

人工智能技术在口腔种植影像诊断与设计中的应用研究进展

顾前程^{1,2,3}

1. 安徽医科大学口腔医学院, 安徽 合肥 230032
2. 安徽医科大学附属口腔医院, 安徽 合肥 230032
3. 安徽省口腔疾病研究重点实验室, 安徽 合肥 230032

DOI: 10.61369/ETR.2026260014

摘 要 : 口腔种植术前影像评估和方案设计的精准度要求很高。传统模式高度依赖于医师的主观经验, 其术前影像评估和方案设计缺乏客观标准, 诊断流程繁琐, 耗时长, 不同医师制定的方案可能存在较大差异。本研究主要围绕人工智能技术在种植影像诊断与方案设计中的应用展开, 重点讨论了四个层面的实施策略, 分别是多模态影像融合, 自动化方案生成, 人机协同决策和规范化培训。研究显示, 深度学习算法显著提升了解剖结构识别与骨量评估的准确性, 智能化方案设计系统有效降低了种植失败风险, 人机协作模式保留了医师的临床判断能力, 同时还提高工作效率。该研究使人工智能技术赋能于口腔种植, 推动诊疗模式从“经验驱动”向“数据驱动”转型, 同时提供了相关理论参考及实践路径。

关 键 词 : 人工智能 (AI); 口腔种植; 影像诊断; 种植设计; 深度学习; 人机协同

Research Progress on the Application of Artificial Intelligence Technology in Imaging Diagnosis and Design of Oral Implantology

Gu Qiancheng^{1,2,3}

1. School of Stomatology, Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230032
2. Affiliated Stomatological Hospital of Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230032
3. Key Laboratory of Oral Diseases Research in Anhui Province, Hefei, Anhui 230032

Abstract : High precision is required for preoperative imaging evaluation and treatment planning in oral implant therapy. Traditional clinical methods rely heavily on individual clinician experience, lacking unified objective benchmarks for preoperative image analysis and implant planning. The diagnostic workflow is complex and time-consuming, and treatment plans often differ considerably across practitioners. This paper examines the application of artificial intelligence to imaging diagnosis and planning for dental implants, exploring four practical strategies: multimodal image fusion, automated plan generation, human-machine collaborative decision-making, and standardized professional training. The results indicate that deep learning algorithms significantly enhance the accuracy of anatomical feature identification and bone mass assessment. Intelligent planning systems effectively reduce the risk of implant failure. The human-machine collaboration mode preserves clinicians' independent judgment while improving overall work efficiency. This study applies artificial intelligence to advance oral implant care, promoting a shift from experience-based to data-based clinical decision-making, and offers both theoretical references and actionable approaches for related clinical practice.

Keywords : artificial intelligence (AI); oral implantology; imaging diagnosis; implant design; deep learning; human-machine collaboration

引言

口腔种植术是当前修复牙列缺损及缺失的主要方法, 手术的成功率很大程度上, 高度依赖于术前诊断的准确性与方案设计的合理性。近年来随着锥形束 CT 和口内扫描这类数字化影像技术逐渐普及, 虽然给术前诊断与评估提供了许多三维数据, 但同时也导致了信息量的过载与解读难度上升等新问题的产生。在临床实践中, 不同医师对同一影像的判读结果差异显著, 尤其在骨量不足或解剖变异等复杂病例中, 医师主观判断的局限性尤为突出^[1]。近年来, 以深度学习为代表的人工智能技术, 在医学影像分析领域取得了显著进展,

它以处理自动分割和目标检测，还有量化测量工作时，速度和一致性都远超过人工。将人工智能技术引入口腔种植领域，从根本上改变了传统诊断和设计流程。本文系统梳理了人工智能在口腔种植影像诊断与方案设计中的应用现状，提出具体可行的实施策略，讨论技术发展中所需要面对的问题，以及后续相关的研究进展方向^[2-3]。

