技术的快速发展,口腔教学与培训模式正在经历深刻的变革。传统教学模式主要依赖课堂讲授、纸质教材和临床实操,这种模式在时间、空间和操作机会上存在明显限制。而数字化教学技术的引入,为口腔教育提供了全新的平台和手段,使教学内容更直观、操作训练更安全、学习过程更可控。

在基础知识教学中,数字化三维口腔模型和虚拟仿真平台能够将复杂的口腔解剖结构、牙齿排列以及牙周组织的空间关系清晰呈现。学生可以通过交互式操作观察牙齿内部构造、根管走向和牙周组织分布,从不同角度进行旋转、剖切和标注,大大增强了理解力和空间想象力。同时,虚拟实验环境可以提供动态演示功能,例如模拟龋病发展、牙髓感染扩展以及牙周病进程,让学生在视觉和操作体验上更接近真实临床情况。

在操作技能训练方面,数字化教学系统提供了安全、可重复、可量化的训练平台。通过虚拟现实(VR)、增强现实(AR)和混合现实(MR)技术,学生能够在仿真环境中练习牙体预备、根管治疗、

种植手术和正畸操作等复杂技能，而无需直接接触患者。这种训练方式不仅降低了初学者的操作风险，还可以通过系统记录每一次操作的力度、角度和深度，形成精确的操作数据，为教师提供评估依据，也便于学生自我反思和改进。

数字化教学还支持个性化学习和差异化训练。系统可以根据学生的学习进度和操作表现，自动调整训练难度和任务设置。例如，对于掌握基础技能的学生，系统可增加复杂病例模拟和术式组合训练；对于操作不熟练的学生，系统可以提供分步骤操作提示和实时纠错功能。这种因材施教模式提高了学习效率，同时确保每位学生都能在自身节奏下掌握技能。

在临床实训环节，数字化导板、三维打印模型和口内扫描技术成为教学的重要辅助工具。学生可以在模拟患者上完成操作训练，导板和打印模型保证了操作的精准性和可重复性，缩短了学习周期。同时，学生通过数字化影像反馈能够实时看到操作效果，如牙体预备的精度、种植体位置和牙齿矫治的移动情况，从而直观理解操作与效果之间的关系。

远程教学与协作也是数字化技术带来的显著优势。通过数字化教学平台，教师可以远程监控学生操作，提供即时点评和指导；学生之间也可以通过虚拟案例讨论和操作分享，实现跨地域的学习交流。特别是在疫情或特殊情况下，远程教学保证了口腔教育的连续性，同时拓展了教育资源的覆盖范围。

在考核与评价方面，数字化技术提供了客观、量化和标准化的评估手段。传统的实操考核主要依赖教师主观评价，存在一定的偏差。而通过数字化系统记录操作时间、精度、力度和完成度，可以生成详尽的评估报告，使考核更加公正和科学。这种量化评价还可用于长期跟踪学生技能发展，支持学术研究和教育改革。

数字化影像在口腔种植与修复领域应用广泛。例如，通过 CBCT 数据进行三维重建，医生能够准确测量牙槽骨厚度、骨密度以及神经走行位置，为种植体选择和定位提供可靠依据^[27]。结合三维打印技术，可制作导板，确保种植手术精确实施。这种数字化流程不仅减少了手术误差，也显著提高了手术安全性和成功率。

在口腔正畸领域，数字化影像技术同样带来革

命性变化。通过三维扫描和虚拟设计，医生可以精确评估牙列拥挤、咬合异常及颌骨形态^[28]。基于数字模型的模拟矫治方案，能够提前预测治疗效果并优化矫治器设计，提高患者满意度。同时，数字化影像可与口腔软件系统联动，生成个性化矫治计划，实现从诊断到治疗的全流程数字化管理。

数字化口腔影像技术还拓展了远程诊疗和教育的应用。医生可通过数字模型与远程专家进行协作讨论，实现异地会诊^[29]。同时，影像数据可用于教学和科研，使学生和研究人员能够直观观察口腔结构和病变特征，提升学习效率和科研能力。虚拟仿真结合影像数据，能够模拟复杂手术操作，为教学和培训提供安全、高效的环境。

此外，数字化影像与人工智能技术的结合，为口腔疾病早期诊断提供了新路径^[30]。基于影像的 AI 算法可以自动识别牙齿病变、牙周炎及颌骨异常，减少人工诊断的误差，提高诊断效率。通过大数据分析 with 智能辅助，医生能够进行个性化治疗方案设计，实现精准化口腔医疗。

