·数智医学教育·

新医科背景下基于人工智能和大数据提升肿瘤学专硕科研能力的思考

周建国[1]　蔡颖[1]　胡威[1]　何思思[1]　苟小霞[2]　李中文[2]　刘霄[3]　柏玉举[1]　马虎[1]
[1]遵义医科大学第二附属医院胸部肿瘤科，遵义　563000；[2]遵义医科大学第二附属医院头颈部肿瘤科，遵义　563000；[3]遵义医科大学第二附属医院腹部肿瘤科，遵义　563000
通信作者：马虎，Email：mahuab@163.com

【摘要】 随着全球科技的不断发展和人工智能（artificial intelligence，AI）、大数据时代的到来，肿瘤学专业型研究生的科研能力提升面临新的机遇和挑战。新医科旨在培养能运用多学科综合创新能力解决医学前沿复杂问题的高层次医学人才，特别是要求肿瘤学专业型研究生从临床型向临床科研型复合人才转变。肿瘤学专业型研究生科研产出少，质量良莠不齐，科研素养有待提高。加快推进AI教育及数据库建设，重视肿瘤学专硕科研能力培养，落实推进创新能力和科研思维培养，试行工科高校与医科院校联合培养模式，重视肿瘤学课程建设及导师队伍素质建设，试行多学科培养及“COME”模式，建立多学科合作网络将是促进肿瘤学专业型研究生科研能力培养和提升的重要举措。

【关键词】 新医科；　人工智能与大数据；　肿瘤学；　专业型研究生；　科研能力
【中图分类号】 R73
基金项目：遵义医科大学研究生教育教学改革课题（ZYK136）；国家自然科学基金（82060475）；教育部春晖计划合作科研项目（HZKY20220231）；贵州省科技计划项目（ZK2022-YB632）；贵州省普通本科高校科学研究项目青年项目（黔教技〔2022〕224号）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20230320-01590

Reflection on promoting the research capacity of professional master's students in oncology regarding artificial intelligence and big data in the context of the new medical education

Zhou Jianguo[1], Cai Ying[1], Hu Wei[1], He Sisi[1], Gou Xiaoxia[2], Li Zhongwen[2], Liu Xiao[3], Bai Yuju[1], Ma Hu[1]
[1]Department of Thoracic Oncology, The Second Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China; [2]Department of Head and Neck Oncology, The Second Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China; [3]Department of Abdominal Oncology, The Second Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China
Corresponding author: Ma Hu, Email: mahuab@163.com

【Abstract】 With the development of science and technology worldwide, the blooming of artificial intelligence (AI) and big data has brought new opportunities and challenges to the promotion of the research capacity of professional master's students in oncology. The construction of the new medical education in China aims to cultivate high-level medical talents with comprehensive multidisciplinary skills and innovative abilities to flexibly solve complex problems at the frontier of medicine. In this context, professional master's students in oncology, who are facing problems such as low scientific research output and uneven quality and needing improving scientific research literacy, have been required to develop into compound talents with both clinical and research prowess. To cultivate and promote the research capacity of professional master's students in oncology, the key steps include accelerating the construction of AI education and databases, highlighting the cultivation of their scientific research capacity, implementing and fostering the cultivation of innovative ability and scientific research thinking, piloting joint cultivation models by engineering universities and medical universities, emphasizing the construction of the curriculum and teacher team for oncology, piloting the multidisciplinary mode and COME mode, and establishing a multidisciplinary cooperation network.