一、人工智能技术在口腔种植影像诊断与设计中的应用的意义

（一）显著提升影像诊断的精度与效率

传统口腔种植的影像诊断判读，大多要依靠医师的个人经验。面对 CBCT 等三维影像中复杂的解剖影像，医师主观判读上难免存在偏差。人工智能算法可以在短时间内，对海量影像数据分层处理，精准定位下牙槽神经管，上颌窦底及骨量不足区域，并自动完成骨密度评估与骨质量分级。这不仅大幅度缩短了术前诊断时间，更从根本上降低了人为疏漏导致的误判风险。在种植方案制定中，这种客观、可重复的诊断能力确保了每位患者都能获得标准化的术前评估结果，从而显著提升后续手术的安全性与可预测性^[4]。

（二）实现种植方案的个性化智能设计

种植体所植入的角度、深度及位置，将直接影响到种植体的长期稳定性。确定这些参数的时候，需要将骨质与骨量条件，咬合关系，还有美学效果需求均纳入至多维度的量化评估。人工智能技术可以依托患者的三维影像数据，还有口内扫描信息，自动化生成多套备选种植方案，还会将对应每套方案的应力分布（生物力学），骨结合预期（解剖学与生物学）及美学效果（数字化微笑设计）均给予量化评估^[5]。医师不用再完全依靠手工测量和临床经验推算，借助 AI 评估的数据做出更科学的医学决策。这种人机协同模式把种植设计由原来的经验驱动转换为数据驱动，最终达成个性化、微创化、功能与美学兼顾的种植治疗目标。

（三）推动口腔种植教育与临床实践的深层变革

人工智能进入口腔种植领域，正在深刻改变传统的知识传播与技能训练方式。在教学环节中，借助 AI 构建的虚拟仿真系统，学生可以反复演练各种种植方案的设计。系统能够即时识别操作中的偏差，并提供明确的调整指引，使学习者在避免临床风险的前提下，快速积累处理实际种植术中与术后问题的经验。在日常临床工作中，AI 可以自动完成种植流程中大量重复且缺乏创造性的环节，例如测量、标注以及方案比较^[6-8]。这样一来，医师便能将更多精力用于复杂病例的综合判断以及与患者的充分沟通。沿着这一趋势发展，口腔种植将逐步转变为依托智能系统的诊疗工作，而不再仅仅依赖医师的个人经验与技艺。整个学科的服务质量，以及普通患者获得相关诊疗服务的可及性，都将得到显著提升。

二、人工智能技术在口腔种植影像诊断与设计中的应用的策略

（一）构建多模态影像数据融合与智能分析平台

口腔种植的术前诊断需要用到锥形束 CT、全景片、口内扫

描、面部照片以及多种影像数据。每种数据承载的信息维度不同，单独使用任何一种都很难全面呈现患者的口腔状况。现在主流做法是搭建一套能自动对齐多源影像数据，同时完成数据融合的智能平台^[9]。在此操作过程中，该平台会先通过深度学习算法，对不同设备采集的影像完成空间配准。把 CBCT 的三维骨组织信息，和口内扫描所获取的软组织表面形态精准叠加，让医师可以在同一个坐标系下同时观察到骨量、骨密度、相关神经管走向，牙龈厚度和咬合关系。在此之后，平台会用卷积神经网络对融合完成的数据逐层做语义分割，自动标注出上颌窦底，下牙槽神经管，颧孔和鼻底等关键解剖结构，还会对各区域的骨高度，骨宽度以及骨密度做量化测量。这种做法省去了过去医师手动在多张影像之间反复切换比对步骤，全程可自动完成，原本平均耗时三十分钟以上的诊断工作，现在只需要几分钟就能完成，还消除了人为配准误差带来的测量偏差。对于基层口腔医疗机构来说，接入这一平台后，就算缺少经验丰富的种植专家，也能得到接近专家水平的术前影像评估结果，可有效缩小不同层级医疗机构之间的诊断能力差距，让优质种植医疗资源能覆盖到更多地区，服务更多人群^[10]。