综上所述，数字化口腔影像与诊断技术通过三维重建、数字扫描、三维打印及人工智能等手段，极大提升了临床诊疗精度、手术可预测性及教学科研水平。随着技术不断成熟，数字化影像在口腔医学中的应用将更加广泛，为临床、教育和科研提供强有力的支持。

5 数字化口腔治疗与手术应用

数字化技术在口腔治疗与手术中正逐渐成为核心工具，为临床操作的精度和效率提供了重要保障。卷积神经网络等人工智能算法在口腔影像分析中被广泛应用，可自动识别牙齿及周围组织的病变特征，为临床诊断和治疗提供智能辅助^[31]。这种技术在牙体牙髓病、牙周病和颌面外科等多个领域均显示出显著的应用潜力。

三维打印技术在牙体牙髓治疗中具有重要意义^[32]。通过打印高精度牙齿模型，医生可以在术前进行模拟操作，评估根管形态、牙髓腔结构及治疗难度。这种模拟训练不仅提高了临床操作熟练度，也减少了真实操作中的风险，尤其在复杂根管治疗中表现出优越性。

在口腔正畸领域，三维打印辅助的矫治器制作和数字化分析实现了从诊断到治疗的全流程优化^[33]。

数字化牙模和扫描数据能够精确设计矫治器,缩短治疗周期,提升治疗效果。通过虚拟矫治模拟,医生可以提前预测牙齿移动轨迹,优化矫治方案,提高患者满意度。

口内数字化印模技术为种植和修复提供了精准数据支持^[34]。通过高精度扫描,数字印模能够准确记录牙齿和牙龈形态,为种植体、牙冠及牙桥设计提供可靠依据。与传统硅橡胶印模相比,数字印模减少了误差,提高了修复体的贴合度和舒适性,从而提升整体治疗质量。

计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)技术在瓷贴面及美学修复中得到广泛应用^[35]。通过数字化设计,医生可以根据患者牙齿形态和面部特征制定个性化美学方案。CAD/CAM技术的引入不仅提升了修复体精度,也显著缩短了制作周期,为临床提供高效可控的解决方案。

在牙体牙髓治疗中,数字化技术的应用带来了前所未有的精确性。通过口内数字扫描和三维重建,医生可以详细观察牙齿的形态、龋洞分布以及根管走向,实现个性化的诊疗方案设计。在根管治疗过程中,数字化影像能够实时显示根管内部的操作情况,使医生准确控制器械的进针深度和方向,降低穿孔和误操作风险。同时,虚拟模拟和计算机辅助设计的结合,可提前规划牙体预备量和修复体形态,提高操作的可预测性。

在口腔种植领域,数字化技术发挥了重要作用。通过数字化口内扫描、三维CT成像和计算机辅助设计,医生能够精准评估骨量、骨密度及种植位点,为每位患者制定个性化种植方案。数字化导板和虚拟手术模拟,使种植体位置、角度和深度精准可控,大幅度降低了术中误差和手术风险。同时,术前模拟可以预测术后美学效果,为种植修复提供更可靠的保障。

数字化正畸诊疗也得到了快速发展。通过数字化口内扫描和三维重建,医生能够精确测量牙列间隙、牙齿倾斜角度及颌骨关系,从而设计个性化矫治方案。计算机辅助设计(CAD)和三维打印技术可以制作透明矫治器或固定矫治器导板,实现分阶段、精准控制牙齿移动。数字化矫治不仅缩短了治疗周期,还提高了矫治效果的可预测性,同时为患者提供更加舒适、美观的矫治体验。

在口腔修复领域,数字化技术优化了传统印模和修复体制作流程。数字化口内扫描取代传统硅橡胶印模,使取模更加快捷、舒适,并能实时生成三维牙列模型。基于CAD/CAM技术的修复体设计,可以精准控制牙冠形态、咬合关系和邻牙接触情况,提升修复体的适配性和美学效果。同时,数字化制作过程减少了人工操作误差,提高了生产效率和质量稳定性。

在口腔颌面外科中,数字化技术的优势尤为突出。通过三维影像重建和虚拟手术规划,医生可以在手术前对复杂颌面畸形、颌骨缺损和肿瘤切除进行精确模拟,优化切口设计和骨移植方案。数字化手术导航系统可以实时指导手术操作,提高精确度和安全性。术后,通过数字化影像评估手术效果和修复体位置,实现闭环管理,显著提升治疗质量。