【Key words】 New medical education;　Artificial intelligence and big data;　Oncology;　Professional master's student;　Research capacity

Fund program: Graduate Education and Teaching Reform Project of Zunyi Medical University (ZYK136); National Natural Science Foundation of China (82060475); Cooperation Research Project of Chunhui Program of the Ministry of Education of China (HZKY20220231); Foundation for Basic Research in Guizhou Province (ZK2022-YB632); The Ordinary Undergraduate University Youth Program for Scientific Research in Guizhou Province (QJJ 2022-224)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20230320-01590

近年来，全球科技发展突飞猛进，不断涌现出人工智能（artificial intelligence，AI）、大数据、云计算、机器人等新技术。随着这些新兴技术与医学相关领域的联系日益紧密，传统医学面临新的冲击：要想顺应时代发展趋势、实现国家发展战略，传统医学必须做出相应调整，由此新医科应运而生。新医科旨在推进医学教育模式从“以生物医学科学为主”转变为“医学+X等多学科交叉融合”，培养能够适应AI和大数据时代科技革命、具有多学科综合和创新能力、能灵活解决医学领域前沿复杂问题的高层次创新人才[1-3]。

AI和大数据时代悄然而至，其在影像、病理、转录等多组学及精准医疗中的运用使肿瘤学迎来了崭新的机遇和挑战[4-5]。根据世界卫生组织国际癌症研究机构（International Agency for Research on Cancer，IARC）统计数据，2020年全球癌症新发病例近2 000万，死亡病例近1 000万[6]。恶性肿瘤的早期诊断和治疗仍是当今世界共同难题，亟须高层次创新人才为其诊疗格局寻求新的突破。专业型研究生是肿瘤学长足发展的主力军，以AI和大数据促进肿瘤学专业型研究生科研能力的提升，既是新医科背景下医工复合人才培养的需要，也是未来肿瘤学以创新驱动发展行之有效的路径。

1　人工智能时代的医学发展

随着人类对AI和大数据的研究逐渐深入，其在医学领域的应用日益广泛。过去使用人工导诊，现在依靠AI机器学习算法衍生出智能导诊等功能，帮助患者明确就诊科室并提供预约挂号等服务，不仅减少患者的医疗时间成本、提高就诊效率，还改善其就诊体验[7]。Microsoft研发了一款通过语言交流、图像识别等功能进行人机交互的导诊机器人，通过提问一系列关于症状的问题，即可实现上述功能[8]。影像方面，AI和大数据识别阅片也展现了独特的优势：利用AI算法识别某些疾病影像，准确率非常接近人类[9]。该方式既能分担医师的工作量，又能减少误诊率。王娜娜等[10]在新冠疫情期间开发了一种基于AI的CT影像辅助诊疗系统，通过该系统阅片和一般阅片对COVID-19确诊患者的CT影像检查数据进行收集与分析，为病程分析提供帮助并取得良好效果。AI对外科手术也颇有益处：目前世界上最先进的手术机器人是达芬奇机器人，可将术区视野放大至15倍，大大提高手术操作精确度，减少操作失误和手术创伤，避免过度依赖手术经验[11-12]。

从临床诊疗实践的AI影像识别、智能诊疗、医疗机器人和智能健康管理，到医学科研过程的资源与信息获取、基因测序、数据可视化处理、精准医疗等各方面，AI和大数据都贯穿始终。其与医学领域的紧密结合，既是顺应当今时代发展的必然趋势，也是新医科背景下未来医学事业发展更进一步的必然要求。

2　新医科背景下AI对肿瘤诊疗的影响

2.1　肿瘤学的学科复杂性

与传统医科相比，新医科强调从单纯传统医学模式转变为传统医学与AI、大数据、机器人等新兴智能科技产物相结合，人才培养重心从单一型转为多学科复合型。肿瘤学作为临床医学主要二级学科，具有多学科交叉融合特点，且恶性肿瘤作为世界公认难题，尚有众多待研究的未知领域，故肿瘤学极具复杂性与前沿性。肿瘤学研究与基础和临床医学绝大多数领域息息相关，其学科复杂性恰与新医科背景下医学模式由单一化走向多元化的转变相符合。

2.2　AI在肿瘤学的独特优势

随着新一轮科技革命的发展与推进，肿瘤学研究中涌现出的新技术与新理论与日俱增，逐渐成为肿瘤学发展的动力引擎。从大体形态、生化检验、临床病理到基因组学，随着对肿瘤研究的层层深入，AI技术也在肿瘤学中展现出独特的优越性。

