

[DOI] 10.12016/j.issn.2096-1456.2022.11.010

· 综述 ·

# 人工智能在口腔临床诊疗中的应用进展

李畅<sup>1</sup>, 黄翠<sup>1,2</sup>, 杨宏业<sup>1,2</sup>

1. 武汉大学口腔医学院, 口腔基础医学省部共建国家重点实验室培育基地和口腔生物医学教育部重点实验室, 湖北 武汉(430079); 2. 武汉大学口腔医院修复科, 湖北 武汉(430079)

**【摘要】** 随着大数据时代的到来,人工智能在医疗领域的应用受到广泛关注。人工智能具有客观、精确、微创、省时、高效等诸多优势,将其与口腔临床诊疗相结合,能够提高医生工作效率、节约医疗资源,拥有巨大的应用前景。目前,人工智能已逐步融入口腔修复、口腔颌面外科、正畸、牙体牙髓及牙周病等多个学科:人工智能系统可实现自动备牙、自动排牙及种植体植入;深度学习可用于辅助诊断上颌窦炎症、预测拔牙治疗并发症及辅助截骨手术精确化等,并为口腔头颈肿瘤的诊断、治疗及预后分析提供重要依据;人工智能为头影测量分析带来的突破及对于患者面部吸引力的评估,推进了智能化、个性化正畸治疗的发展;人工智能技术对于影像学等信息的深度学习与分析也促进了牙体、牙髓治疗及牙周病诊疗的完善性与精确性。人工智能技术使口腔临床诊疗由数字化到自动化、智能化的跨越成为可能,其在口腔领域的应用潜力不可小觑。本文将基于人工智能技术基本概念,重点介绍人工智能在口腔各专业领域的应用进展,并简要分析其应用的优势、问题及展望。

**【关键词】** 人工智能; 口腔临床医学; 机器学习; 深度学习; 神经网络; 自动化; 智能化; 精准医学; 大数据

**【中图分类号】** R78 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-1456(2022)11-0821-06

**【引用著录格式】** 李畅, 黄翠, 杨宏业. 人工智能在口腔临床诊疗中的应用进展[J]. 口腔疾病防治, 2022, 30(11): 821-826. doi:10.12016/j.issn.2096-1456.2022.11.010.

**Development of artificial intelligence application in oral clinical diagnosis and treatment** LI Chang<sup>1</sup>, HUANG Cui<sup>1,2</sup>, YANG Hongye<sup>1,2</sup>. 1. The State Key Laboratory Breeding Base of Basic Science of Stomatology & Key Laboratory of Oral Biomedicine Ministry of Education, School of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Department of Prosthodontics, Hospital of Stomatology, Wuhan University, Wuhan 430079, China.

Corresponding author: YANG Hongye, Email: yanghongye@whu.edu.cn, Tel: 86-15972146566

**【Abstract】** With the arrival of the era of big data, increasing attention has been drawn to the application of artificial intelligence (AI) in the medical field. AI has many advantages, such as objectivity, accuracy, minimal invasiveness, time savings and high efficiency. Therefore, the combination of AI with dental diagnosis and treatment can help dentists improve work efficiency and save medical resources, offering potential significant benefits for dental application. At present, AI has been gradually integrated into prosthodontics, oral and maxillofacial surgery, orthodontics, endodontics and periodontics. The AI system can realize automatic tooth preparation, automatic tooth arrangement and implantology. Deep learning can be used to assist in diagnosing maxillary sinus inflammation, predicting the complications of tooth extraction and improving the accuracy of osteotomy. The AI system can also provide significant clues for the diagnosis, treatment and prognosis of oral and maxillofacial tumors. The breakthrough brought by AI in cephalometric and the assessment of facial attractiveness of patients has promoted the development of intelligent and personalized orthodontic treatment. Deep learning and analysis of medical images also promote the accuracy of root canal therapy as well as the diagnosis and treatment of periodontal diseases. AI technology has realized the leap from digitalization to automation