此外,三维打印技术在牙体牙髓病学的临床应用中不断拓展^[36]。无论是牙髓手术、根管填充还是复杂牙体重建,数字化三维模型和打印材料的结合使手术操作更加精准、安全。医生可以通过术前模拟和虚拟规划,优化操作流程,降低术中风险,提高治疗成功率。

综上所述,数字化口腔治疗与手术应用通过人工智能辅助、三维打印、数字印模及CAD/CAM技术,实现了从诊断到治疗的全流程优化。该技术不仅提高了治疗精度和效率,也为复杂操作提供了可靠的术前规划工具,显著提升了患者的治疗体验与安全性。

6 数字化口腔未来发展趋势

随着数字化技术在口腔医学的深入应用,未来的发展趋势呈现出高度智能化、集成化和个性化的特点。人工智能、大数据、虚拟现实(VR)与增强现实(AR)等前沿技术的融合,将极大地改变临床诊疗、教育培训及科研模式^[37]。

在影像分析与诊断领域,人工智能算法的不断优化将提升疾病识别的准确性和速度。未来,基于深度学习的口腔影像分析系统可以实时识别牙体、牙周及颌面结构的异常变化,并提供智能诊疗建议。这不仅减轻了医生的工作负担,还能够实现早期病变的精准发现,从而提高口腔疾病防治效果。

虚拟现实和增强现实技术在口腔医学教学和手术规划中将发挥更大作用。通过沉浸式虚拟场景,

医学生和初学者可以进行手术模拟和操作训练，而无需承担实际临床风险^[38]。同时，AR 技术可在真实手术环境中叠加三维影像和导板信息，为复杂手术提供导航支持，使手术精度和安全性进一步提升。

三维打印技术在未来口腔修复、种植和牙体重建中将更加普及。高精度打印材料的研发和打印工艺的优化，使个性化义齿、牙冠及导板的生产周期缩短，贴合度和功能性显著提高^[39]。未来，数字化与打印技术的结合有望实现即刻修复和个性化治疗，满足患者多样化需求。

数字化口腔技术的发展还将推动大数据与智能分析的应用。通过汇集大量临床数据、影像资料和治疗结果，口腔医疗机构可以建立完善的智能分析系统，实现疾病预测、疗效评估和个性化治疗方案设计^[40]。同时，大数据技术有助于口腔流行病学研究和精准公共卫生干预，提高口腔健康管理水平。

此外，数字化技术与纳米材料的结合为口腔治疗提供新的方向。纳米复合羟基磷灰石等新型材料在牙体修复和牙齿再矿化中的应用，将与数字化诊疗系统相互配合，实现精准、可控和高效的口腔治疗。这种跨学科融合为未来数字化口腔医疗的创新发展提供了坚实基础。

总体而言，数字化口腔医学的未来发展趋势将以智能化、精准化、个性化为核心。人工智能、虚拟现实、三维打印、大数据及新型材料的协同应用，将不断提升诊疗效率和质量，为患者提供更加安全、便捷和个性化的口腔医疗服务。随着技术成熟和应用推广，数字化口腔医疗有望成为现代口腔医学的标准模式，为临床实践、教育培训和科研发展注入持续动力。

7 结论与展望

数字化口腔医学通过影像分析、三维打印、CAD/CAM、人工智能、虚拟现实及大数据技术，实现了从诊断、治疗到科研、教育的全流程优化。首先，在诊疗精度方面，数字化口腔技术显著提高了牙体牙髓、种植、正畸和颌面外科手术的准确性和可控性。通过数字化印模、三维模型和虚拟手术规划，医生可以在术前充分评估复杂病例，制定个性化治疗方案，从而减少手术风险和提升疗效。

其次，在教育与培训方面，数字化虚拟仿真系统和沉浸式教学工具，使医学生和初学者能够在安

全环境下掌握临床技能。数字化教学不仅提供了标准化训练平台，也为临床技能评价和继续教育提供了量化依据，提升了教学效率和质量。

再者，在科研与管理方面，数字化口腔技术与大数据、智能分析结合，推动了精准医疗的发展。通过整合患者影像、治疗记录及生物数据，临床研究可以更高效地进行疾病模式分析、疗效评估和预测性研究，为个性化医疗方案提供科学支持。同时，数据驱动的管理模式有助于公共口腔健康干预和资源优化配置。