在影像方面，AI与医学影像大数据结合可提高肿瘤影像诊断准确性，有效降低医生主观错误，提高其临床决策能力、工作效率和质量[13]。基于计算机断层扫描、核磁共振成像、超声、内镜检查等几乎所有检查手段的AI模型均表现出优异的诊断效能[14]。Luo等[15]开发了基于卷积神经网络（convolutional neural networks，CNN）的上消化道肿瘤内镜AI辅助诊断系统，在肿瘤筛查及早期诊断方

面，诊断准确率和敏感性可达专家级内镜科医师水平，且低年资医师诊断准确率可被该系统提高至专家级医师水平。McKinney 等[16]基于大样本队列乳腺 X 线检查开发的 AI 诊断系统，可进一步降低乳腺癌筛查的假阳性率及假阴性率（分别下降 1%~5%、3%~10%），且该系统对乳腺癌的诊断准确率高于全部 6 位放射科医生，AUC 值高出 11.5%，对乳腺癌的精准早期筛查具有重要价值。除辅助诊断外，AI 还可用于提高图像质量以控制射线辐射及对比剂风险，模拟专家判断图像质量以辅助影像质控工作等[17]。

在病理方面，目前公认确诊肿瘤的金标准是病理穿刺活检。此过程主要依赖病理科医师的经验进行诊断，极具主观性。通过机器深度学习算法及相应模型构建，AI 辅助肿瘤病理诊断取得了较大突破，尤其是乳腺癌、肺癌、前列腺癌、胃肠道肿瘤、神经系统肿瘤等方面[18-23]。比如，乳腺癌作为 AI 病理研究最早开始的领域之一，AI 在评估乳腺癌生物标志物（如 HER2）、分类与分级、淋巴结转移及预后分析中发挥重要作用[24]。2016 年 PathSoc 大会组织了基于 AI 的 HER2 评分比赛，结果证明 AI 的 HER2 评分优于病理专家[25]。2020 年该系统诊断乳腺浸润性导管癌的精确性、敏感性及特异性分别是 89.44%、85.05%、95.23%，自动计算 Ki67 阳性率的精确度为 99.4%[26]。

在治疗方面，一篇纳入 34 项研究的综述显示，基于深度学习，大部分肿瘤靶区和危及器官在勾画过程中都能得到较高分割精度，AI 辅助勾画不仅可以提高勾画的准确性，简化放疗工作流程、大大提高医生工作效率，还可将经验较少的医生勾画水平提升至近似专家水平，同时使肿瘤靶区和危及器官的勾画更加一致[27]。基于 AI 和大数据建立的众多基因数据库，为肿瘤靶向治疗药物选择提供了更多依据，有利于实施精准治疗和个体化治疗。此外，AI 还可自动筛选药物和靶标，提高筛选速度，从而加快流程，促进新药研究[28]。

3 肿瘤学人才培养要求

3.1 肿瘤学对研究生的要求

AI 和大数据时代衍生的系列新技术带来的冲击，不仅使肿瘤学站在了创新发展的新起点，也使肿瘤学人才培养定位越来越高：从单一医学型转为多学科复合型，从侧重临床转为临床科研并重。培养临床-科研复合型专业型研究生，是未来推动肿瘤学发展进步的动力源泉[29]。

作为肿瘤学专业型硕士研究生（以下简称专硕），首先需要基本的临床诊疗技术，其次需要具备肿瘤相关学科自主学习和融会贯通的能力。此外，还需要掌握统计学、计算机、癌症基因组学和大数据分析等知识，了解基因与肿瘤疾病的关系，从而针对不同患者施行个体化精准靶向治疗。肿瘤学专硕是把肿瘤学科研成果和临床实践直接进行有机结合的重要载体，应学会利用资源，将科研理论运用在实际诊疗过程中，并将临床收集的大量数据整合起来运用到科研中以提升科研水平。肿瘤学对其专业型研究生的要求，恰与新医科人才培养方向相适应。