（二）开发基于深度学习的自动化种植方案生成系统

传统种植方案的设计高度依赖医师经验。种植体要选品牌，确定种植直径与长度，还要规划植入角度、深度和间距，每一步都需要医师在脑中完成空间计算与力学推演^[11]。人工智能技术介入后，整个过程可以整理成可计算、可优化的算法流程。该策略需训练一个深度生成模型，学习样本来源于大量成功种植手术病例，模型可根据患者的三维影像数据，自动输出多套可行的种植方案。每套方案会给出种植体的精确三维坐标、植入角度和深度参数，同时给出附带骨结合率的预测值，以及周围重要结构的安全距离评估。系统还可加入有限元分析的简化算法，针对每套方案，快速计算模拟口内正中及侧方咬合时的应力分布，最终筛选出应力集中最小、长期稳定性最优的方案推送给医师^[12]。这一策略改变了原本“一人一案”全凭经验的设计模式，转而采用数据驱动、多方案比选的新模式，大幅降低了因设计不当所引发的种植失败的可能性。该系统记录的每一套方案和对应该临床结局数据，会持续送回训练集，算法会随着病例积累不断自我优化，形成良性循环^[13]。

（三）建立人机协同的临床决策支持与质量控制机制

人工智能用于口腔种植，不是要取代医师，而是作为帮助医师放大能力的工具。接下来要做的，是搭建人机协同进行决策的流程，以及与之配套的质量管理体系。在实际临床操作中，AI 系统完成影像分析并生成初步方案后，不会直接输出最终结果，而是将整理好的内容制作成可视化报告，提交给手术医师。报告中需明确说明 AI 判读的可信程度，关键测量数据可能存在的误差范

围,以及需要特备关注的风险因素。医师获取报告后,再结合患者的全身健康情况,口腔卫生状态,经济承受能力和个人意愿,进行重新梳理与判断,决定是直接采纳 AI 方案,进行适当调整,还是完全推翻重做。这一流程既能充分利用 AI 处理数据,识别规律的优势,也能保留医师在面对复杂情况时的临床判断能力,和对患者的人文关怀^[14]。此外,系统还需引入质量控制模块,其操作流程包括:将每例种植病例从术前诊断、方案设计、术中操作到术后随访的全部信息完整记录下来,便于后续追溯。当出现偏离标准流程的环节时,系统会自动识别,并给出调整建议。这种闭环式的质量管理,能够逐步提升整个科室的种植成功率,同时也能将把单个医师的宝贵经验,转化为可复制、可推广的标准化操作流程^[16]。

（四）推进人工智能种植技术的规范化培训与伦理治理

为使人工智能技术在口腔种植领域真正扎根并实现可持续发展,需要在规范化培训和伦理监管两个层面建立相关制度保障。在培训层面,当前大多数口腔医学生及住院医师,尚未系统地接受过人工智能工具使用的培训,引入人工智能技术后,可能会出现两种极端情况:“有工具却不会用”或“过度依赖此工具”^[17]。因此,有必要将人工智能应用课程纳入口腔医学教育体系,内容不仅涵盖人工智能软件的操作方法,还应包括解析人工智能输出结果的逻辑判读,如何看待人工智能的局限性,以及如何识别异

常情况。在临床培训中,可采用“先模拟后实践”的方式,使受训者在虚拟仿真环境中反复练习由人工智能辅助的种植方案规划,直至形成稳定的人机协同思维模式。在伦理治理层面,必须明确人工智能在种植诊疗中的法律责任归属,当人工智能辅助诊断导致医疗事故时,目前尚不明确责任应由开发者、医疗机构还是医生本人承担。此外,患者影像数据的收集、存储及使用,必须严格遵循知情同意原则,以防止数据泄露与滥用。只有在培训体系与伦理框架同步建立之后,人工智能才能在口腔种植学领域实现安全、可持续的深度发展^[18]。

三、结论

人工智能技术正在重塑口腔种植学中影像诊断成像与方案设计的工作流程。多模态数据可实现智能融合,种植方案能自动化生成,人机协作可建议新的临床决策机制。人工智能提升了诊断的客观性与治疗设计的科学严谨性,同时有助于缩小基层医疗机构与上级医院之间的技术差距。然而,该技术的临床实施仍面临若干实际挑战,包括算法可解释性不足,伦理责任界定模糊,以及专业人才储备不足。为促进人工智能与口腔种植学的深度融合,并为更多患者提供更优质的诊疗服务,必须在技术优化、制度建设与教育培训三个关键方向上协同推进。

参考文献

[1]James JR, Kharat A, Chinnakutti S, Kamble S, Mandal M, Das A. The Future of Dental Implants: A Narrative Review of Trends, Technologies, and Patient Considerations. Cureus. 2025 Aug 18;17(8):e90380.

[2]Sebrango V G ,Anitua E ,Mac í a l , et al. The role of artificial intelligence in implant dentistry: a systematic review.[J].International journal of oral and maxillofacial surgery, 2025, 54 (11):1098–1122.

[3]Karnik AP, Chhajer H, Venkatesh SB. Transforming Prosthodontics and oral implantology using robotics and artificial intelligence. Front Oral Health. 2024 Jul 29;5:1442100.

[4]Altalhi AM, Alharbi FS, Alhodaithy MA, Almarshedy BS, Al-Saaib MY, Al Jfshar RM, Aljohani AS, Alshareef AH, Muhayya M, Al-Harbi NH. The Impact of Artificial Intelligence on Dental Implantology: A Narrative Review. Cureus. 2023 Oct 30;15(10):e47941.

[5]Almăşan O, Leucuţa DC, Hedeşiu M, Mureşanu S, Popa ŞL. Temporomandibular Joint Osteoarthritis Diagnosis Employing Artificial Intelligence: Systematic Review and Meta-Analysis. J Clin Med. 2023 Jan 25;12(3):942.

[6]Al-Rawi N, Sultan A, Rajai B, Shuaeeb H, Alnajjar M, Alketbi M, Mohammad Y, Shetty SR, Mashrah MA. The Effectiveness of Artificial Intelligence in Detection of Oral Cancer. Int Dent J. 2022 Aug;72(4):436–447.

[7] 赵鹏, 刘雯丽, 祝非凡, 等. 人工智能在口腔种植修复中的研究进展、应用与挑战 [J]. 南京医科大学学报 (自然科学版), 2025, 45(12): 1709–1718.

[8] 郭泽方. 钛合金薄壁多孔复合结构口腔种植体设计与力学性能分析 [D]. 大连交通大学, 2025.

[9] 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]. 中国人民解放军空军军医大学, 2025.

[10] 朱元希. 基于深度学习构建 CBCT 影像种植体周骨缺损分度分类诊断模型研究 [D]. 南方医科大学, 2025.

[11] 朱泓. 机器人辅助种植术与传统种植术对前牙区牙列缺损患者种植效果对比 [D]. 安徽医科大学, 2025.

[12] 凌莉, 陈敏红, 黄泽伦. 数字化口腔种植中 CBCT 影像智能分析方法的研究进展 [J]. 现代医用影像学, 2024, 33(12): 2373–2376.

[13] 李晨玉. 基于大样本病例数据库分析口腔种植治疗效果的临床回顾性研究 [D]. 中国人民解放军空军军医大学, 2024.

[14] 郑懿诺, 孙沐毅, 张虹云, 等. 深度学习在口腔种植影像学中的应用: 研究进展与挑战 [J]. 数据与计算发展前沿 (中英文), 2024, 6 (3): 41–49.

[15] 张莉丽. 动态导航与静态导板辅助口腔种植手术精度的体外研究 [D]. 皖南医学院, 2024.

[16] 付爽. 静态导板与动态导航应用于无牙颌种植手术的回溯性队列研究及病例报告 [D]. 武汉大学, 2023.

[17] 朱可石, 廖安琪, 余优成. 机器学习在口腔种植学中的应用研究进展 [J]. 国际口腔医学杂志, 2023, 50(4): 491–498.

[18] 董思远. 基于增强现实技术的口腔种植手术辅助系统研发 [D]. 福州大学, 2023.