**【收稿日期】** 2021-07-10; **【修回日期】** 2022-01-14

**【基金项目】** 湖北省技术创新重大专项(2019ACA139)

**【作者简介】** 李畅, 本科, Email: lichang990521@whu.edu.cn

**【通信作者】** 杨宏业, 副主任医师, 博士, Email: yanghongye@whu.edu.cn, Tel: 86-15972146566



微信公众号

and intelligence in oral diagnosis and treatment, and its application potential in the oral field should not be underestimated. Based on the concepts of AI, this paper will focus on the application of artificial intelligence in various oral clinical fields and briefly introduce its advantages, problems and future.

**【Key words】** artificial intelligence; clinical science of stomatology; machine learning; deep learning; neural network; automation; intelligentize; precision medicine; big data

**J Prev Treat Stomatol Dis, 2022, 30(11): 821-826.**

**【Competing interests】** The authors declare no competing interests.

This study was supported by the grants from the Technology Innovation Major Special Project of Hubei Province (No. 2019ACA139).

近年来,数字化技术的广泛应用为人们的生活带来了巨大变革。随着计算机技术的不断发展和大数据时代的到来,一项更具应用潜力的新兴技术——人工智能开始逐渐应用于多个领域<sup>[1]</sup>。相比于锥体束CT、计算机辅助设计/计算机辅助制造(computer aided design/computer aided manufacturing, CAD/CAM)、3D打印等数字化技术,人工智能优势在于可模拟人类思维,自主学习、解决问题,实现自动化。将人工智能融入口腔临床诊疗,推动从数字化向智能化的飞跃,不仅可提高操作精确性及高效性,而且可通过对数据的自主学习、整理及分析辅助临床决策及预后评价,降低错误率。如今,众多学者正在不断探索人工智能技术在口腔诊疗领域的应用,结合人工智能的新型口腔医疗模式将成为发展的重要趋势。本文将简要阐述人工智能技术的概念和基本原理,综述其目前在口腔诊疗中的应用情况。

## 1 人工智能概述

人工智能是研究并开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用的一门新的技术科学<sup>[1]</sup>。简言之,人工智能技术旨在通过模拟人类的思维方式以解决实际问题。

机器学习是人工智能的重要技术,是指计算机在非精确编程条件下的学习能力<sup>[2]</sup>,其中神经网络是目前最流行的一种机器学习模型<sup>[3]</sup>。通过设计、组装并连接人工神经元,人工神经网络可以在拥有庞大数据库的基础上,完成对结果的整理与预测,进而完成各种特定任务。机器学习按原理的不同可分为监督学习和非监督学习。在医学领域中,前者常被用于疾病的诊断及预后评价,而后者则可用于复杂数据的交互关系分析<sup>[4]</sup>。近年来,深度学习成为了机器学习系统的一大突破,其所包含的神经网络层次更为复杂,可更精细地利用

算法展现图像及其层次结构,构建自动识别模式,因此被认为是最具应用潜力的人工智能技术之一<sup>[5]</sup>。

## 2 人工智能在口腔临床诊疗中的应用

人工智能在口腔领域的应用通常包括数据、算法与软件程序三大要素,其核心在于应用算法模拟人类思维能力,通过设计自动化软件程序,辅助医生诊断决策,以简化口腔的诊疗流程及数据管理,弥补人工诊断的主观性与局限性,使传统口腔诊疗更加智能化、现代化<sup>[6]</sup>。数字化技术与人工智能技术的有机结合,推动了口腔临床诊疗的快速发展。以下将从不同学科介绍目前人工智能在口腔临床诊疗中的应用现状及进展。