3.2 肿瘤学专硕科研能力现状

近年来国家对临床医学专硕实施双轨合一的培养模式，即研究生和住院医师规范化培训并轨，旨在培养临床结合科研型综合人才。作为临床医学主要二级学科，每年报考肿瘤学的学生人数众多，专硕尤其热门[30]。目前肿瘤学专硕临床技能有明显提升，但存在科研产出少、质量良莠不齐等问题，科研能力和 AI 素养有待进一步提高。

原因主要有以下几点：第一，本科阶段未接受过系统、完善的科研课程和科研思维培训，且接受的计算机相关知识十分浅显，不足以满足研究生阶段的需要。第二，研究生阶段培养的侧重点不同。与学术型研究生相比，专硕培养更注重临床实践。肿瘤学专硕在临床轮转总共 33 个月，但很少有机会接受系统科研培训。并轨模式虽然显著提升专硕临床实践能力，但经常忽略其科研能力培养。第三，临床轮转学科多、任务重，轮转时间紧凑，加之培养目标不同，分配给科研的时间及精力减少，故科研产出减少。第四，随着精准医学概念深入人心，目前国内外都开设了精准医疗或精准肿瘤学相关课程，但大多数是针对学术型硕士或者博士研究生的课程，目前我国肿瘤学专业型硕士课程纲要中尚无相关必修或限定选修课[31]。AI 和大数据等新技术在科研过程的运用，使肿瘤学的复杂性和挑战性升级，且国内外缺乏针对专硕开设的相关课程，导致专硕难以克服新技术带来的挑战。

4 如何促进肿瘤学专硕科研能力的培养

基于新医科背景下学科发展的需要，如何提升肿瘤学专硕的科研能力和 AI 素养成为亟待思考的问题。

4.1 国家政策层面

4.1.1 加快推进医学相关 AI 教育

目前，美国部分大学已开展了医学 AI 相关的课

程和培训，鼓励支持AI在医疗保健中的普及和应用[32]。同时，美国已于2018年开始将与AI等相关的内容纳入执业医师资格考查过程[33]。英国在一份独立报告中提出要在医学教育中整合数字医疗保健技术、AI和数据分析等内容[34]。虽然在新医科背景下我国已经在部分高校开设了智能医学、转化医学、精准医疗等新兴专业，但必须指出，我国医学相关AI教育起步较晚，且缺乏针对肿瘤学专硕的精准医疗相关课程。故应加快推进医学相关AI教育，在医学高校开设AI及精准医疗等相关课程并完善相应课程评价体系，弥补肿瘤学专业型研究生本科期间未涉及该方面学习的不足。开展AI教育，旨在帮助肿瘤学专业型研究生学会利用AI与大数据平台，促进自身科研水平提升。

4.1.2　重视肿瘤学专硕科研能力培养

必须指出的是，肿瘤学与其他临床学科有显著区别：目前恶性肿瘤仍是世界未能攻克的难题，未知领域甚广，大多数恶性肿瘤尚未发现可显著提高患者长期生存率的治疗方法，仍是威胁人类生命健康的头号杀手。肿瘤学亟须科研方面的创新性突破，为临床诊疗提供新的思路和方向，给患者带来可观的临床受益。肿瘤学专硕活跃在临床第一线，具有收集临床数据做临床科研的天然优势，但由于专硕在校学习时间与临床轮转时间比例过于悬殊，科研水平有限，未能充分发挥这种资源优势。因此，应考虑适当调整其在校时间和轮转时间的比例，延长在校学习时间，重视并加强科研能力的培养，有利于利用资源优势增加科研产出。

4.1.3　推动并完善我国数据库建设

应积极推动并完善我国数据库建设，致力于建设国内外联合共享的临床数据兼生物标本信息的高质量综合性数据库。目前我国医学科研中常用的数据库多来源于国外，如肿瘤学常用的TCGA、GTEx等均由美国建立。建立属于自己的数据库，既是我国众多医学科研工作者的迫切需求，也是AI和大数据在科研层面的时代发展趋势。

4.2　高校、医院层面

4.2.1　落实推进创新能力和科研思维培养

创新是引领发展的第一动力，科研是将创新性思维转化为实践探索的过程，高校应制定有效举措，落实对肿瘤学专硕科研能力的培养。肿瘤学专硕在校时间有限，要求其实现面面俱到很难。因此，高校应加大培养专硕科研思维课程的比重，同时将科研课程的设置细分为多个纵向加深的板块，专硕可根据兴趣和需求选择不同板块深入学习。此外，还可通过设置专硕科研专项奖学金等奖励机制，鼓励专硕积极参与科研实践。

4.2.2　加快推进肿瘤学课程相关建设

肿瘤学知识在本科期间散在于内外科各个章节，故肿瘤学研究生在研一时对肿瘤学基础知识内容知之甚少，缺乏思维的连续性与知识的系统性，更不用说肿瘤学深层次的科研内容，故高校应重视肿瘤学系统课程的学习，在本科期间可设置相应科目，为肿瘤学研究生阶段奠定基础。中国抗癌协会于2022年8月7日举办了中国抗癌协会（Chinese Anti-Cance Association，CACA）整合诊治指南（以下简称CACA指南）进校园工作推动大会，意在将CACA指南纳入医学高校教育体系。截至目前，全国已有181所医学高校签约参与推进工作，未来还会有更多高校加入。以中国医科大学为例，该校开设了基于CACA指南的《热门的肿瘤学指南》等11门选修课，目的在于通过系统化课程安排帮助本科生及研究生建立全面、系统的肿瘤学知识体系，学习最先进的肿瘤诊疗技术和理论。目前参与学习的学生人数众多，热情高涨。CACA指南进校园是高校推进肿瘤学课程建设的创新性举措，未来可期。

4.2.3　整合资源，试行工科高校、医学院校联合培养

工科高校、医学院校之间可通过“3+2”或“4+1”联合培养模式（3年本校2年交流），整合不同高校或医院的优势资源，进行短板互补，这是推动AI医学人才培养、全面提升学生综合素质的有效策略。肿瘤学专硕的AI及大数据分析等技能薄弱，可与实力强劲的工科高校联合，以提高其应对AI时代带来的挑战。例如，天津大学与天津医科大学联合开设的智能医学工程专业采取医学与工学教育并行开展的培养策略[35]；上海交通大学医学院通过“4+4”临床医学专业培养模式，吸收综合性大学工科优秀毕业生学生攻读医学博士，开展医工交叉培养[36]。

4.2.4　注重导师队伍素质建设

导师是研究生知识和技能的主要传播者，应注重导师队伍的素质建设。素质建设的内容既包括科研素养，也包括AI素养。要提高肿瘤学专硕的科研素养，首先要求教师队伍科研素养过硬。此外，教师之间不同程度的AI素养也是阻碍AI教育的重要因素[37]。与学生需求相比，一些年龄较大的教职员工的教学技能可能已经过时[38]，教学内容与肿瘤学最新技术和科研成果结合度不高，缺少具有AI理论和实践经验丰富的肿瘤学教师。因此，导师队伍

应与时俱进，加强AI和大数据分析的学习，考虑将AI素养纳入导师考核评价体系。

4.3 肿瘤学教研室及导师层面

4.3.1 尝试多学科及COME培养模式

大胆尝试全新培养模式，即多学科交叉培养模式和COME培养模式。可实行多学科多导师责任制，2~3个不同学科的导师共同指导同一学生，将学生的评价结果纳入导师考评体系，避免导师过于放养。COME是陈犹白等[39]探索出的新培养模式，指以临床研究（clinical study）为主，利用业余时间（off-hour）进行研究，多种学习方式（multiple modalities）结合，形成高效率反馈（efficient feedback），在解放军总医院整形外科试点后发现该模式明显提高专硕的科研能力。因此，肿瘤学专硕的培养过程可考虑适当借鉴这种模式。

4.3.2 建立多学科合作网络

多学科交叉融合是新医科人才培养目标之一。建立多学科学术合作网络，加强与胸外科、胃肠外科、甲乳外科等科室的知识融合，每周或每个月定期举办多科室学术交流会议及文献讨论活动，要求肿瘤学专硕积极参与并分享学科前沿知识，有效拓展其学科知识面，鼓励其联系肿瘤相关学科的学生共同参与科研项目，推动学科间学术合作和成果交流。肿瘤学教研室可与相关科室共建共享实验室，打造云实验室等共享虚拟平台，线上线下双管齐下，给肿瘤学专硕提供学术分享与沟通的平台。此外，还可跨学科联合举办AI与研究生影像阅片竞赛等活动，设置相应奖励机制，奖品可设置为带薪假期，以激励专硕积极参与，促进培养多学科复合型人才。

4.4 肿瘤学研究生层面

4.4.1 扎根专业，刻苦钻研

在新时代新征程上，肿瘤学研究生应扎根专业，刻苦钻研，以提升专业知识及科研能力为目标，以实现更高水平医疗服务为己任，坚持不懈提升自身科研素养。主动学习AI和大数据在科研过程中的相关知识及方法，利用AI工具处理大数据平台的丰富资源，在实践中落实医工交叉融合人才培养，进一步提升AI素养和大数据分析能力。高度重视外语学习，深入拓展专业文献阅读量，增加自身知识储备，全面提升专业知识及科研水平。

4.4.2 基于兴趣，挖掘潜力

坚持以兴趣为指引，以问题为导向，充分挖掘自身学术潜力。研究生应充分利用高校及医院高水平科研平台及资源，积极参与各类学术会议、论坛、讲座，持续关注专业顶刊及指南更新，深入了解专业前沿领域相关知识和科研热点，主动从中挖掘感兴趣的研究方向，充分激发科研能力，进一步提升科研水平。

4.4.3 利用资源，增加产出

肿瘤学专业型研究生活跃在临床一线，常因繁重的临床任务忽视科研工作。但其拥有丰富的临床科研资源，故应注重培养自身科研能力，充分发挥资源优势，立足于临床疑难问题，强化科研思维，将临床问题转化为科研课题，利用丰富的临床数据资源，提高科技创新和科研成果转化能力，增加科研成果产出，为解决肿瘤学临床问题提供更多可供选择的方案。

综上所述，随着全球科技进步，新医科背景下AI和大数据给肿瘤学专业型研究生科研能力的发展带来了机遇，同时也伴随着挑战。未来，随着对人类基因组数据库的不断完善、对肿瘤相关基因的不断认识、对肿瘤发病机制的深入研究，肿瘤学有望迎来新的发展和突破，AI及大数据分析等技术也将在肿瘤学科研领域扮演越来越重要的角色。

未来的肿瘤学专业型研究生，应结合新医科背景下肿瘤学发展的要求，具备扎实的肿瘤学基础专业知识，主动学习其他学科的知识，不断提升AI素养。充分利用AI和大数据平台挖掘科研潜力，成为临床科研复合型高层次创新人才，为新医科建设添砖加瓦。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 周建国、蔡颖：论文构思、论文框架设计及论文撰写；胡威、何思思、苟小霞、李中文、刘霄、柏玉举：论文审阅、论文修改；马虎：总体把关、文章指导、论文审订

参考文献

[1] 吴辉群，蒋葵，董建成，等. 基于CDIO模式导师制的“新医科”智能医学方向人才培养的探索与实践[J]. 中国高等医学教育，2023(5)：22-24. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2023.05.010.

[2] 王智鹏，杨云，钮晓音，等. 新医科背景下医学专业设置的思考[J]. 中华医学教育探索杂志，2022，21(12)：1601-1606. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20220830-01091.

[3] 刘振强，王启帆，于钦明. “新医科”背景下我国医学信息教育模式变革与思考[J]. 医学信息学杂志，2022，43(5)：93-96. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6036.2022.05.019.

[4] 梁长虹，谢辰仪，吴磊. 肿瘤诊疗新方向：人工智能与数字化医学图像[J]. 兰州大学学报(医学版)，2023，49(2)：1-5. DOI: 10.13885/j.issn.1000-2812.2023.02.001.

[5] 章颖. 精准医疗领域的人工智能(AI)治理[J]. 中国医药导刊，2022，24(1)：46-49. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0959.2022.01.009.

[6] 赵美荣，王玉红. 我国城市癌症早诊早治项目研究现状[J]. 护理研究，2023，37(10)：1765-1771. DOI: 10.12102/j.issn.1009-6493.2023.10.014.

[7] Yanase J, Triantaphyllou E. A systematic survey of computer-aided

diagnosis in medicine: past and present developments [J]. Expert Syst Appl, 2019, 138: 112821. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.112821.

[8] Zhang HY, Zheng JY. The application analysis of medical chatbots and virtual assistant [J]. Front Soc Sci Technol, 2021, 3(2): 11-16. DOI: 10.25236/fsst.2021.030202.

[9] Hayashi N, Maruyama T, Sato Y, et al. Evaluating medical images using deep convolutional neural networks: a simulated CT phantom image study [J]. Technol Health Care, 2020, 28(2): 113-120. DOI: 10.3233/thc-191718.

[10] 王娜娜, 王大为, 李大胜, 等. 人工智能辅助诊疗系统在新型冠状病毒肺炎诊疗中的应用初探[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(6): 75-79. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2020.06.020.

[11] Wilson M, Badani K. Competing robotic systems: a preview [J]. Urol Clin North Am, 2021, 48(1): 147-150. DOI: 10.1016/j. ucl. 2020.09.007.

[12] Lippross S, Jünemann KP, Osmonov D, et al. Robot assisted spinal surgery: a technical report on the use of DaVinci in orthopaedics [J]. J Orthop, 2020, 19: 50-53. DOI: 10.1016/j.jor.2019.11.045.

[13] 苗红, 李男, 吴菲菲, 等. 基于机器学习的医学影像人工智能领域技术融合预测[J]. 情报杂志, 2022, 41(6): 126-134. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1965.2022.06.019.

[14] 邹琪华, 张宇辰, 蔡君, 等. 人工智能在肿瘤领域的应用: 科学研究和教学实践中的进展[J]. 癌症, 2022, 41(2): 49-56.

[15] Luo H, Xu G, Li C, et al. Real-time artificial intelligence for detection of upper gastrointestinal cancer by endoscopy: a multicentre, case-control, diagnostic study [J]. Lancet Oncol, 2019, 20(12): 1645-1654. DOI: 10.1016/S1470-2045(19)30637-0.

[16] McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening [J]. Nature, 2020, 577(7788): 89-94. DOI: 10.1038/s41586-019-1799-6.

[17] 王可欣, 邱建星. 医学影像非诊断类人工智能(AI)的研究进展[J]. 放射学实践, 2023, 38(2): 222-225. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.02.019.

[18] Kather JN, Pearson AT, Halama N, et al. Deep learning can predict microsatellite instability directly from histology in gastrointestinal cancer [J]. Nat Med, 2019, 25(7): 1054-1056. DOI: 10.1038/s41591-019-0462-y.

[19] Jackson HW, Fischer JR, Zanotelli VRT, et al. The single-cell pathology landscape of breast cancer [J]. Nature, 2020, 578(7796): 615-620. DOI: 10.1038/s41586-019-1876-x.

[20] Campanella G, Hanna MG, Geneslaw L, et al. Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning on whole slide images [J]. Nat Med, 2019, 25(8): 1301-1309. DOI: 10.1038/s41591-019-0508-1.

[21] Fu Y, Jung AW, Torne RV, et al. Pan-cancer computational histopathology reveals mutations, tumor composition and prognosis [J]. Nat Cancer, 2020, 1(8): 800-810. DOI: 10.1038/s43018-020-0085-8.

[22] Courtiol P, Maussion C, Moarii M, et al. Deep learning-based classification of mesothelioma improves prediction of patient outcome [J]. Nat Med, 2019, 25(10): 1519-1525. DOI: 10.1038/s41591-019-0583-3.

[23] 平轶芳, 闫红, 卞修武. 人工智能病理在肿瘤精准医疗时代的应用与挑战[J]. 生命科学, 2022, 34(8): 929-940. DOI: 10.13376/j.cbls/2022103.

[24] 王卓, 吴祺, 王花丽, 等. 人工智能技术在乳腺癌病理诊断中的应用进展[J]. 现代肿瘤医学, 2023, 31(1): 174-177. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4992.2023.01.033.

[25] Qaiser T, Mukherjee A, Pb CR, et al. HER2 challenge contest: a detailed assessment of automated HER2 scoring algorithms in whole slide images of breast cancer tissues [J]. Histopathology, 2018, 72(2): 227-238. DOI: 10.1111/his.13333.

[26] Feng M, Deng Y, Yang L, et al. Automated quantitative analysis of Ki-67 staining and HE images recognition and registration based on whole tissue sections in breast carcinoma [J]. Diagn Pathol, 2020, 15(1): 65. DOI: 10.1186/s13000-020-00957-5.

[27] 吴双, 周育夫. 人工智能在肿瘤放射治疗中的应用[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(8): 161-166.

[28] 张婕. 人工智能在医学中的应用现状与展望[J]. 数字通信世界, 2022(12): 172-174. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7274.2022.12.057.

[29] 刘国慧, 贺云龙, 兰天, 等. 创新型肿瘤放射治疗学研究生培养模式的探索[J]. 中国继续医学教育, 2020, 12(33): 55-58. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9308.2020.33.017.

[30] 薛鹏, 陈栋晖, 朱莉菲, 等. 住院医师规范化培训肿瘤学教学模式探讨[J]. 继续医学教育, 2021, 35(1): 54-55. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6763.2021.01.031.

[31] 徐静, 李晓瑜, 方玉凤, 等. 大数据时代临床医学硕士专业学位研究生临床科研能力培养探索[J]. 中国高等医学教育, 2022(6): 128-130. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2022.06.065.

[32] Brouillette M. AI added to the curriculum for doctors-to-be [J]. Nat Med, 2019, 25(12): 1808-1809. DOI: 10.1038/s41591-019-0648-3.

[33] 李鸿浩, 陈波, 李建平, 等. 医学教育中人工智能应用的现状、问题与对策[J]. 中国循证医学杂志, 2020, 20(9): 1092-1097. DOI: 10.7507/1672-2531.201910092.

[34] Rimmer A. Technology will improve doctors' relationships with patients, says Topol review [J]. BMJ, 2019, 364: l661. DOI: 10.1136/bmj.l661.

[35] 李伟锋, 何峰, 杜育任, 等. 智能医学 赋能未来[J]. 交通医学, 2019, 33(6): 551-554. DOI: 10.19767/j.cnki.32-1412.2019.06.004.

[36] 梅文瀚, 朱坚轶, 苏懿, 等. "4+4" 临床医学人才培养美国模式与交医模式的比较及思考[J]. 中华医学教育探索杂志, 2022, 21(12): 1606-1611. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20221003-01092.

[37] Chan KS, Zary N. Applications and challenges of implementing artificial intelligence in medical education: integrative review [J]. JMIR Med Educ, 2019, 5(1): e13930. DOI: 10.2196/13930.

[38] Kolachalama VB, Garg PS. Machine learning and medical education [J]. NPJ Digit Med, 2018, 1: 54. DOI: 10.1038/s41746-018-0061-1.

[39] 陈犹白, 许育健, 邢家华, 等. 解放军总医院整形修复科硕士研究生科研能力的 "COME" 培养模式[J]. 中华整形外科杂志, 2023, 39(1): 90-94. DOI: 10.3760/cma.j.cn114453-20220331-00091.

(收稿日期:2023-03-20)
(本文编辑:兰明娟)