未来，数字化口腔医学将继续向智能化、集成化和个性化方向发展。人工智能将承担更多辅助诊疗和决策支持功能，虚拟现实和增强现实将广泛应用于临床培训和手术导航，三维打印与新型材料结合将实现个性化、精确且高效的口腔修复。与此同时，数字化口腔技术的国产化、标准化和临床推广仍面临机遇与挑战，技术研发、临床应用规范及人才培养将是关键支撑。

总体而言，数字化口腔医学不仅显著提升了诊疗精度与效率，也推动了口腔医学教育和科研的创新发展。随着技术成熟和广泛应用，未来数字化口腔医疗将成为行业标准，为临床实践提供更安全、高效、个性化的服务，并对提升整体口腔健康水平和患者满意度产生深远影响。

参考文献

- [1] Alqarawi K F ,Makramani A A M B ,Gangadharappa P , et al. Comparative Assessment of the Influence of Various Time Intervals upon the Linear Accuracy of Regular, Scannable, and Transparent Vinyl Polysiloxane-Based Bite Registration Materials for Indirect Dental Restoration Fabrication[J]. Polymers,2024,17(1):52-52.
- [2] Emodi O ,Zeineh N ,Biton K A , et al. Digital planning and decision making for severe congenital oligodontia with Angle class-III malocclusion - Case series.[J].Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery,2024,53(4): 318-324.
- [3] AlMubarak M A. Comparison local minocycline hydrochloride delivery and antimicrobial photodynamic therapy as adjuncts to mechanical debridement for the

- treatment of peri-implant mucositis: A randomized controlled trial.[J].Photodiagnosis and photodynamic therapy,2024, 51104461.
- [4] Korsós A S ,Kibleur P ,Josipovic I , et al. Manual versus reciprocating endodontic debridement of equine cheek teeth: Micro-computed tomography findings.[J].Equine veterinary journal,2024,57(4):1087-1098.
- [5] Lee J S ,Diep P C ,Arman S , et al. Integrating Medical Acupuncture and Intraoral Dry Needling Protocol for Radiation-Induced Xerostomia[J].Journal of the California Dental Association,2024,52(1).
- [6] Anas M ,Ullah I ,Sultan U M . Embracing the Future: Integrating Digital Dentistry into Undergraduate Dental Curriculum[J].Journal of the California Dental Association, 2024,52(1).
- [7] Seif A ,Jarry R C ,Chauvel M A . The New ‘Golden Age’ of Dentistry: A Highly Desirable Profession with Unprecedented Global Opportunities in Industry Settings[J].Journal of the California Dental Association,2024,52(1).
- [8] Rokaya D ,Jaghshi A A ,Jagtap R , et al. Artificial intelligence in dentistry and dental biomaterials[J].Frontiers in Dental Medicine,2024,51525505-1525505.
- [9] Roselli L ,Mele F ,Suriano C , et al. Palatal rugae assessment using plaster model and dental scan: a cross-sectional comparative analysis[J].Frontiers in Oral Health,2024, 51456377-1456377.
- [10] Jr M A J ,Klaus K . Implementing 3D Facial Scans into the Full Arch Digital Workflow: A Predictable Pathway for Surgical and Prosthetic Success.[J].Oral and maxillofacial surgery clinics of North America,2024,37(2):273-286.
- [11] 蒋文翔,方林仙,吕丽华,等. 数字化三维模型在乳牙氧化锆预成冠牙体预备教学中的应用[J].浙江医学教育,2024, 23(06):356-360.
- [12] 张艾崧,曾涵柔,李长芳,等. 数字化技术辅助牙隐裂检测研究进展[J].中国实用口腔科杂志,2024,17(06):722-726+732.
- [13] 林宇轩,张思慧,陈江. 数字化口内扫描在口腔种植中应用精度的研究进展[J].中国实用口腔科杂志,2024,17(06): 733-738.
- [14] 戴巧珍,李想,曾叶渐,等. 数字化口腔虚拟仿真培训系统在阻生下颌第三磨牙拔除教学中的应用[J].中国继续医学教育,2024,16(22):136-140.
- [15] 刘凯凯,张磊鑫,汤伟伟,等. 数字化导板在拔除下颌阻生第三磨牙的临床应用进展[J].临床口腔医学杂志,2024, 40(11):700-703.
- [16] 王翔宇. 口腔数字化医疗技术国产化的机遇与挑战[J].实用医技杂志,2024,31(11):761-765.
- [17] 郭英胜,邓蔚,徐晚霞,等. 数字化和人工智能技术在口腔医学中的应用进展[J].中国现代医生,2024,62(31):121-125.
- [18] 刘青明,张静,郝鹏杰,等. 数字化时代口腔椅旁教学改进策略分析[J].继续医学教育,2024,38(10):54-57.
- [19] 郑晓娟,李志文,李艳,等. 自主式口腔种植机器人术中常见故障及应对策略[J].机器人外科学杂志(中英文),2024, 5(05):898-902.
- [20] 刘飞,岳源. 数字化评价系统在口腔修复科住院医师规范化培训中的应用[J].北京口腔医学,2024,32(05):349-352.
- [21] 游恺,张宁. 数字化口内扫描技术的研究进展[J].北京口腔医学,2024,32(05):376-380.
- [22] 袁崑峰,肖桃. 数字化三维重建模型在口腔医学中的应用[J].电子技术,2024,53(10):98-99.
- [23] 刘瑞敏,黄美香,程仲茂,等. 膜片定位牙龈测量CBCT影像法的精准性探究[J].福建医药杂志,2024,46(06):17-20+2.
- [24] 宋雨菲,程焕芝,范海霞,等. 3D 打印技术在口腔医学、颌面外科修复重建中的作用与优势[J].中国组织工程研究, 2025, 29(22): 4823-4831.
- [25] 徐昕恺,陈虎,王相,等. 口腔数智仿生诊疗技术研究应用进展[J].中国实用口腔科杂志,2024,17(04):406-413.
- [26] 王瑶,郑亨元,冯海,等. 3D 打印技术在口腔医学教学模型中的应用进展[J].实用口腔医学杂志,2024,40(02):289-296.
- [27] 贺志文,张清泉,刘青梅,等. 口腔医学大数据智能分析[J].中国药物与临床,2024,24(04):264-269.
- [28] 黄东宗,毕成,李鸿波,等. 大数据在口腔医学中的应用研究进展[J].中华老年口腔医学杂志,2023,21(04):198-203.
- [29] 李柯晨,许乐瑶,邱春杏,等. 数字化技术在可摘局部义齿修复临床应用的研究进展[J].中华老年口腔医学杂志,2023,21(02):111-114+128.