### 2.1 口腔修复学

CAD/CAM如今已在口腔修复领域得到广泛推广。结合人工智能的CAD/CAM可设计制造出更符合功能、美学及患者需求的个性化修复体,如人工冠桥、嵌体、贴面及种植体基台等,可缩短牙齿修复的时间,并降低失误率<sup>[3]</sup>。结合CAD, Lerner等<sup>[7]</sup>提出了一种利用人工智能在个性化基台上制作氧化锆冠的方案,获得了较高的成功率; Yamaguchi等<sup>[8]</sup>利用卷积神经网络从二维图像中捕获信息,从而实现了CAD/CAM复合树脂冠脱落率的预测。

机器人也开始应用于口腔修复领域,主要包括自动牙体预备机器人及人工排牙机器人等。Otani等<sup>[9]</sup>发现,在瓷贴面牙体预备过程中,机器人自动预备系统可利用数字印模诊断并预先虚拟设计备牙方案,可获得与传统人工预备相似的精确度。基于全口义齿排牙原理, Zhang等<sup>[10]</sup>设计出了84自由度的多操作机排牙机器人,创建了比6自由度机器人更为简单灵活、易于操作的排牙机器人,并在初步实验中依据颌弓参数完成了全口义齿自动CAD/CAM。排牙机器人的出现缩短了排牙时

间,有助于避免人工排牙过程中的疏忽与失误,提高了效率及治疗质量。此外,机器人技术也已应用于口腔种植体植入。有学者研究开发出了智能种植系统,通过术前数据采集分析、辅助牙科钻精确定位,完成牙槽骨钻孔等操作,可有效避免对手术神经、血管等重要面部结构的损伤<sup>[11]</sup>。2017年,Yomi系统成为首个受美国FDA批准的种植机器人,并应用于口腔种植修复<sup>[12]</sup>。

## 2.2 口腔颌面外科学

拔牙是许多口腔治疗计划的关键初始步骤,我国学者构建了一种临床决策模型,该模型通过对电子口腔记录的学习来预测拔牙结果,从而为医生提供临床决策依据<sup>[13]</sup>。人工智能也可用于下唇麻木、面部肿胀等拔牙后并发症的预测。Vinayahalingam等<sup>[14]</sup>开发出了可检测并分割牙科全景X光片中下颌第三磨牙及下牙槽神经的深度学习系统;Zhang等<sup>[15]</sup>建立了能综合分析患者个人因素、第三磨牙解剖因素以及外科手术因素,从而预测下颌第三磨牙拔除后面部肿胀的神经网络模型。此外,人工神经网络系统可用于上颌窦疾病的诊断。Kuwana等<sup>[16]</sup>应用深度学习检测技术对X线片进行学习及识别,结果显示该技术对多种上颌窦炎和上颌窦区域囊肿检测的灵敏度均高于90%。

口腔颌面部包含众多复杂精细的解剖结构、血运丰富且操作范围较为局限,不当的手术操作可能造成手术失败及严重并发症。人工智能辅助设计手术方案、导板及手术机器人的应用可缩短医生操作时间、降低疲劳程度,有效提高外科手术的精准性和安全性。Choi等<sup>[17]</sup>将神经网络机器学习的人工智能模型用于正颌手术的诊断和治疗计划制定,其对于手术/非手术决策、手术类型和拔牙决策的判断成功率均高于90%;Chao等<sup>[18]</sup>利用CAD技术设计出了截骨及骨瓣重建方案,并让机器人在动态导航下执行截骨手术,初步证明了预编程机器人用于骨瓣制备和颌骨重建的潜力及精确性。还有学者开发出了用于颌骨重新定位的手术机器人,于术前完成机器人与CT图像空间的配准,在术中即可实现自动定位<sup>[19]</sup>。

高光谱成像作为一种新兴的成像方式,因高效、无创、及时性而具有很高的诊断潜力。Ma等<sup>[20]</sup>利用深度学习算法分层学习高光谱图像特征,并在动物模型中进行头颈部肿瘤检测,精确度高达91.36%。基于深度学习的高光谱成像技术,

还可用于检测并划定头颈部癌患者新鲜手术标本中病变与正常组织的界限,辅助医生判断适宜的切除范围<sup>[21]</sup>。此外,Yang等<sup>[22]</sup>建立了基于深度学习的自动检测颌骨囊肿及肿瘤的诊断模型;Aubreville等<sup>[23]</sup>利用深度学习对共聚焦激光内窥镜检查的口腔鳞状细胞癌图片进行自动分类;多名学者分别研究了人工智能用于检测、分级口腔上皮发育不良、口腔黏膜下纤维化等潜在恶性病变的效果,均获得了较好的诊断准确率<sup>[24]</sup>。

头颈部肿瘤的常用治疗方法包括手术、放疗和化疗等。确保放疗区域的精准化、最小化,可减少其对周围正常组织的不利影响,最大程度避免严重并发症的发生。Kearney等<sup>[25]</sup>综述了人工智能算法在头颈部肿瘤放疗计划制定中的应用,基于机器学习的放疗区域勾勒,可在获得准确率的同时提高效率。此外,正确判断肿瘤淋巴结转移情况有助于恶性肿瘤治疗计划制定、病理检查效率提高及预后改善。Ariji等<sup>[26-27]</sup>利用深度学习图像分类系统,诊断了淋巴结转移及结外扩展,得到了比放射科医生更优的诊断准确性。

人工智能也可用于肿瘤进程预测。Chu等<sup>[28]</sup>利用多种人工智能算法构建了预测模型,其对预测肿瘤治疗疗效、复发及进展情况有重要帮助。Kim等<sup>[29]</sup>提出了一种更完善的癌症生存预测模型,回顾性研究了255例名口腔鳞状细胞癌患者,证明基于深度学习的生存预测具有更高的准确性。

## 2.3 口腔正畸学

错殆畸形是口腔常见疾病之一,由于个体条件的差异化,正畸矫治方案的制定常涉及诸多复杂因素。缺乏临床经验的医生如果决策失误,可能导致治疗失败,甚至对患者造成不可逆性伤害,尤其是对于拔牙矫治病例。2010年,Xie等<sup>[30]</sup>提出使用人工神经网络模型来判断患者是否需要拔牙矫治;近期又有研究基于贝叶斯网络建立了诊断辅助基础模型来评估正畸治疗需求<sup>[31]</sup>。头影测量分析是正畸诊断及治疗方案设计的重要辅助手段,然而,传统头影测量法受主观因素影响较大。有研究使用基于YOLOv3(You Only Look Once version 3)算法的人工智能自动识别系统识别80个测量标志点,其结果与人工识别无明显差异<sup>[32]</sup>,该系统可辅助医生进行分类诊断,有效降低主观误差、提高诊断效率。

人工智能的引入同样可改善传统人工弓丝弯制耗时、费力的缺点,提高精度并有效避免反复弯



制所致的钢丝断裂情况。多年来对弯制弓丝机器人的研究层出不穷, sunsmile 弓丝弯曲机器人、舌侧弓线制造与辅助设计系统、笛卡尔式弓丝弯曲机器人等相继问世<sup>[33]</sup>, 口腔正畸弓丝弯制机器人正在不断调整与完善之中。

很多患者希望通过正畸及正颌治疗改善面型, 获得更优的面部吸引力, 因此美学评估是评价正畸治疗效果的重要方式。然而美学评估具有较强的主观性, 专业医生所依据的“理想面容特征”及“黄金比例”很难判断其在同龄人中获得的吸引力。人工智能则可通过基于大数据训练的卷积神经网络算法, 学习大量面部特征, 客观地评估治疗前后外观及面部吸引力的变化<sup>[34]</sup>。这一系统既可辅助医生制定个性化治疗计划, 又可改善医患沟通。

#### 2.4 牙体牙髓病学

龋病是口腔最常见的疾病之一, 通常表现为牙体硬组织的慢性进行性破坏, 病变持续发展可继发牙髓炎及根尖周炎。早期表层下脱矿及邻面龋等易被忽视, 这为早期临床诊断带来了巨大挑战。Lee 等<sup>[35]</sup>研究证明了卷积神经网络算法在根尖片上诊断早期龋的应用潜力; 有学者尝试将人工智能应用于近红外透光图像中的龋损识别, 取得了较为满意的效果<sup>[36]</sup>。此外, 有学者提出一种用于检测光诱导荧光图像的系统, 其通过识别自发荧光的菌斑数量对图像进行分类, 从而提高了检测效率, 降低了人工与时间成本<sup>[6]</sup>。Orhan 等<sup>[37]</sup>还应用人工智能系统在锥束计算机断层扫描图像上检测根尖周病变, 准确率高达92.8%。

根管系统的复杂多样性使根管治疗存在耗时大、治疗效果不理想等诸多问题, 根管遗漏、侧穿及根尖孔破坏等是导致治疗失败的重要因素。Hiraiwa 等<sup>[38]</sup>构建了深度学习模型, 并对磨牙曲面断层影像数据进行分析, 结果显示下颌第一磨牙远中双根的检出率为86.9%; 人工神经网络系统应用于细小根尖孔定位<sup>[39]</sup>, 可以更方便快捷地确定工作长度, 提高诊疗效果。此外, 多名学者开发了用于牙髓治疗的微型机器人, 并证实自动根管预备不仅可获得良好的根管预备形状, 还缩短了手术时间, 降低了根管过度预备及侧穿等不良事件的发生率<sup>[40]</sup>。

#### 2.5 牙周病学

牙周病是一种由病原微生物(牙菌斑生物膜)

与人体免疫系统相互作用引起的口腔炎症性、不可逆性疾病。临床上主要通过探诊牙周袋深度及牙龈退缩来评估牙周健康状况, 但具体操作及诊断有赖于医生的临床经验。影像学检查虽已用于牙周病诊断, 但多作为辅助手段。Lee 等<sup>[41]</sup>将卷积神经网络系统应用于牙周受损牙齿的诊断, 通过对根尖片数据进行深度学习, 该计算机辅助检测系统在前磨牙和磨牙牙周情况的诊断中均获得了较高的准确率。此外, Chang 等<sup>[42]</sup>还提出了一种用于自动检测牙槽骨丧失并进行牙周炎分类分期的新型混合系统。还有学者收集了不同牙周状况患者的龈下菌斑样本, 进行机器学习, 结果表明, 支持向量机分类器可通过识别细菌种类及负载量来区分侵袭性牙周炎与慢性牙周炎<sup>[43]</sup>。

### 3 人工智能口腔医疗的优势、问题及展望

20世纪80年代, 研究人员开始逐渐应用人工智能解决医学问题。相比于其他医学专科领域, 口腔临床医疗的可直视和操作范围更为局限, 这在一定程度上阻碍了口腔诊疗的顺利进行, 人工智能的诸多优势可以提供很大帮助。首先, 人工智能可通过对医疗数据的收集、整理和学习, 使分析结果更为客观, 克服了医生操作的主观可变性; 其次, 人工智能可以同时储存、处理多领域的海量数据, 分析因素间交互作用, 提出较完善的临床诊断与决策, 弥补医生可能存在的跨专业知识空缺; 再次, 人工智能操作的精确性更高, 可减小人眼视觉误差对治疗效果的不利影响; 此外, 人工智能还具有操作标准化、微创、省时、高效等优势。

尽管人工智能兼具高效率和高精度, 其所涉及的隐私、安全、伦理、技术等方面的诸多问题仍不容忽视。首先, 保护患者的安全是口腔诊疗的首要原则。当数据不充足或不够精确的情况下, 人工智能的判断和执行结果可能存在错误, 而人工智能又很难自动终止错误操作, 有时患者被置于不必要的危险之中<sup>[44]</sup>。其次是隐私问题, 深度学习需建立在大量医疗数据与信息的基础上, 私密信息一旦泄露, 将会给患者、医生、机构三方带来负面影响。除此之外, 关于应用机器替代人类进行诊疗活动的伦理问题, 机器人用于口腔诊疗的适应证选择, 及人工智能医疗事故中的责任判定等, 都是人工智能应用于口腔诊疗将要面临的挑战。人工智能医疗需要更完善的规范化法律制度体系, 以促进人工智能医疗的继续发展。

人工智能时代的到来给口腔医学带来了巨大的机遇与挑战。尽管诸多技术尚处于实验阶段,某些专业领域尚缺乏人工智能的相关研究,但当前的研究充分证明了人工智能技术应用于口腔诊疗的可行性及广泛前景。正确处理隐私、安全、伦理、技术等潜在问题,人工智能技术将可提高诊断准确性,辅助临床决策及预后评估,提高医生工作效率,节约医疗资源,为患者提供更优质高效的口腔诊疗。在2020年新冠肺炎疫情中,各种人工智能技术的应用既节约了医疗资源,提高了诊疗效率,又有效减少了医疗暴露,这也验证了人工智能对当今医疗领域的深远影响。总之,使人工智能与口腔临床相融合,是当下口腔医疗的新模式;对新技术的尝试与应用,对现有技术的不断更新与完善,也必将成为口腔医学行业的未来发展趋势。

**【Author contributions】** Li C wrote the article. Yang HY and Huang C revised the article. All authors read and approved the final manuscript as submitted.

#### 参考文献

- [1] Chen YW, Stanley K, Att W. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives[J]. *Quintessence Int*, 2020, 51(3): 248-257. doi: 10.3290/j.qi.a43952.
- [2] Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(14): 1347-1358. doi: 10.1056/NEJM-ra1814259.
- [3] Tandon D, Rajawat J. Present and future of artificial intelligence in dentistry[J]. *J Oral Biol Craniofac Res*, 2020, 10(4): 391-396. doi: 10.1016/j.jobcr.2020.07.015.
- [4] Handelman GS, Kok HK, Chandra RV, et al. eDoctor: machine learning and the future of medicine[J]. *J Intern Med*, 2018, 284(6): 603-619. doi: 10.1111/joim.12822.
- [5] Heo MS, Kim JE, Hwang JJ, et al. Artificial intelligence in oral and maxillofacial radiology: what is currently possible?[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2021, 50(3): 20200375. doi: 10.1259/dmfr.20200375.
- [6] Khanagar SB, AlEhaideb A, Maganur PC, et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry a systematic review[J]. *J Dent Sci*, 2021, 16(1): 508-522. doi: 10.1016/j.jds.2020.06.019.
- [7] Lerner H, Mouhyi J, Admakin O, et al. Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics: a retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in the posterior Jaws of 90 patients[J]. *BMC Oral Health*, 2020, 20(1): 80. doi: 10.1186/s1290302010624.
- [8] Yamaguchi S, Lee C, Karaer O, et al. Predicting the debonding of CAD/CAM composite resin crowns with AI[J]. *J Dent Res*, 2019, 98(11): 1234-1238. doi: 10.1177/0022034519867641.
- [9] Otani T, Raigrodski AJ, Mancl L, et al. *In vitro* evaluation of accuracy and precision of automated robotic tooth preparation system for porcelain laminate veneers[J]. *J Prosthet Dent*, 2015, 114(2): 229-235. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.02.021.
- [10] Zhang YD, Jiang JG, Liang T, et al. Kinematics modeling and experimentation of the multimanipulator tootharrangement robot for full denture manufacturing[J]. *J Med Syst*, 2011, 35(6): 1421-1429. doi: 10.1007/s109160099419x.
- [11] Sun X, Mckenzie FD, Bawab S, et al. Automated dental implantation using imageguided robotics: registration results[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2011, 6(5): 627-634. doi: 10.1007/s1154801005433.
- [12] Wu Y, Wang F, Fan S, et al. Robotics in dental implantology[J]. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2019, 31(3): 513-518. doi: 10.1016/j.coms.2019.03.013.
- [13] Cui Q, Chen Q, Liu P, et al. Clinical decision support model for tooth extraction therapy derived from electronic dental records[J]. *J Prosthet Dent*, 2021, 126(1): 83-90. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.04.010.
- [14] Vinayahalingam S, Xi T, Bergé S, et al. Automated detection of third molars and mandibular nerve by deep learning[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 9007. doi: 10.1038/s41598019454873.
- [15] Zhang W, Li J, Li ZB, et al. Predicting postoperative facial swelling following impacted mandibular third molars extraction by using artificial neural networks evaluation[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 12281. doi: 10.1038/s41598018299341.
- [16] Kuwana R, Arijy Y, Fukuda M, et al. Performance of deep learning object detection technology in the detection and diagnosis of maxillary sinus lesions on panoramic radiographs[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2021, 50(1): 20200171. doi: 10.1259/dmfr.20200171.
- [17] Choi HI, Jung SK, Baek SH, et al. Artificial intelligent model with neural network machine learning for the diagnosis of orthognathic surgery[J]. *J Craniofac Surg*, 2019, 30(7): 1986-1989. doi: 10.1097/SCS.0000000000005650.
- [18] Chao AH, Weimer K, Raczowsky J, et al. Preprogrammed robotic osteotomies for fibula free flap mandible reconstruction: a preclinical investigation[J]. *Microsurgery*, 2016, 36(3): 246-249. doi: 10.1002/micr.30013.
- [19] Woo SY, Lee SJ, Yoo JY, et al. Autonomous bone reposition around anatomical landmark for robotassisted orthognathic surgery [J]. *J Craniofac Surg*, 2017, 45(12): 1980-1988. doi: 10.1016/j.jcms.2017.09.001.
- [20] Ma L, Lu G, Wang D, et al. Deep learning based classification for head and neck cancer detection with hyperspectral imaging in an animal model[J]. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 2017, 10137. doi: 10.1117/12.2255562.
- [21] Lu G, Little JV, Wang X, et al. Detection of head and neck cancer in surgical specimens using quantitative hyperspectral imaging[J]. *Clin Cancer Res*, 2017, 23(18): 5426-5436. doi: 10.1158/10780432.CCR170906.
- [22] Yang H, Jo E, Kim HJ, et al. Deep learning for automated detection of cyst and tumors of the jaw in panoramic radiographs[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(6): 1839. doi: 10.3390/jcm9061839.

- [23] Aubreville M, Knipfer C, Oetter N, et al. Automatic classification of cancerous tissue in laserendomicroscopy images of the oral cavity using deep learning[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 11979. doi: 10.1038/s41598017123208.
- [24] Mahmood H, Shaban M, Indave BI, et al. Use of artificial intelligence in diagnosis of head and neck precancerous and cancerous lesions: a systematic review[J]. *Oral Oncol*, 2020, 110: 104885. doi: 10.1016/j.oraloncology.2020.104885.
- [25] Kearney V, Chan JW, Valdes G, et al. The application of artificial intelligence in the IMRT planning process for head and neck cancer[J]. *Oral Oncol*, 2018, 87: 111-116. doi: 10.1016/j.oraloncology.2018.10.026.
- [26] Arijji Y, Fukuda M, Kise Y, et al. Contrastenhanced computed tomography image assessment of cervical lymph node metastasis in patients with oral cancer by using a deep learning system of artificial intelligence[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2019, 127(5): 458-463. doi: 10.1016/j.oooo.2018.10.002.
- [27] Arijji Y, Sugita Y, Nagao T, et al. CT evaluation of extranodal extension of cervical lymph node metastases in patients with oral squamous cell carcinoma using deep learning classification[J]. *Oral Radiol*, 2020, 36(2): 148-155. doi: 10.1007/s11282019003914.
- [28] Chu CS, Lee NP, Adeoye J, et al. Machine learning and treatment outcome prediction for oral cancer[J]. *J Oral Pathol Med*, 2020, 49(10): 977-985. doi: 10.1111/jop.13089.
- [29] Kim DW, Lee S, Kwon S, et al. Deep learningbased survival prediction of oral cancer patients[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 6994. doi: 10.1038/s41598019433727.
- [30] Xie X, Wang L, Wang A. Artificial neural network modeling for deciding if extractions are necessary prior to orthodontic treatment [J]. *Angle Orthod*, 2010, 80(2): 262-266. doi: 10.2319/111608588.1.
- [31] Thanathornwong B. BayesianBased decision support system for assessing the needs for orthodontic treatment[J]. *Health Inform Res*, 2018, 24(1): 22-28. doi: 10.4258/hir.2018.24.1.22.
- [32] Hwang HW, Park JH, Moon JH, et al. Automated identification of cephalometric landmarks: part 2 might it be better than human? [J]. *Angle Orthod*, 2020, 90(1): 69-76. doi: 10.2319/022019129.1.
- [33] Jiang JG, Zhang YD, Wei CG, et al. A review on robot in prosthodontics and orthodontics[J]. *Adv Mech Eng*, 2015, 7(1). doi: 10.1155/2014/198748.
- [34] Patcas R, Bernini D, Volokitin A, et al. Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age[J]. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2019, 48(1): 77-83. doi: 10.1016/j.ijom.2018.07.010.
- [35] Lee JH, Kim DH, Jeong SN, et al. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learningbased convolutional neural network algorithm[J]. *J Dent*, 2018, 77(77): 106-111. doi: 10.1016/j.jdent.2018.07.015.
- [36] Schwendicke F, Elhennawy K, Paris S, et al. Deep learning for caries lesion detection in nearinfrared light transillumination images: a pilot study[J]. *J Dent*, 2020, 92: 103260. doi: 10.1016/j.jdent.2019.103260.
- [37] Orhan K, Bayrakdar IS, Ezhov M, et al. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on conebeam computed tomography scans[J]. *Int Endod J*, 2020, 53(5): 680 - 689. doi: 10.1111/iej.13265.
- [38] Hiraiwa T, Arijji Y, Fukuda M, et al. A deeplearning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography[J]. *Dentomaxillofac Radiol*, 2019, 48(3): 20180218. doi: 10.1259/dmfr.20180218.
- [39] Saghiri MA, Asgar K, Boukani KK, et al. A new approach for locating the minor apical foramen using an artificial neural network[J]. *Int Endod J*, 2012, 45(3): 257-265. doi: 10.1111/j.13652591.2011.01970.x.
- [40] Ortiz SJ, Martinez AM, Espinoza DL, et al. Mechatronic assistant system for dental drill handling[J]. *Int J Med Robot*, 2011, 7(1): 22-26. doi: 10.1002/rcs.363.
- [41] Lee JH, Kim DH, Jeong SN, et al. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learningbased convolutional neural network algorithm[J]. *J Periodontal Implant Sci*, 2018, 48(2): 114-123. doi: 10.5051/jpis.2018.48.2.114.
- [42] Chang HJ, Lee SJ, Yong TH, et al. Deep learning hybrid method to automatically diagnose periodontal bone loss and stage periodontitis[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 7531. doi: 10.1038/s4159802064509z.
- [43] Feres M, Louzoun Y, Haber S, et al. Support vector machinebased differentiation between aggressive and chronic periodontitis using microbial profiles[J]. *Int Dent J*, 2018, 68(1): 39-46. doi: 10.1111/idj.12326.
- [44] 李征宇. 机器人在口腔医学领域的研发及应用中相关问题探讨[J]. *医学与哲学*, 2017, 38(24): 81 - 83. doi: 10.12014/j.issn.10020772.2017.12b.24.
- Li ZY. Discussion of problems in research and application of robots in stomatology[J]. *Medicine and Philosophy*, 2017, 38 (12): 81 - 83. doi: 10.12014/j.issn.10020772.2017.12b.24.

(编辑 罗燕鸿)



官网