

人工智能在医学临床、科研和教育中的应用

陈 犀¹,何融泉²,覃弟渊³,林 锐¹,吴科俊¹,李建棣¹,唐宇星¹,

黄永雄³,凌靖文⁴,李建军⁵,龙 禹⁶,苏 静⁴,何慧敏⁴

(1. 广西医科大学第一附属医院病理科,南宁 530021;2. 广西医科大学第一附属医院肿瘤内科,南宁 530021;3. 广西大学计算机与电子信息学院,南宁 530004;4. 广西医科大学信息与管理学院,南宁 530199;5. 广西医科大学第二附属医院普通外科,南宁 530005;6. 广西医科大学第一附属医院医学模拟中心,南宁 530021)



陈犀,教授,广西医科大学第一临床医学院、信息与管理学院博士生导师,外国语学院硕士生导师。比利时布鲁塞尔自由大学肿瘤学与广西医科大学病理学双博士学位。担任中华医学会病理学分会分子病理学组、国际交流合作学组、科普工作组委员,广西医学会病理学分会主任委员,广西医师协会病理科医师分会主任委员。学术专长:人工智能与复杂疾病多模态研究、瑶药壮药疗效及分子病理机制研究、疾病微环境中的代谢重编程与免疫应答调控机制研究。获全国MBBS青年教师英文授课比赛一等奖、全国高校教师教学创新大赛二等奖、中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛银奖。主持多项国家及省部级科研项目,近5年来以第一作者或通信作者发表SCI论文100余篇,荣获广西自然科学奖三等奖、广西医药卫生适宜技术推广奖一等奖。多次入选爱思唯尔“中国高被引学者”榜单,进入全球学者库顶尖前10万科学家排名。入选广西壮族自治区医学高层次人才中青年学科骨干培养计划,荣获“广西壮族自治区模范教师”称号。

摘要 近年来,人工智能(AI)迅猛发展,临床医学也随之发生革命性的变化。本研究基于AI在临床医学中的发展进程,以具体临床应用案例为依托展开深入分析,系统探讨了AI在临床医学的多方面应用,包括智能诊断和预后预测、医学教育改革以及临床试验全流程优化等。随着AI在临床医学的广泛应用,其在缓解医疗人员紧缺问题、为患者提供更优质服务的同时,也面临诸多困难与挑战,包括数据异质性、AI模型可解释性差、AI应用临床转换难度大以及数据隐私保护等问题,需要通过提升相关专业水平、建立健全对应政策、加强医工交叉融合等措施,为AI在临床医学各个方面的推广应用提供指引。

关键词 人工智能;临床医学;疾病诊断;医学教育;临床试验

中图分类号: R-05;TP18 文献标志码: A 文章编号: 1005-930X(2025)04-0489-11

DOI: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2025.04.002

The application of artificial intelligence in medical clinics, scientific research and education

CHEN Gang¹, HE Rongquan², QIN Diyuan³, LIN Rui¹, WU Kejun¹, LI Jiandi¹, TANG Yuxing¹, HUANG Yong-xiong³, LING Jingwen⁴, LI Jianjun⁵, LONG Yu⁶, SU Jing⁴, HE Huimin⁴. (1. Department of Pathology, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, China; 2. Department of Medical Oncology, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, China; 3. School of Computer and Electronic Information, Guangxi University, Nanning 530004, China; 4. School of Information and Management, Guangxi Medical University, Nanning 530199, China; 5. Department of General Surgery, the Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530005, China; 6. Medical Simulator Center, the First Affili-

[基金项目] 国家自然科学基金地区科学基金项目(No. NSFC82160762);广西研究生教育创新计划项目(No. JGY2023068);广西壮族自治区卫生健康委员会科研课题资助项目(No. Z-A20240554)

[通信作者] 何慧敏,E-mail:hehuimin@sr.gxmu.edu.cn

[收稿日期] 2025-05-27

ated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, China)

Abstract In recent years, artificial intelligence (AI) has developed rapidly, and clinical medicine has also seen revolutionary changes. This study traces the development process of AI in clinical medicine and conducts an in-depth analysis through specific clinical application cases. It systematically explores the applications of AI in clinical medicine, including intelligent diagnosis and prognosis prediction, reforms in medical education, and optimization of the entire clinical trial process. While the widespread application of AI in clinical medicine alleviates the shortage of medical personnel and provides better services to patients, it also faces numerous challenges, such as data heterogeneity, poor interpretability of AI models, difficulties in translating AI applications to clinical practice, and data privacy concerns. To address these issues, measures such as enhancing professional expertise, establishing comprehensive policies, and strengthening interdisciplinary collaboration between medicine and engineering are needed to guide the broader implementation of AI in clinical medicine.

Keywords artificial intelligence; clinical medicine; disease diagnosis; medical education; clinical trial

随着人工智能(artificial intelligence, AI)技术的快速发展,其在临床医学中的应用正逐步改变传统医疗模式。AI通过强大的数据处理能力和深度学习算法,在疾病诊断、预后分析、医学教育、临床试验设计等多个领域发挥着重要作用^[1-4],能显著提升医疗效率和精准度,如AI驱动的影像分析工具可以辅助医生更快速、准确地识别病变,而基于大数据的个性化治疗方案则为患者提供了更优的治疗选择。

目前, AI在临床工作、医学教育以及临床试验设计等领域中的应用得到快速的发展。在临床工作中,基于深度神经网络的影像识别系统在肺癌、糖尿病视网膜病变等疾病筛查中展现出超越人类专家的敏感性^[5-6]。整合基因组学、蛋白质组学与临床检查数据,使癌症从筛查、诊断、治疗到预后随访都得到严密的监测。通过自然语言处理与行为感知,自动化完成病历书写、检查报告和医嘱生成,可减轻临床医生工作负荷,缓解医疗人力危机^[7]。在临床医学教育领域,大语言模型(large language model, LLM)赋能的虚拟患者系统能动态生成涵盖罕见病、多并发症的交互式病例库,为医学生提供接近真实的模拟诊疗环境。AI通过知识图谱与认知计算技术,将分散的医学文献、指南与真实世界数据转化为结构化知识流。同时, AI能及时评估和反馈学生学习效果,支持个性化学习轨迹规划,使临床医学教学从“标准化灌输”向“能力导向型”转

换。在临床试验设计领域,通过机器学习分析千万级历史试验数据, AI可分析已有研究的设计方案和结果,避免重复出现错误。在试验开始阶段,通过AI学习技术,分析匹配的受试者人群,提高受试者招募率和试验成功率。在试验执行阶段,通过AI对数据高速的分析能力,可以实现远程监测与实时数据分析,在降低试验成本的同时,保障受试者在试验中的安全。

AI在临床医学中有许多不同功能的应用。然而,要在临床医学中广泛推广AI仍面临很多困难和挑战,包括数据隐私与安全、算法偏见、伦理问题等。如何在推动技术创新的同时,确保其安全性、公平性和透明性,成为医疗行业亟待解决的问题。本文对AI在临床医学中的智能诊断、临床医学教育、临床试验设计方面的应用及其面临的挑战进行综述,以期为未来AI与医疗的深度融合提供参考与启示。

1 AI应用的背景

AI在临床医学中应用理念的兴起,是技术演进、医疗需求变革、政策支持与伦理治理探索共同作用的结果,其核心机制涵盖技术发展、模型落地、人机协同及制度保障等多维度。

深度学习、LLM、多模态融合技术的成熟使AI能处理医学影像、基因组学等复杂数据。大数据时

代的到来又为AI提供海量的训练资源。这些进步为AI在临床中的应用提供了技术层面的保障,而医疗资源不均衡、基层诊疗能力不足以及精准医疗的迫切需求,构成了强大的AI应用的驱动力。在此背景下,我国政府出台的相关战略与法规,也为AI落地扫清障碍,比如在《关于进一步完善医疗卫生服务体系的意见》中强调推动AI在医疗领域中的应用,特别是在疾病早期筛查、精准诊疗和健康管理方面。在临床医学逐步迈向精准化、个体化的过程中,多模态医疗数据呈指数级增长,而人类无法将如此大量的临床医学数据快速、有效地结合起来,而AI的数据处理能力为此提供了一个良好的解决方案,成为应对现代医学复杂性挑战、实现医疗质量跃升的新的尝试。

2 AI在临床医学工作中的应用

近年来,国内外AI在临床中应用的研究方法大多基于临床医学图像展开分析,如影像组学、病理组学以及皮肤镜、胶囊结肠镜等专科图像分析,而研究所使用的AI工具由传统的机器学习算法开始向深度学习算法偏移,研究数据也开始向多中心、多组学发展,但研究的方向大部分仍然集中在疾病的诊断和分型预测,也有一部分研究致力于疾病治疗后的预后预测,仅有少部分的研究探索新型生物标志物的预测价值。

2.1 疾病的诊断及分型预测 AI在疾病的诊断、肿瘤淋巴结转移和肿瘤分型的预测方面均取得了显著进展。基于AI的计算机辅助检测/诊断系统已应

用于临床实践,为肿瘤的筛查诊断提供帮助。近年来,使用AI技术进行临床图像分析构建疾病诊断与分型预测模型的研究越来越多(表1)。在肿瘤诊断及分级中, AI以其优秀的学习能力和快速处理大量数据的能力,利用机器学习或深度学习算法对全视野数字切片图像进行分析。通过多实例学习方法,在不需要像素级注释的情况下大规模训练分类模型,以处理大规模数据集,减少人为误差,提高诊断效率和准确率。

近年来,大多数使用AI技术进行疾病诊断和分级的研究仍往往提高模型预测效率的方向努力^[8-15],但有一部分研究已不局限于单病种的研究,而倾向于往多病种和多种生物标志物的通用病理诊断预测模型的方向发展^[15-16]。尽管各类诊断模型的效能已经达到一个令人满意的程度,但是由于对图像前期处理的“苛刻”要求,使得各类模型的推广应用未能达到预期,比如模型可解释性不充分、前期影像数据感兴趣区域勾画的质量标准不统一、部分多组学病种研究样本量不足等。一部分模型的训练数据依赖于医生的手工标注,在大量数据需求的情境下,人工操作难免会出现主观的误差,导致构建的模型缺乏客观真实性。此类模型未来需要解决的难题之一是在保证训练数据准确、客观的同时,还要简化模型推广时图像数据处理的流程。除此之外,数据异质性和标注差异性也会导致预测模型在临床应用中难以推广。因此,在未来AI模型研究中,相比于提高模型预测效能,更重要的是增加模型的可解释性和提升模型的普及程度。

表1 基于AI的疾病诊断与分型预测模型应用及性能

病种	使用数据来源	模型性能	病例数	应用	特点	机器学习算法	机器学习模型	参考文献
肺转移瘤和非钙化肺错构瘤	CT	SVM模型中训练集AUC为0.985,内部验证集AUC为0.952,外部验证集AUC为0.938	非钙化肺错构瘤221例,肺转移瘤120例	肺转移瘤和非钙化肺错构瘤鉴别	基于CT的临床特征模型+影像组学+深度学习模型显示区分肺转移瘤和非钙化肺错构瘤的巨大潜力	SVM、RF、KNN、SGD、XGBoost	有监督学习、多模态	[8]
乳腺癌中浸润性导管癌和导管原位癌	超声	logistic回归模型中验证组和测试组的AUC分别为0.803和0.770	629例	浸润性导管癌和导管原位癌鉴别	结合瘤内和瘤周超声影像组学验证了区分浸润性导管癌和导管原位癌的可行性	LR	有监督学习、单模态	[9]

续表1

病种	使用数据来源	模型性能	病例数	应用	特点	机器学习算法	机器学习模型	参考文献
甲状腺乳头状癌	超声	训练集中AUC为0.970, 外部验证集中的AUC为0.820	2 506例	甲状腺乳头状癌亚型分类	深度学习与放射学特征结合是潜在评估甲状腺乳头状癌患者预后和指导抗炎中药治疗的工具	Lasso LR	监督学习、单模态	[10]
前列腺癌	HE染色切片	癌症检测训练集AUC为0.997, 外部验证集AUC为0.991; 区分Gleason评分高级别和低级别的外部验证集AUC分别为0.971和0.941	训练集549张 HE染色切片; 测试集2 501张 HE染色切片; 外部验证集1 627张HE染色切片	前列腺癌诊断; Gleason评分预测	通过穿刺活检HE染色切片可以准确地检测和评估前列腺癌	CNN	有监督学习、单模态	[11]
黑色素瘤	皮肤镜图像	获取到的不同图像预测黑色素瘤的AUC均高于0.922	514例	黑色素瘤诊断	使用不同相机类型的人工智能算法可以与专家相似的精度检测黑色素瘤, 从而开发出低成本的筛查方法	DERM	弱监督学习、单模态	[12]
结肠息肉	胶囊结肠镜	结肠息肉诊断准确率达97.3%	745例	结肠息肉检测	在内窥镜归档系统中建立带注释数据集的自动采集系统, 有助于开发内窥镜诊断AI系统	RetinaNet	有监督学习、单模态	[13]
早产儿视网膜病变	眼底图像	专家诊断一致性的 κ 值从0.692提升到0.806	110例	早产儿视网膜病变辅助诊断	通过AI辅助血管严重程度评分, 可以减少诊断错误, 并改善临床结果	i-ROP DL	弱监督学习、单模态	[14]
9种常见肿瘤和7种罕见肿瘤	HE染色切片	Virchow对9种常见肿瘤的诊断AUC均为0.911以上; 对罕见的7种肿瘤的诊断AUC均为0.841以上; 泛癌模型在预测前列腺癌、乳腺癌和前列腺癌中的AUC分别为0.980、0.985和0.971; 对9种肿瘤的生物标志物的预测AUC均为0.827以上	119 629例	9种常见肿瘤和7种罕见肿瘤诊断	Virchow模型除了可以对生物标志物预测和细胞鉴定进行评估, 还可以实现泛癌症检测; 在训练数据较少的情况下, 基于Virchow的泛癌症检测模型可以达到与临床级模型相似的性能	Swin-trans-former、ViTs、Ibot、DINOv2、MoCov3	弱监督学习、单模态	[15]
肺腺癌、18种泛癌、9种肿瘤	HE染色切片和IHC切片	肺腺癌诊治相关的5个基因AUC为0.626; 泛癌TMB预测AUC为0.708; 在9种肿瘤的分型预测中AUC均为0.700以上	超过30 000例患者的活检和手术切除制作的HE染色切片和IHC切片	9种肿瘤诊断; 肺腺癌5种基因预测; 18种泛癌生物标志物预测; TMB预测	实现多种肿瘤亚型诊断、肿瘤基因表达预测、泛癌生物标志物和TMB预测	DINOv2	弱监督学习、单模态	[16]

2.2 疾病进展和预后预测以及新型生物标志物的发现 AI在临床医学中应用的早期研究多集中于肿瘤诊断及分型研究,并推出许多预测效能良好的模型,近几年的研究重心开始向肿瘤的进展预测和预后预测偏移。相比于诊断模型,进展和预后预测可以为医生制定治疗方案提供指导,避免医疗资源浪费,为患者提供有效的治疗,避免投入不必要的资金和时间。

基于AI技术,已经有许多研究通过临床医学图像构建出肿瘤进展和预后的预测模型,通过术前或治疗前的检查可以分析患者淋巴结转移情况、术后或治疗后并发症情况以及治疗的效果(表2)^[17-20]。尽管AI影像组学可以对许多疾病的进展和具体的治疗方案疗效进行准确的预测,为患者生成个性化的预后预测模型,帮助医生制定更加精准的治疗方案,从而实现精准医疗,但大部分研究由于前沿治疗方案的样本量少,多是单中心研究,预测模型不具有推广应用的价值。并且由于此类研究均以回顾性研究为主,收集样本的时间跨度较长,影像的格式参数多种多样,导致数据集异构。未来充分利

用好云端数据库和大数据,在多个中心建立密切联系,形成统一标准的共享云端数据库,既能统一图像标准,又能丰富样本数量。

许多研究者也致力于利用AI影像组学技术开展疾病机制研究,并开发相关的分析工具和预测模型,比如构建模型预测肿瘤的重要基因表达量,开发出影像组学特征作为免疫治疗效果预测的标志物以及开发深度学习提取特征作为标志物来预测肿瘤分化程度^[21-22]。这些研究为医疗研究人员未来在疾病机制研究提供理论基础,减少人为误差并提高医疗效率。

尽管众多研究已经通过AI预测模型在研究中证明了各种影像组学特征作为新型生物标志物具有反映肿瘤进展和治疗效果等潜在作用,但仍缺乏在机制上的验证,使得这些生物标志物只能起到提示的作用而不能作为患者诊疗过程中的标准予以使用。未来需要将AI技术与体内外实验结合起来,把AI技术发现的新型生物标志物的作用,通过具体的实验进行验证,进而应用到临床工作中。

表2 AI在不同疾病诊断中的应用与性能

病种	使用数据来源	模型性能	病例数	应用	特点	机器学习算法	机器学习模型	参考文献
乳腺癌	乳腺X线摄影(MG)和磁共振成像(MRI)	多层感知器(MLP)模型中AUC为0.846,准确率为0.765	270例	乳腺癌腋窝淋巴结转移预测	各种机器学习算法构建的基于MG和MRI的多模态影像组学、深度学习和组合模型在腋窝淋巴结转移的术前预测中表现出良好的性能	LR、朴素贝叶斯、SVM、KNN、XGBoost、LightGBM、AdaBoost、MLP	有监督学习、多模态	[17]
脑膜瘤	MRI	肿瘤增强(TE)和瘤周脑水肿(PTBE)区域的影像组学模型(训练集平均AUC为0.850,验证集平均AUC为0.770)	148例	脑膜瘤术后脑水肿和脑出血鉴别	无创地预测脑膜瘤切除术后进行性脑水肿和脑出血	LR、SVM	有监督学习、单模态	[18]
转移性非半细胞性生殖细胞瘤	CT	AUC为0.910	167例	转移性非半细胞性生殖细胞瘤化疗后腹膜后残留肿块预测	影像组学—miRNA机器学习预测系统以预测转移性非半细胞性生殖细胞瘤患者顺铂化疗后腹膜后肿块病理类型	LR、SVM、RF、ADA、GBDT、XGBoost	有监督学习、多模态	[19]
晚期宫颈癌	动态MRI	治疗期间与治疗前的MRI影像组学特征差构建出的预测模型在预测晚期宫颈癌的进展和预后AUC分别为0.812和0.868	111例	晚期宫颈癌化疗预后预测	为治疗前、后影像组学特征的动态变化提供了更好的预测性能	SVM	有监督学习、单模态	[20]

2.3 AI工具开发 在利用AI影像组学技术实现对疾病诊断和治疗相关研究之外,许多研究者也致力于利用AI在临床工作中工具的开发,将繁琐重复的环节用AI技术来替换,既可以减轻医生的工作压力,也可以减少人为误差,不仅提高了诊疗过程的准确性和效率,还为个性化医疗和医学研究提供了强大的支持。

Yang等^[23]开发出AI手术检测和跟踪的深度学习计算机视觉算法工具用于评估结直肠手术的技术熟练程度,并分析高熟练度手术的特点。Miao等^[24]开发了用于WSI分割注释的开源工具Quick Annotator。基于U-net的深度学习算法,Quick Annotator可以调整不满意的注释部分,使模型自动注释的准确率更高,帮助病理医生快速标注出各类染色切片上的各种组织,从而提高医生的诊断效率和准确率。除了在WSI上运用的注释工具,为了减少重复的病理诊断流程,许多研究者开始利用LLM来生成病理报告或提取病理报告中的有效信息。通过LLM可以对诊断报告进行分析,从而简化诊断过程,并为患者提供更通俗易懂的报告解读^[25]。附加上基础视觉编码器,LLM甚至可以实现对医学图像的分析^[26]。通过AI可以帮助医生在工作过程中完成枯燥的、重复性高的工作,提高工作效率并减少人为误差。但是由于数据来源的单一性,训练模型可能出现过拟合的情况。

有许多研究者也致力于开发新的工具,为既有数据赋予新的应用可能性。Chatrian等^[27]开发出AI工具,以识别患者的HE染色WSI图像是否需要进行免疫组织化学染色(IHC)检查。通过减少不必要的IHC检查,既避免患者资金和时间的浪费,也能减少需要IHC检查患者排队的时间。De Haan等^[28]则是运用深度学习算法,将肾脏穿刺活检的HE染色图像转变为Masson三色、PAS和琼斯银染色图像,提高了各种非肿瘤性肾脏疾病的诊断效能。

在检查之前,通过AI对患者进行简单快速的判别,既能避免过度检查,又能减少医疗资源的浪费。AI工具也可以为医务工作者提供手术评估、染色分析等辅助诊疗功能,减少不必要的人工投入,优化医疗资源分配。在未来,这些AI技术开发的工具可

以减少医疗工作中枯燥重复的工作,减轻医务人员的工作压力,简化患者的诊治流程,从而提高医疗服务质量和。

3 AI在临床医学教育中的应用

近年来,以DeepSeek、文心一言、讯飞星火、ChatGPT、Gemini和Claude为代表的LLM引领了临床医学教育行业的新一轮数字化转型。诸多研究机构与企业亦相继推出LLM。例如,Google发布了BERT、T5、LaMDA、PaLM及Gemini 1.5 Pro,NVIDIA推出了Megatron-Turing NLG,Meta研发了Llama 2。LLM具备编码医学知识、自动化处理医疗文档、增强远程医疗互动以及辅助临床试验注册的潜力^[29]。与其他LLM不同,DeepSeek的离线部署解决了部分数据隐私问题,并增强了对医学知识和科学推理的适应性,但这也提出了新的道德和监管挑战。AI在临床医学教育中通过创新教学方法、丰富教学内容和优化教学评价,为医学教育带来了新的机遇和变革^[30-33]。

AI通过构建虚拟病例库与三维解剖模型,将抽象的医学概念具象化,极大拓展了传统的教学方法,使学生能够更直观地理解复杂知识。如ChatGPT生成的动态临床情境对话,让学生通过与AI模拟患者的交互式问答,培养病史采集与鉴别诊断能力^[34-37]。此外,AI与VR/AR技术深度融合,创造沉浸式实训场景,手术模拟系统通过触觉反馈装置与实时操作评估,帮助医学生在零风险环境下掌握操作规范^[38-40]。

AI能够基于学习行为分析,为学生推送个性化的教学内容,针对学生知识盲区进行精准辅导,显著提升学习效率。同时,AI通过挖掘海量文献建立的循证知识图谱,辅助教师动态更新教学案例,确保教学内容与临床实践同步发展^[41]。

AI系统通过智能评估与反馈机制,自动生成评估题目并进行自动评分,为学生提供客观、全面的评价结果及改进建议。基于学生学习数据的全景分析,AI能够识别知识结构中的薄弱环节,为教师提供教学改进的依据。

当前AI教育应用仍面临数据隐私、伦理审查等

挑战,但其在打破时空限制、促进教育公平方面的潜力已获学界认可。要通过AI重塑医学教学模式并构建协同治理体系,需要从技术支持、人才培养以及制度保障各方面着手解决。在技术层面,需通过构建医疗数据库,通过联邦学习实现多中心数据协同,并应用可解释性AI提升教学透明度;在教师人才培养方面,需建立AI能力认证体系,包括系统操作、算法开发以及伦理审核等方面,并将AI课程设计纳入评审;在制度保障方面,关键在于建立健全医学教育AI相关法律法规,规范虚拟病例版权与考核效力,同时需要定期评审算法公平性。未来AI与医学教育的深度融合,将推动教育模式从知识灌输向能力培养的范式转变。

4 AI在临床试验设计中的应用

AI的发展为临床试验的各个环节带来了便利,许多新兴的方法以及标准的诞生简化了临床试验的整个流程。在临床试验设计、受试者招募、试验效果评估以及试验安全性监测等方面都可以使用AI技术,以减少资源浪费和人工误差,从而达到降低成本和提高成功率的目的。

临床试验设计是决定试验成功的关键,通过AI技术可以合理评估试验可行性。AI技术可以快速识别已有研究的设计要素和结果,提高数据处理速度,避免重复他人错误,优化试验设计方案^[42-43]。

受试者招募是AI在临床试验中能起到重要作用的另外一个环节,通过AI技术可以提高试验招募受试者的成功率。许多研究者通过AI技术筛选不同中心的受试者数据,或者搭建数字平台来汇集大量的受试者信息,提高招募效率,增加受试者参与度^[44-46]。AI技术具有快速处理大量数据的能力,可以在众多患者中找到符合临床试验要求的受试者,增加招募的受试者,提高试验的成功率。通过AI技术可以减少招募时间,减少工作量和研究成本,增加受试者数量,增加入组受试者的符合程度,产生更有价值的数据,从而提高临床试验的成功率。

在临床试验的过程中,对受试者的情况进行监测和安全性评估也是确保试验能顺利进行的重要步骤。利用AI技术可以快速处理大量的受试者信

息,并且减少人为误差。AI技术快速对受试者的情况进行评估,及时反映受试者的健康情况,提高试验的安全性^[47-48]。AI技术使研究者可以在临床试验中及时了解受试者的情况,避免不良事件发生,提高临床试验的安全性和成功率。

目前基于AI技术的临床试验尚未能大范围推广,一部分原因是研究纳入的样本来源过于局限,另一部分原因是尚无明确的标准来规范使用不同地区的数据。要注重数据加密以及伦理审查,确保受试者隐私受到保护。在受试者招募环节,可以开发患者数字孪生模型与去中心化试验平台,从而缩短研发周期并解决受试者招募延迟问题。未来在临床试验中,应该通过AI技术开发出个体化的治疗方法,可以为每位患者提供独特、安全、有效的治疗药物,而不是只对某种药物进行简单的试验。

5 AI在临床诊断、试验设计以及医学教育中面临的困难

当前,不管是常规的医学图像分析、医学教育还是临床试验设计, AI的应用都得到快速的发展。在这些领域中有许多高效的AI模型,甚至在某些人为无法实现的操作中, AI都能有很好表现。Deep-Seek也因低成本、开源而在医院系统中被快速采用,但从AI算法的开发到真正运用到临床工作中的案例却十分稀少^[49],将AI技术落地到临床应用仍要面对将临床安全与监管、数据标准化以及模型算法突破等诸多困难。

5.1 数据质量差和标准化不规范 医学图像的标注需要专业的医学知识,但标注者可能存在主观因素,导致标注结果不准确或不一致。同时,手动标注的图像需要大量人工投入,而AI训练需要获取大规模的高质量医学图像数据,人工标注需要长时间才能满足AI的训练需求^[50]。图像数据不足会导致训练数据的多样性和代表性不足,影响AI模型的泛化能力,无法准确地对各种病例进行分析和诊断。此外,某些疾病的医学图像数据相对较少,或者某些类别的数据在总体数据集中占比较低,这会导致验证数据集的不平衡。在这种情况下,模型可能会对常见类别的疾病表现较好。

通过多中心收集的图像数据可以弥补单中心数据量不足,但容易导致数据格式与预处理不一致。不同医院使用的设备和成像参数可能不同,导致医学图像的格式、分辨率、对比度等存在差异^[51-52]。此外,数据预处理的方法也不尽相同,部分医院对图像进行了特定的滤波或增强处理,而其他医院无法实现,这使得AI训练时难以统一处理和分析这些图像。为了统一数据格式以方便AI模型能“读懂”,需要开发新的方法或者应用来标准化因设备不同或设置参数不同而导致的数据格式不统一。各个研究中心也可以搭建可共享的数据云,一方面可以增加训练模型的数据样本数量和样本种类,提高模型的性能,另一方面也能避免因数据孤岛导致的模型过拟合的情况,提高模型的泛化能力。

5.2 AI模型可解释性缺乏统一标准 许多先进的AI算法是复杂的黑箱模型,其决策过程难以理解和解释。在医疗领域,医生和患者需要了解AI系统的诊断依据和可靠性,以便做出合理的决策。尽管目前已有部分研究开始注重自身模型的可解释性^[53-54],但目前大多数AI模型无法提供清晰的解释,限制了其在临床实践中的应用。对于这一问题,研究人员需要开发透明化、可视化的AI模型,以满足循证医学要求并推广到实际的临床工作中。这需要深化医工结合,结合医学专业知识,将诊断结果在训练图像或测试图像上进行可视化,并通过多中心数据进行验证。

5.3 模型缺乏外部验证 为了进行有效的外部验证,需要有独立的验证数据集,该数据集应与训练数据集在数据分布、疾病类型、患者特征等方面具有相似性,但又不能完全相同。然而,在实际工作中,获取这样的独立验证集不容易,可能需要跨多个医疗机构合作,并涉及数据共享、隐私保护等问题。对于一些罕见病或特殊病例,可获取的医学图像数据量较少,难以满足AI模型训练的需求,导致模型在小样本数据上学习到的特征可能不够全面和准确,无法很好地推广到其他病例或更广泛的临床场景中。

数据共享可以提高模型的泛化能力,但隐私泄露的风险会相应增加。这就需要加强数据加密技术,在数据收集、存储、传输、调用等各个环节实施

加密措施。同时,数据中心需要根据目前公认的AI指南,比如SPIRIT-AI和CONSORT-AI,建立健全数据保护和伦理审查的制度,保证研究符合医学伦理原则。

6 小结及展望

AI在临床医学中的应用目前主要集中在临床智能诊疗方面,而且在多个应用领域都有明显的突破,但也存在着各种各样急需解决的难题。准确构建高效的AI预测模型需要收集高质量、多中心的医学图像数据,同时要考虑增强AI模型的可解释性,并且要严格规范图像数据的预处理。关于AI在医学教育中的应用潜力已有很多的研究成果,其对于提高医务人员素质和医疗服务质量有很大的帮助,但AI与医学教育的深度融合仍避免不了数据隐私和伦理审查的问题。AI也为临床试验设计和执行带来不少便利,试验设计、受试者招募和安全性监测都可以利用AI来辅助完成。但由于数据来源异质性和缺乏统一标准, AI在临床试验设计和执行方面无法推广应用。总之, AI在临床医学中的诊治、教学及临床试验设计等领域均已展现出应用价值,但仍具有很大的发展潜力,未来希望能够建立健全AI在临床各个方面应用的标准和审查原则,吸引更多研究者投身相关项目研究,深化医工结合,促进多学科交叉发展。

随着硬件设备更新换代和算法的升级迭代,未来的AI在临床医学中的发展将会更加迅猛。可以想象在不久的将来, AI将会帮助我们实现个性化精准治疗:患者在经过简单的检查后, AI可自动给予诊断结果和治疗方案;机器人能辅助手术治疗;药物合成模型能生成个性化药物;根据检查结果监测患者状态,灵活制定随访方案。我们要把握好大数据时代的各种机遇,准备好应对各种风险,以稳步推进健康中国行动,为人类健康事业贡献力量。

参考文献:

- [1] 高 续,庞 奇,张宏杰,等.基于深度学习自动分割技术的胸部CT影像组学模型预测非小细胞肺癌EGFR基

- 因突变[J]. 放射学实践, 2025, 40(5): 573-578.
- [2] 姜 伟, 常秀君, 曾 帆, 等. 人工智能在慢加急性肝衰竭预后预测模型中的研究现状[J]. 临床肝胆病杂志, 2024; 40(9): 1891-1896.
- [3] 赵 燮, 郝 迪, 赵 健, 等. 人工智能在侵袭性真菌感染临床教学中的应用模式探讨[J]. 中国真菌学杂志, 2025, 20(1): 82-84.
- [4] FOUNTZILAS E, TSIMBERIDOU A M, VO H H, et al. Clinical trial design in the era of precision medicine[J]. Genome medicine, 2022, 14(1): 101.
- [5] ZHOU H Y, YU Y Z, WANG C D, et al. A transformer-based representation-learning model with unified processing of multimodal input for clinical diagnostics[J]. Nature biomedical engineering, 2023, 7(6): 743-755.
- [6] DAI L, WU L, LI H T, et al. A deep learning system for detecting diabetic retinopathy across the disease spectrum [J]. Nature communications, 2021, 12: 3242.
- [7] 高晓苑, 刁晓林, 徐 帆, 等. 生成式人工智能应对病历书写挑战的应用探索[J]. 中国医院管理, 2025, 45(5): 76-79.
- [8] LIU Y Z, REN H, PEI Y B, et al. Development of a CT-based comprehensive model combining clinical, radiomics with deep learning for differentiating pulmonary metastases from noncalcified pulmonary hamartomas: a retrospective cohort study[J]. International journal of surgery, 2024, 110(8): 4900-4910.
- [9] ZHANG H, ZHAO T, DING J Y, et al. Differentiation between invasive ductal carcinoma and ductal carcinoma in situ by combining intratumoral and peritumoral ultrasound radiomics[J]. Biomedical engineering online, 2024, 23(1): 117.
- [10] LI Q, ZHANG W T, LIAO T, et al. An AI-driven preoperative radiomic subtype for predicting the prognosis and treatment response of patients with papillary thyroid carcinoma[J]. Clinical cancer research, 2025, 31(1): 139-150.
- [11] PANTANOWITZ L, QUIROGA-GARZA G M, BIEN L, et al. An artificial intelligence algorithm for prostate cancer diagnosis in whole slide images of core needle biopsies: a blinded clinical validation and deployment study [J]. The lancet digital health, 2020, 2(8): e407-e416.
- [12] PHILLIPS M, MARSDEN H, JAFFE W, et al. Assessment of accuracy of an artificial intelligence algorithm to detect melanoma in images of skin lesions[J]. JAMA net-work open, 2019, 2(10): e1913436.
- [13] HORI K, IKEMATSU H, YAMAMOTO Y, et al. Detecting colon polyps in endoscopic images using artificial intelligence constructed with automated collection of annotated images from an endoscopy reporting system[J]. Digestive endoscopy, 2022, 34(5): 1021-1029.
- [14] COYNER A S, YOUNG B K, OSTMO S R, et al. Use of an artificial intelligence-generated vascular severity score improved plus disease diagnosis in retinopathy of prematurity[J]. Ophthalmology, 2024, 131(11): 1290-1296.
- [15] VORONTSOV E, BOZKURT A, CASSON A, et al. A foundation model for clinical-grade computational pathology and rare cancers detection[J]. Nature medicine, 2024, 30(10): 2924-2935.
- [16] XU H W, USUYAMA N, BAGGA J, et al. A whole-slide foundation model for digital pathology from real-world data[J]. Nature, 2024, 630(8015): 181-188.
- [17] GUO F Y, SUN S W, DENG X Q, et al. Predicting axillary lymph node metastasis in breast cancer using a multimodal radiomics and deep learning model[J]. Frontiers in immunology, 2024, 15: 1482020.
- [18] HU K J, TAN G R, LIAO X Q, et al. Multi-parameter MRI radiomics model in predicting postoperative progressive cerebral edema and hemorrhage after resection of meningioma[J]. Cancer imaging, 2024, 24: 149.
- [19] LI X D, DING R J, LIU Z H, et al. A predictive system comprising serum microRNAs and radiomics for residual retroperitoneal masses in metastatic nonseminomatous germ cell tumors[J]. Cell reports medicine, 2024, 5(12): 101843.
- [20] CAI C, XIAO J F, CAI R, et al. Longitudinal dynamic MRI radiomic models for early prediction of prognosis in locally advanced cervical cancer treated with concurrent chemoradiotherapy[J]. Radiation oncology, 2024, 19(1): 181.
- [21] SUKHADIA S S, SADEE C, GEVAERT O, et al. Machine learning enabled prediction of biologically relevant gene expression using CT-based radiomic features in non-small cell lung cancer[J]. Cancer medicine, 2024, 13(24): e70509.
- [22] SAKO C, DUAN C, MARESCA K, et al. Real-world and clinical trial validation of a deep learning radiomic biomarker for PD-(L)₁ immune checkpoint inhibitor response

- in advanced non-small cell lung cancer[J]. *JCO clinical cancer informatics*, 2024, 8: e2400133.
- [23] YANG J H, GOODMAN E D, DAWES A J, et al. Using AI and computer vision to analyze technical proficiency in robotic surgery[J]. *Surgical endoscopy*, 2023, 37(4): 3010-3017.
- [24] MIAO R T, TOTH R, ZHOU Y, et al. Quick Annotator: an open-source digital pathology based rapid image annotation tool[J]. *The journal of pathology clinical research*, 2021, 7(6): 542-547.
- [25] TINI P, DONNINI F, MINNITI G. Refining target delineation strategies for multifocal glioblastoma: a step towards personalized radiotherapy[J]. *Journal of neuro-oncology*, 2025, 172(2): 491-492.
- [26] LU M Y, CHEN B W, WILLIAMSON D F K, et al. A multimodal generative AI copilot for human pathology[J]. *Nature*, 2024, 634(8033): 466-473.
- [27] CHATRIAN A, COLLING R T, BROWNING L, et al. Artificial intelligence for advance requesting of immunohistochemistry in diagnostically uncertain prostate biopsies [J]. *Modern pathology*, 2021, 34(9): 1780-1794.
- [28] DE HAAN K, ZHANG Y J, ZUCKERMAN J E, et al. Deep learning-based transformation of H&E stained tissues into special stains[J]. *Nature communications*, 2021, 12: 4884.
- [29] 王祖恒, 韦春梦, 鲁文浩, 等. 人工智能在智能医疗保健中的应用研究[J]. 广西医科大学学报, 2025, 42(1): 1-8.
- [30] BOSCARDIN C K, GIN B, GOLDE P B, et al. ChatGPT and generative artificial intelligence for medical education: potential impact and opportunity[J]. *Academic medicine*, 2024, 99(1): 22-27.
- [31] LEE H. The rise of ChatGPT: Exploring its potential in medical education[J]. *Anatomical sciences education*, 2024, 17(5): 926-931.
- [32] FENG S W, SHEN Y. ChatGPT and the future of medical education[J]. *Academic medicine*, 2023, 98(8): 867-868.
- [33] TEMSAH A, ALHASAN K, ALTAMIMI I, et al. Deep-Seek in healthcare: revealing opportunities and steering challenges of a new open-source artificial intelligence frontier[J]. *Cureus*, 2025, 17(2): e79221.
- [34] MENG X B, YAN X Y, ZHANG K, et al. The application of large language models in medicine: a scoping review [J]. *iScience*, 2024, 27(5): 109713.
- [35] OR A J, SUKUMAR S, RITCHIE H E, et al. Using artificial intelligence chatbots to improve patient history taking in dental education (Pilot study)[J]. *Journal of dental education*, 2024, 88(S3): 1988-1990.
- [36] MARSHALL C, FORBES J, SEIDMAN M D, et al. Artificial intelligence for diagnosis in otologic patients: is it ready to be your doctor? [J]. *Otology & Neurotology*, 2024, 45(8):863-869.
- [37] LEYPOLD T, SCHÄFER B, BOOS A M, et al. Artificial intelligence-powered hand surgery consultation: GPT-4 as an assistant in a hand surgery outpatient clinic[J]. *The journal of hand surgery*, 2024, 49(11): 1078-1088.
- [38] KNUDSEN J E, GHAFAR U, MA R Z, et al. Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery[J]. *Journal of robotic surgery*, 2024, 18(1): 102.
- [39] FAZLOLLAHI A M, BAKHAIDAR M, ALSAYEGH A, et al. Effect of artificial intelligence tutoring vs expert instruction on learning simulated surgical skills among medical students: a randomized clinical trial[J]. *JAMA network open*, 2022, 5(2): e2149008.
- [40] BOURDILLON A T, GARG A, WANG H, et al. Integration of reinforcement learning in a virtual robotic surgical simulation[J]. *Surgical innovation*, 2023, 30(1): 94-102.
- [41] BAKKUM M J, HARTJES M G, PIËT J D, et al. Using artificial intelligence to create diverse and inclusive medical case vignettes for education[J]. *British journal of clinical pharmacology*, 2024, 90(3): 640-648.
- [42] LEE K, PAEK H, HUANG L C, et al. SEETrials: Leveraging large language models for safety and efficacy extraction in oncology clinical trials[J]. *Informatics in medicine unlocked*, 2024, 50: 101589.
- [43] HARRER S, SHAH P, ANTONY B, et al. Artificial intelligence for clinical trial design[J]. *Trends in pharmacological sciences*, 2019, 40(8): 577-591.
- [44] BECHELLI M L, IVANOVA K, TAN S S, et al. ImpACT project: improving access to clinical trials in Victoria, an artificial intelligence-based approach[J]. *JCO clinical cancer informatics*, 2025, 9: e2400137.
- [45] BIKOU A G, DELIGIANNI E, DERMICKI-GKANA F, et al. Improving participant recruitment in clinical trials: comparative analysis of innovative digital platforms[J]. *Journal of medical internet research*, 2024, 26: e60504.
- [46] GHOSH S, ABUSHUKAIR H M, GANESAN A, et al.

- Harnessing explainable artificial intelligence for patient-to-clinical-trial matching: a proof-of-concept pilot study using phase I oncology trials[J]. *Plos one*, 2024, 19(10): e0311510.
- [47] JIMENEZ-MAGGIORA G A, DONOHUE M C, RAFII M S, et al. Artificial intelligence-enabled safety monitoring in Alzheimer's disease clinical trials[J]. *The journal of prevention of Alzheimer's disease*, 2025, 12(1): 100002.
- [48] TANNER J, ROCHON M, HARRIS R, et al. Digital wound monitoring with artificial intelligence to prioritise surgical wounds in cardiac surgery patients for priority or standard review: protocol for a randomised feasibility trial (WISDOM) [J]. *BMJ open*, 2024, 14(9): e086486.
- [49] NAGENDRAN M, CHEN Y, LOVEJOY C A, et al. Artificial intelligence versus clinicians: systematic review of design, reporting standards, and claims of deep learning studies[J]. *British medical journal*, 2020, 368: m689.
- [50] HONG G S, JANG M, KYUNG S, et al. Overcoming the challenges in the development and implementation of artificial intelligence in radiology: a comprehensive review of solutions beyond supervised learning[J]. *Korean journal of radiology*, 2023, 24(11): 1061-1080.
- [51] LE T D, SHITIRI N C, JUNG S H, et al. Image synthesis in nuclear medicine imaging with deep learning: a review [J]. *Sensors*, 2024, 24(24): 8068.
- [52] PETRUŠIĆ I, CHIANG C C, GARCIA-AZORIN D, et al. Influence of next-generation artificial intelligence on headache research, diagnosis and treatment: the junior editorial board members' vision-part 2[J]. *The journal of headache and pain*, 2025, 26(1): 2.
- [53] DIAO J A, WANG J K, CHUI W F, et al. Human-interpretable image features derived from densely mapped cancer pathology slides predict diverse molecular phenotypes[J]. *Nature communications*, 2021, 12: 1613.
- [54] EGHBALI R, NEDELEC P, WEISS D, et al. Automated lesion and feature extraction pipeline for brain MRIs with interpretability[J]. *Neuroinformatics*, 2025, 23(1): 2.

本文引用格式:

陈 罂,何融泉,覃弟渊,等.人工智能在医学临床、科研和教育中的应用 [J].广西医科大学学报, 2025, 42(4): 489-499.DOI:10.16190/j.cnki.45-1211/r.2025.04.002
CHEN G, HE R Q, QIN D Y, et al. The application of artificial intelligence in medical clinics, scientific research and education [J]. *Journal of Guangxi medical university*, 2025, 42(4): 489-499.DOI:10.16190/j.cnki.45-1211/r.2025.04.002