- [30] 唐维茂,胥一尘.虚拟现实与增强现实技术在口腔修复教学中的应用[C]//中华口腔医学会口腔医学教育专业委员会.2022年中华口腔医学会口腔医学教育专业委员会第十七次学术年会论文集.四川大学华西口腔医学院,2022:63.
- [31] 程一彤,武峰.卷积神经网络在口腔医学影像领域的应用现状[J].中华老年口腔医学杂志,2022,20(04):233-238.
- [32] 陆俊卿,王倩婷.3D打印在牙体牙髓领域的研究进展与应用[J].临床口腔医学杂志,2022,38(05):316-318.
- [33] 张昀,赵红梅,陈鑫琳,等.3D打印口腔正畸应用研究进展[J].化工管理,2021,(32):29-33.
- [34] 王培.口内数字化印模技术在口腔种植中的应用进展[J].中国校医,2021,35(06):464-466.
- [35] 邢文忠.计算机辅助设计与制作瓷贴面美学性能评价及临床应用.辽宁省,大连市口腔医院,2019-04-01.
- [36] 夏文君,张灵,唐子圣.3D打印技术在牙体牙髓病学中的应用[J].临床口腔医学杂志,2018,34(07):442-444.
- [37] 朱丽莎,陈宇明,李鹤飞,等.3D打印用光敏树脂材料及其在口腔医学领域的应用[J].中国组织工程研究,2018,22(06):979-984.
- [38] 马文利.儿童龋齿诊断与治疗的新进展[C]//中国国际科技会议中心,上海交通大学医学院附属第九人民医院,上海博星展览有限公司.第十七届中国国际口腔器材展览会暨学术研讨会论文集.北京大学口腔医学院,2013:52.
- [39] 赵钦民.数字化技术在口腔医学中的应用进展[C]//中国国际科技会议中心(China International Conference Center for Science & Technology),上海交通大学医学院附属第九人民医院(Ninth People's Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University).第十二届中国国际口腔器材展览会暨学术研讨会论文集.第四军医大学口腔医院,2008:93.
- [40] 马旭东,王健平.纳米复合羟基磷灰石在口腔治疗中的应用[J].中国组织工程研究与临床康复,2008,(01):117-120.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS