

人工智能在原发性肝癌诊断与治疗中的应用和展望

尹大龙¹ 施舒鹏²

¹中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)先导医学与前沿技术研究所,肝胆外科、肝胆胰外科安徽省重点实验室,合肥 230001;²中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)肝胆胰外科安徽省重点实验室、整形外科,合肥 230001

通信作者:尹大龙,Email:dalong48@163.com

【摘要】 原发性肝癌(以下简称肝癌)是常见且致命的恶性肿瘤之一,严重危害人类生命健康。近年来,人工智能在肝癌领域研究取得突破进展,应用于肝癌研究各阶段,以期全面改善肝癌的临床诊断与治疗。肝癌中的人工智能技术主要包括机器学习和深度学习模型,后者是前者的1个分支并基于神经网络结构。当前,基于机器学习和深度学习模型的应用在肝癌中已展示出巨大潜力,但仍有许多问题亟待解决,包括提高结果的泛用性和可解释性等。笔者系统阐述近年来人工智能在肝癌领域的应用进展,并对目前面临的挑战及未来探索的方向进行深入探讨。

【关键词】 肝肿瘤; 人工智能; 深度学习; 机器学习; 应用和展望

基金项目:国家卫生健康委医院管理研究所重点项目(YLZLXZ22K004);科大新医学联合基金(YD9100002035)

Application and prospect of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of primary liver cancer

Yin Dalong¹, Shi Shupeng²

¹Institute of Leading Medicine and Frontier Technology, Department of Hepatobiliary Surgery, Anhui Provincial Key Laboratory of Hepatopancreatobiliary Surgery, the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China (Anhui Provincial Hospital), Hefei 230001, China; ²Anhui Provincial Key Laboratory of Hepatopancreatobiliary Surgery, Department of Plastic Surgery, the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China (Anhui Provincial Hospital), Hefei 230001, China

Corresponding author: Yin Dalong, Email: dalong48@163.com

【Abstract】 Primary liver cancer (hereinafter referred to as liver cancer) is one of the most common and deadly malignancies, posing a serious threat to human health. In recent years, advancements in artificial intelligence (AI) have opened up possibilities for the comprehensive enhancement of liver cancer diagnosis and treatment. AI technologies in liver cancer mainly include the machine learning (ML) and the deep learning (DL) models, with DL being a subtype of ML based on neural network structures. The application of ML and DL models in liver cancer has demonstrated tremendous potential, but there are still many issues that need to be addressed, including enhancing the generalizability and interpretability of results. The authors elaborate on the application progress of AI in the field of liver cancer in recent years, and explore the current challenges and future exploration directions.

【Key words】 Liver neoplasms; Artificial intelligence; Deep learning; Machine learning; Application and prospect

DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20231121-00209

收稿日期 2023-11-21

引用本文:尹大龙,施舒鹏.人工智能在原发性肝癌诊断与治疗中的应用和展望[J].中华消化外科杂志,2024,23(2):236-241. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20231121-00209.



Fund programs: Key Project of the National Institute of Hospital Administration (YLZLXZ22K004); Fundamental Research Funds for the Central Universities (YD9100002035)

原发性肝癌(以下简称肝癌)是我国第4位常见恶性肿瘤,同时也是第2位癌症相关死亡病因。肝癌的发病风险因素和机制复杂多样,尽管现阶段多种诊断与治疗手段已取得进展,但患者预后仍然堪忧,5年总生存率仅为12.1%^[1-2]。作为1种复杂且常见疾病,肝癌治疗选择广泛,因此,产生了大量多样的研究数据。为满足个体化诊断与治疗需求,需更加准确的分析手段。已有的研究结果显示:人工智能在医学领域发展和应用日益增长,并广泛应用于肝癌诊断与治疗的各个阶段,包括风险预测、筛查、诊断、治疗和预后等方面,并展现出显著优势^[3-4]。这意味着人工智能在肝癌的临床实践中将承担重要作用,并有望重新定义肝癌诊断与治疗的临床标准。然而,人工智能的应用仍需进一步验证和整合,以确保其准确性、可靠性和安全性。同时,临床医师的专业知识和经验仍至关重要,与人工智能相结合,或将为肝癌患者提供更加精准和个体化的诊断与治疗方

一、人工智能概述

人工智能是一个广泛的概念,包含多种技术,其共同目标是让机器成为人类工具和助手。在医学领域,人工智能技术主要包括机器学习和深度学习2种。机器学习通过利用数据集提取有效知识并构建预测模型,促进快速准确的决策形成。传统的机器学习算法多用于处理表格数据,每个数据点都有1组明确特征(如患者年龄等)。这些特征作为预测标签,用于拟合数据模型^[3]。而深度学习作为机器学习的1个分支,常与传统机器学习算法分开看待。深度学习利用人类数学知识与计算机算法构建整体架构,再结合尽可能多的训练数据以及计算机大规模运算能力调节内部参数,是一种逼近问题目标的半理论、半经验建模方式。与逻辑回归、随机森林等其他传统机器学习方法比较,深度学习的人工神经网络架构增加了隐藏层,在减少网络深度的同时尽可能避免机器学习中广泛存在的模型过拟合问题。这使得深度学习特别适用于解决复杂的计算问题,如大规模图像分类、自然语言处理以及语音识别和翻译等^[5-6]。深度学习这种多隐藏层的人工神经网络具有优异的特征学习能力,对数据有更本质的刻画。在许多预测任务中,深度

学习逐渐取代传统机器学习算法。然而在医学领域,单个医学中心通常不能满足深度学习模型所需的大量训练数据,因此,传统机器学习算法依然非常重要,特别是处理有限数据或表格数据^[7-8]。

二、人工智能在肝癌预防及诊断中的应用

(一)肝癌的发病风险预测

肝癌的监测策略目前主要依赖于对可能受益的高风险群体进行定期筛查,但由于缺乏RCT评估其有效性,常依据回顾性观察数据和传统计算模型(如回归分析)制订实践指南。近年来,人工智能技术已被用于提升肝癌风险预测模型的准确性^[9]。这些模型可基于患者医疗记录提取数据,对肝癌发病风险进行分层分析。针对乙型病毒性肝炎或丙型病毒性肝炎肝硬化等高风险群体,已有的研究结果显示:人工智能技术参与的预测模型均取得良好效果^[10-12]。Ioannou等^[12]的研究结果显示:将人工神经网络预测肝癌风险评分前50%的患者作为监测对象,随访3年内80%患者发展为肝癌,这有助于在资源有限时,对高风险群体进行针对性筛查。1项回顾性研究结果显示:将电子健康记录数据输入卷积神经网络,其提前6个月、1年和3年预测肝癌风险的工作特征曲线下面积分别为0.96、0.94和0.91^[13]。尽管基于人工智能的肝癌风险预测模型在临床上的有效性还需进一步研究,特别是在数据集大小和多样性受限情况下,但已有的研究结果均表明,与传统线性模型比较,由人工智能构建的模型更具优势。基于人工智能的模型能更好捕捉非线性关系和复杂特征,提高预测准确性,有潜力为肝癌潜在患者提供个体化的风险评估和监测策略。

(二)肝癌的早期诊断

肝癌的传统诊断方法包括血清标志物、影像学和组织病理学检查。人工智能结合上述方法,可通过识别更多特征提供更精准和高效的诊断,尤其在早期诊断方面具有重要意义。

AFP是诊断肝癌的标准生物标志物^[14]。2001年,Poon等^[15]针对人工神经网络在肝硬化患者中区分肝癌的作用进行初步评估,提出的指标包括多项血清标志物及性别和年龄等临床参数。与仅采用AFP比较,人工神经网络的利用可显著提升诊断的灵敏度和特异度。近年来,得益于基因组数据的爆发,生物标志物的筛选逐渐趋向分子层面。近期研究结果显示:利用血清样本中全基因组游离DNA

片段开发的机器学习模型,在普通人群和高危人群中对肝癌检测的灵敏度分别为 88% 和 85%,特异度分别为 98% 和 80%^[16]。

超声检查具有无创、实时等优势,但其对肝癌的诊断高度依赖操作者的临床经验、设备质量以及患者体型等因素,相对灵敏度较差^[17]。最近有研究测试人工智能技术提升超声检查在肝癌诊断能力方面的作用。Yang 等^[18]运用大型多中心超声成像数据库开发的卷积神经网络能有效识别肝脏良性和恶性病灶,其工作特征曲线下面积为 0.92,诊断准确度与增强 CT 检查相当,略低于 MRI 检查。另一方面,Ta 等^[19]运用深度学习算法有效提升增强超声成像检查对肝癌的诊断能力。此外,已开发出运用超声检查图像的全自动人工智能诊断工具,在外部测试集中具有较高准确性^[20]。当超声检查结果异常时,通常建议联合其他影像学检查进一步确诊,如增强 CT 或 MRI 检查^[14]。而近年来的研究结果显示:基于深度学习算法的诊断模型不仅可有效提升 CT 或 MRI 检查在肝癌检测方面的性能,还可在保持检出率的同时降低辐射和造影剂的使用,从而有效避免患者因过量辐射或造影受到损害^[21-23]。Gao 等^[22]和 Zhen 等^[23]分别运用增强 CT 检查和 MRI 检查数据开发深度学习诊断模型,在肝癌鉴别诊断方面与经验丰富的放射科医师具有同等有效性。

肝脏占位性病变的影像学特征不典型时,需考虑活组织病理学检查以明确诊断^[14]。而在人工智能技术辅助下,数字病理学可有效帮助病理科医师进行鉴别诊断和分类。Liao 等^[24]基于 2 个大型数据集的组织切片染色数据,利用卷积神经网络区分肝癌组织和相邻正常肝组织,工作特征曲线下面积 > 0.90。传统组织病理学检查需切片、染色等过程,制备耗时且仅能针对离体组织。基于拉曼光谱的组织病理学技术可与人工智能算法结合,实现体外甚至体内诊断^[25]。此外,有研究结果显示:人工智能模型与病理科医师结合优于单独诊断的效果,提示人工智能的应用在于辅助,而不是替代^[26]。

三、人工智能在肝癌治疗决策中的应用

肝癌的异质性及多样化的治疗方案使其治疗策略极为复杂,目前尚无有效手段对所有患者进行精准治疗选择。人工智能技术的进步为肝癌个体化治疗提供可能。目前运用人工智能技术结合患者临床、影像学、病理学、遗传学数据,或其他可获得的特征数据,能够有效优化肝癌治疗的每个阶段,包括治疗前评估、治疗中辅助、治疗后预测以及新治疗方案研发。

(一)治疗前评估

肝癌在制订治疗方案前,需全面评估患者疾病情况。目前国内外存在多种分期方案,但尚无一种方案能够满足个体化治疗需求。Zhao 等^[27]的研究结果显示:利用机器学习可从大量临床变量中提取非线性特征,构建的模型在准确度方面优于现有分期系统。此外,基于深度学习的人工智能模型,可于治疗前运用血清学(包括液体活检)和影像学检查等多种指标对既往仅能通过术后病理学标本诊断的肝癌分型或肿瘤状态进行准确预测,如巨型小梁状亚型、微血管侵犯等^[28-29]。另 1 项研究运用增强超声和实验室检查,以及治疗过程中的数据,开发卷积神经网络模型,用于 RFA 和手术切除之间的治疗选择,结果显示:如果将 RFA 组 17.3% 和手术组 27.3% 的患者进行治疗互换,可分别增加 12% 和 15% 患者 2 年无进展生存期的概率,这将有助于治疗前的方案优化^[30]。因此,人工智能辅助下的治疗前预测和评估对于临床医师选择治疗方式和提高患者总生存率至关重要。

(二)治疗中辅助

肝癌的治疗方式可以简单分为手术治疗和非手术治疗。肝癌的手术治疗由于涉及肝脏周围复杂结构,同时又要考虑合适的切割范围,通常只有经验丰富的外科医师才能胜任。人工智能可运用算法生成三维成像及虚拟现实为肝癌患者进行术前规划,在术中可通过可视化导航帮助术者定位肿瘤、血管和周边重要脏器的位置,减少血管损伤、手术时间和术后并发症,从而提高患者预后^[31]。最近 1 项包含 60 例患者的研究结果显示:基于深度学习的智能图像分割技术在肝癌手术方面相较于传统手术具有显著优势^[32]。此外,基于拉曼光谱与人工智能技术相结合的便携式设备,可于术中帮助区分肝癌与肝脏实质区域,有助于肿瘤边界的可视化,从而实现精准切割^[25]。也有研究报道人工智能可应用于血管内介入的自主导航,尽管仍处于实验概念验证阶段,缺乏临床证据,但已展现出潜在优势,可能对肝癌介入治疗提供帮助^[33]。

(三)治疗后预测

肝癌的治疗方案主要包括肝切除术、肝移植、TACE、消融治疗、免疫或靶向等药物治疗以及多方案联合使用的综合治疗。不同方案联合使用的先后顺序及排列组合使肝癌治疗策略更加复杂。尽管目前尚无一项人工智能模型能够很好处理上述问题,但针对单一方案的预测,包括治疗效果、预后或复发风险,人工智能均表现出较高的准确度。

1 项多中心研究开发基于残差神经网络的深度学习算法,用于预测肝移植后肝癌复发,采用年龄、肿瘤体积、 α -胎球蛋白等血清学指标作为特征,并在外部验证队列中展示出相对其他预测模型更具优势的结果^[34]。对于肝癌形态学特征,已开发多种深度学习算法,用于从 CT、MRI 检查或病理学图像中预测肝癌复发和患者生存情况^[35-37]。Saillard 等^[35]基于肝癌数字病理学切片开发的人工智能模型能够准确预测肝切除术后患者生存情况,并在进行验证时表现出良好的泛化能力。多项研究探索人工智能技术在 TACE、消融治疗以及免疫或靶向等药物治疗中的预测能力:采用机器学习和深度学习技术,通过分析形态学、生物学特征或其他临床特征,实现对患者预后和治疗效果准确预测^[38-43]。此外,人工智能可预测联合治疗方案的疗效。Ma 等^[44]采用多种机器学习算法,利用临床基本资料、术前血清学生物标志物和肿瘤形态学特征预测非切除性肝癌患者对 TACE 和雷伐替尼联合治疗的反应,预测模型工作特征曲线下面积为 0.74~0.91。1 项利用人工智能模型评估肝切除术后复发性肝癌治疗选择的研究,包括再次肝切除或消融治疗、TACE 以及药物治疗(索拉非尼),结果显示:多数患者会从再次肝切除术或消融治疗中获益^[45]。

(四)新治疗方案研发

近年来,包括靶向治疗和免疫治疗在内的多种新药在肝癌的临床试验中得到疗效验证。然而,许多患者对上述治疗方案反应欠佳或很快出现耐药。因此,有必要继续筛选新的治疗靶点并开发新药。人工智能技术的应用可加快这一进程^[46]。肝癌的进展涉及多信号通路和分子机制,寻找合适的治疗靶点对于制订有效治疗方案至关重要。人工智能技术可大规模对多组学数据进行分析 and 挖掘,从中发现关键基因和通路,以筛选出特定的干预靶点。此外,通过对大规模化合物数据库进行筛选和虚拟试验,人工智能可帮助快速发现潜在候选药物。人工智能还可模拟药物与靶点之间的相互作用,为药物设计和优化提供指导。Ren 等^[47]利用人工智能技术仅于 30 d 内完成从靶点筛选到分子生成及测试的全流程,并在肝癌细胞系中针对靶点实现选择性增殖抑制。

四、人工智能在肝癌中的主要挑战及未来展望

尽管当前研究已显示出人工智能在肝癌诊断与治疗中的巨大潜力,但要使人工智能工具完全融入临床仍存在许多问题。首先是数据的质量与可靠性。人工智能的性能高度依赖训练集数据量,但

现有数据多来自不同团队的回顾性研究,结果及其评价标准不统一,这严重限制模型的泛化能力和准确性。因此,有必要建立共识和标准,探索可行的数据共享及开源算法机制。其次,人工智能模型可解释性和可信度也是问题。现有研究的人工智能模型其内部运作机制常难以解释,自动化的偏见也难以察觉,这使医师和患者对其决策无法建立足够信任。为此,研究者提出如基于梯度的图像分析和基于 shapley 加性解释值的数据分析,但对于该问题仍需进行深入探讨^[48]。此外,人工智能的应用将面临伦理、法律和监管等方面的问题,如数据共享下的患者隐私保护、人工智能辅助决策下的责任分配、监管严格与宽松中的平衡建立。因此,制订完善的法律法规和伦理规范对人工智能的全面应用也非常重要。

虽然目前人工智能应用于肝癌诊断与治疗多个领域,但都局限于模型的单方面预测性能,整体的辅助决策能力欠缺。为此,未来的人工智能研究应充分整合尽可能多患者的多样化信息,与其他医疗技术密切结合,并进行多中心、前瞻性研究予以验证。此外,与其他团队持续合作对于建立 1 个多学科融合的研究体系,从而实现个体化肝癌诊断与治疗策略至关重要。

五、结语

人工智能的发展可能会对肝癌诊断与治疗带来革命性变化。目前,人工智能在肝癌诊断与治疗的各个阶段已展现出广阔前景。然而,将人工智能完全应用于临床实践仍有许多问题亟待解决。笔者认为:为验证人工智能模型的可靠性和安全性,需进一步研究和整合,包括开发强大的结构化数据收集、共享和存储方法。医师和临床团队需适应和接受人工智能技术的应用,共同制订最佳诊断与治疗方

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 杨帆,曹毛毛,李贺,等.1990—2019 年中国人群肝癌流行病学趋势分析及预测[J].中华消化外科杂志,2022,21(1):106-113. DOI:10.3760/cma.j.cn115610-20211203-00616.
- [2] Baecker A, Liu X, La Vecchia C, et al. Worldwide incidence of hepatocellular carcinoma cases attributable to major risk factors[J]. Eur J Cancer Prev,2018,27(3):205-212. DOI:10.1097/CEJ.0000000000000428.
- [3] Swanson K, Wu E, Zhang A, et al. From patterns to pati-

- ents: advances in clinical machine learning for cancer diagnosis, prognosis, and treatment[J]. *Cell*, 2023, 186(8): 1772-1791. DOI: 10.1016/j.cell.2023.01.035.
- [4] Calderaro J, Seraphin TP, Luedde T, et al. Artificial intelligence for the prevention and clinical management of hepatocellular carcinoma[J]. *J Hepatol*, 2022, 76(6): 1348-1361. DOI: 10.1016/j.jhep.2022.01.014.
 - [5] Lu Y, Tian H, Cheng J, et al. Decoding lip language using triboelectric sensors with deep learning[J]. *Nat Commun*, 2022, 13(1): 1401. DOI: 10.1038/s41467-022-29083-0.
 - [6] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning[J]. *Nature*, 2015, 521(7553): 436-444. DOI: 10.1038/nature14539.
 - [7] Greener JG, Kandathil SM, Moffat L, et al. A guide to machine learning for biologists[J]. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 2022, 23(1): 40-55. DOI: 10.1038/s41580-021-00407-0.
 - [8] Boehm KM, Khosravi P, Vanguri R, et al. Harnessing multimodal data integration to advance precision oncology[J]. *Nat Rev Cancer*, 2022, 22(2): 114-126. DOI: 10.1038/s41568-021-00408-3.
 - [9] Mansur A, Vrionis A, Charles JP, et al. The role of artificial intelligence in the detection and implementation of biomarkers for hepatocellular carcinoma: outlook and opportunities[J]. *Cancers (Basel)*, 2023, 15(11): 2928. DOI: 10.3390/cancers15112928.
 - [10] Chen S, Zhang Z, Wang Y, et al. Using quasispecies patterns of hepatitis B virus to predict hepatocellular carcinoma with deep sequencing and machine learning[J]. *J Infect Dis*, 2021, 223(11): 1887-1896. DOI: 10.1093/infdis/jiaa647.
 - [11] Nam JY, Sinn DH, Bae J, et al. Deep learning model for prediction of hepatocellular carcinoma in patients with HBV-related cirrhosis on antiviral therapy[J]. *JHEP Rep*, 2020, 2(6): 100175. DOI: 10.1016/j.jhepr.2020.100175.
 - [12] Ioannou GN, Tang W, Beste LA, et al. Assessment of a deep learning model to predict hepatocellular carcinoma in patients with hepatitis C cirrhosis[J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(9): e2015626. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.15626.
 - [13] Liang CW, Yang HC, Islam MM, et al. Predicting hepatocellular carcinoma with minimal features from electronic health records: development of a deep learning model[J]. *JMIR Cancer*, 2021, 7(4): e19812. DOI: 10.2196/19812.
 - [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局. 原发性肝癌诊疗指南 2022 年版[J]. *中华消化外科杂志*, 2022, 21(2): 143-168. DOI: 10.3760/cma.j.cn115610-20220124-00053.
 - [15] Poon TC, Chan AT, Zee B, et al. Application of classification tree and neural network algorithms to the identification of serological liver marker profiles for the diagnosis of hepatocellular carcinoma[J]. *Oncology*, 2001, 61(4): 275-283. DOI: 10.1159/000055334.
 - [16] Foda ZH, Annapragada AV, Boyapati K, et al. Detecting liver cancer using cell-free DNA fragmentomes[J]. *Cancer Discov*, 2023, 13(3): 616-631. DOI: 10.1158/2159-8290.CD-22-0659.
 - [17] European Association for the Study of the Liver. EASL clinical practice guidelines: management of hepatocellular carcinoma[J]. *J Hepatol*, 2018, 69(1): 182-236. DOI: 10.1016/j.jhep.2018.03.019.
 - [18] Yang Q, Wei J, Hao X, et al. Improving B-mode ultrasound diagnostic performance for focal liver lesions using deep learning: a multicentre study[J]. *EBioMedicine*, 2020, 56: 102777. DOI: 10.1016/j.ebiom.2020.102777.
 - [19] Ta CN, Kono Y, Eghtedari M, et al. Focal liver lesions: computer-aided diagnosis by using contrast-enhanced US cine recordings[J]. *Radiology*, 2018, 286(3): 1062-1071. DOI: 10.1148/radiol.2017170365.
 - [20] Xu Y, Zheng B, Liu X, et al. Improving artificial intelligence pipeline for liver malignancy diagnosis using ultrasound images and video frames[J]. *Brief Bioinform*, 2023, 24(1): bbac569. DOI: 10.1093/bib/bbac569.
 - [21] Kang HJ, Lee JM, Ahn C, et al. Low dose of contrast agent and low radiation liver computed tomography with deep-learning-based contrast boosting model in participants at high-risk for hepatocellular carcinoma: prospective, randomized, double-blind study[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(5): 3660-3670. DOI: 10.1007/s00330-023-09520-4.
 - [22] Gao R, Zhao S, Aishanjiang K, et al. Deep learning for differential diagnosis of malignant hepatic tumors based on multi-phase contrast-enhanced CT and clinical data[J]. *J Hematol Oncol*, 2021, 14(1): 154. DOI: 10.1186/s13045-021-01167-2.
 - [23] Zhen SH, Cheng M, Tao YB, et al. Deep learning for accurate diagnosis of liver tumor based on magnetic resonance imaging and clinical data[J]. *Front Oncol*, 2020, 10: 680. DOI: 10.3389/fonc.2020.00680.
 - [24] Liao H, Long Y, Han R, et al. Deep learning-based classification and mutation prediction from histopathological images of hepatocellular carcinoma[J]. *Clin Transl Med*, 2020, 10(2): e102. DOI: 10.1002/ctm.2.102.
 - [25] Huang L, Sun H, Sun L, et al. Rapid, label-free histopathological diagnosis of liver cancer based on raman spectroscopy and deep learning[J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1): 48. DOI: 10.1038/s41467-022-35696-2.
 - [26] Kiani A, Uyumazturk B, Rajpurkar P, et al. Impact of a deep learning assistant on the histopathologic classification of liver cancer[J]. *NPJ Digit Med*, 2020, 3: 23. DOI: 10.1038/s41746-020-0232-8.
 - [27] Zhao Z, Tian Y, Yuan Z, et al. A machine learning method for improving liver cancer staging[J]. *J Biomed Inform*, 2023, 137: 104266. DOI: 10.1016/j.jbi.2022.104266.
 - [28] Li M, Fan Y, You H, et al. Dual-energy ct deep learning radiomics to predict macrotrabecular-massive hepatocellular carcinoma[J]. *Radiology*, 2023, 308(2): e230255. DOI: 10.1148/radiol.230255.
 - [29] Li J, Su X, Xu X, et al. Preoperative prediction and risk assessment of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma[J]. *Crit Rev Oncol Hematol*, 2023, 190: 104107. DOI: 10.1016/j.critrevonc.2023.104107.
 - [30] Liu F, Liu D, Wang K, et al. Deep learning radiomics based on contrast-enhanced ultrasound might optimize curative treatments for very-early or early-stage hepatocellular carcinoma patients[J]. *Liver Cancer*, 2020, 9(4): 397-413. DOI: 10.1159/000505694.
 - [31] Ahmed F, Jahagirdar V, Gudapati S, et al. Three-dimensional visualization and virtual reality simulation role in hepatic surgery: further research warranted[J]. *World J Gastrointest Surg*, 2022, 14(7): 723-726. DOI: 10.4240/wjgs.v14.i7.723.
 - [32] Wang F, Xiao C, Jia T, et al. Hepatobiliary surgery based on intelligent image segmentation technology[J]. *Open Life Sci*, 2023, 18(1): 20220674. DOI: 10.1515/biol-2022-0674.
 - [33] Robertshaw H, Karstensen L, Jackson B, et al. Artificial intelligence in the autonomous navigation of endovascular interventions: a systematic review[J]. *Front Hum Neurosci*, 2023, 17: 1239374. DOI: 10.3389/fnhum.2023.1239374.
 - [34] Nam JY, Lee JH, Bae J, et al. Novel model to predict HCC

- recurrence after liver transplantation obtained using deep learning: a multicenter study[J]. *Cancers (Basel)*, 2020, 12(10):2791. DOI:10.3390/cancers12102791.
- [35] Saillard C, Schmauch B, Laifa O, et al. Predicting survival after hepatocellular carcinoma resection using deep learning on histological slides[J]. *Hepatology*, 2020, 72(6):2000-2013. DOI:10.1002/hep.31207.
- [36] Patil A, Salvatori R, Smith L, et al. Artificial intelligence-based reticulin proportionate area—a novel histological outcome predictor in hepatocellular carcinoma[J]. *Histopathology*, 2023, 83(4):512-525. DOI:10.1111/his.15001.
- [37] Qu WF, Tian MX, Lu HW, et al. Development of a deep pathomics score for predicting hepatocellular carcinoma recurrence after liver transplantation[J]. *Hepatol Int*, 2023, 17(4):927-941. DOI:10.1007/s12072-023-10511-2.
- [38] Abajian A, Murali N, Savic LJ, et al. Predicting treatment response to intra-arterial therapies for hepatocellular carcinoma with the use of supervised machine learning—an artificial intelligence concept[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2018, 29(6):850-857.e1. DOI:10.1016/j.jvir.2018.01.769.
- [39] Zhang L, Xia W, Yan ZP, et al. Deep learning predicts overall survival of patients with unresectable hepatocellular carcinoma treated by transarterial chemoembolization plus sorafenib[J]. *Front Oncol*, 2020, 10:593292. DOI:10.3389/fonc.2020.593292.
- [40] Peng J, Kang S, Ning Z, et al. Residual convolutional neural network for predicting response of transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma from CT imaging[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(1):413-424. DOI:10.1007/s00330-019-06318-1.
- [41] Oezdemir I, Wessner CE, Shaw C, et al. Tumor vascular networks depicted in contrast-enhanced ultrasound images as a predictor for transarterial chemoembolization treatment response[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(9):2276-2286. DOI:10.1016/j.ultrasmedbio.2020.05.010.
- [42] Hsieh C, Laguna A, Ikeda I, et al. Using machine learning to predict response to image-guided therapies for hepatocellular carcinoma[J]. *Radiology*, 2023, 309(2):e222891. DOI:10.1148/radiol.222891.
- [43] Liu J, Qu J, Xu L, et al. Prediction of liver cancer prognosis based on immune cell marker genes[J]. *Front Immunol*, 2023, 14:1147797. DOI:10.3389/fimmu.2023.1147797.
- [44] Ma J, Bo Z, Zhao Z, et al. Machine learning to predict the response to lenvatinib combined with transarterial chemoembolization for unresectable hepatocellular carcinoma[J]. *Cancers (Basel)*, 2023, 15(3):625. DOI:10.3390/cancers15030625.
- [45] Famularo S, Donadon M, Cipriani F, et al. Machine learning predictive model to guide treatment allocation for recurrent hepatocellular carcinoma after surgery[J]. *JAMA Surg*, 2023, 158(2):192-202. DOI:10.1001/jamasurg.2022.6697.
- [46] Chen B, Garmire L, Calvisi DF, et al. Harnessing big 'omics' data and AI for drug discovery in hepatocellular carcinoma[J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2020, 17(4):238-251. DOI:10.1038/s41575-019-0240-9.
- [47] Ren F, Ding X, Zheng M, et al. AlphaFold accelerates artificial intelligence powered drug discovery: efficient discovery of a novel CDK20 small molecule inhibitor[J]. *Chem Sci*, 2023, 14(6):1443-1452. DOI:10.1039/d2sc05709c.
- [48] Reyes M, Meier R, Pereira S, et al. On the interpretability of artificial intelligence in radiology: challenges and opportunities[J]. *Radiol Artif Intell*, 2020, 2(3):e190043. DOI:10.1148/ryai.2020190043.

读者·作者·编者

本刊 2024 年各期重点选题

精心策划选题,引领学术前沿一直是《中华消化外科杂志》秉承的办刊路线。本刊顺应融合发展,坚持行稳致远,践行专家办刊,拓展优质稿源,报道先进成果。经本刊编辑委员会讨论确定 2024 年各期重点选题。请作者根据每期重点选题提前 4~5 个月投稿,本刊将择优刊登。

电子邮箱: cjds@cmaph.org门户网站: <http://www.zhzhwkw.com>远 程 投 稿: <https://medpress.yiigle.com/>

微信公众号: 中华消化外科杂志

微信小程序: 消化菁英荟

第 1 期: 消化外科新进展

第 2 期: 肝癌诊疗新进展

第 3 期: 胃肿瘤规范治疗

第 4 期: 微创与智慧医学

第 5 期: 胰腺疾病

第 6 期: 结直肠肛门外科

第 7 期: 胆道疾病

第 8 期: 减重代谢外科

第 9 期: 疝与腹壁外科

第 10 期: 食管和食管胃结合部肿瘤

第 11 期: 外科感染与营养

第 12 期: 消化系统疾病



本刊网站



本刊微信



微信小程序



微信视频二维码

中华消化外科杂志
刊号: zhzhwkwz