

医疗领域人工智能应用的研究进展*

任相阁^{1,2}, 任相颖^{2,3}, 李绪辉², 曾宪涛², 訾豪², 施月仙⁴, 黄桥²,
王永博², 余丽娜^{2,5}, 翟文生^{6**}, 靳英辉^{2**}

(1. 河南中医药大学儿科医学院 郑州 450000; 2. 武汉大学中南医院循证与转化中心 武汉 430071; 3. 河南大学
护理与健康学院 开封 475000; 4. 北京大学护理学院 北京 100000; 5. 武汉大学中南医院 武汉 430071;
6. 河南中医药大学第一附属医院 郑州 450000)

摘要:人工智能引发了医疗领域的数字革命,在推动行业发展方面具有极大潜力。本研究围绕临床诊疗、医学研究和公共卫生三个基本场景,聚焦人工智能与传统中医药的交叉与融合,并着重介绍人工智能在疾病诊断、决策支持、医学研究以及重大公共卫生事件中的应用。虽然人工智能在诸多方面显示出独特优势,但仍存在透明度不高、缺乏安全性评估和相关法律法规监管等问题需要谨慎解决,以促进人工智能技术在医疗领域的推广。

关键词:人工智能 中医药 辅助诊断 决策支持 药物研发 公共卫生

doi: 10.11842/wst.20210408011 中图分类号: R2-03 文献标识码: A

2017年5月,在中国乌镇围棋峰会上,谷歌旗下Deepmind公司开发的一款围棋人工智能(Artificial intelligence, AI)程序AlphaGo以3比0的总比分战胜世界围棋冠军。AlphaGo的胜利再次引发了公众对人工智能的热议,也宣告了在最具挑战性的领域——比如围棋,人工智能已经达到甚至超过人类水平^[1]。

随着AI技术的不断成熟和广泛应用,它已经悄无声息地融入了我们的生活。在医疗数据可用性不断提高和分析技术快速发展的推动下,它正在为医疗领域的发展范式带来转变,在解决卫生保健不平等问题上发挥着重要作用^[2-3]。AI技术不仅可以实现智能化、自动化诊断,还可以辅助临床医生进行决策,为患者提供更加个性化的治疗方案,大大提高了临床诊疗的效率和准确率,并且其强大的数据整合和处理能力在医学研究方面也发挥着不可替代的作用,不仅提供

了更加高效、创新的技术支持,也为临床研究创造了更多机会和可能^[4]。此外,在2020年新冠肺炎肆虐的背景下,AI将流行病学信息和基于互联网的数据源相结合,可实现疾病早期预警、预测及监测、流行趋势的分析和可视化,缩短发布相关政策或信息的时间,有效实现了针对疫情的防控救治,显示出其应对重大突发公共卫生事件的极大优势。

近年来,我国开始大力推行“互联网+健康医疗”的政策方针和发展理念,AI技术在医疗领域的应用不断扩展和延伸。中医药作为我国传统的医学,具有自己独特的理论体系与发展方式,将AI引入中医药的发展必定为中国传统医学向智能化、现代化转变提供动力,因此本文围绕临床诊疗、医学研究和公共卫生三个场景,全面介绍AI技术在医疗领域的应用,并聚焦AI技术在各个场景中如何与传统中医药实现交叉与

收稿日期:2021-04-08

修回日期:2022-01-13

* 国家科学技术部国家重点研发计划数字诊疗装备研发重点专项(2016YFC0106300):微创等离子手术体系及云规划解决方案,负责人:王行环;国家科学技术部国家重点研发计划科技助力经济2020重点专项(国科生字[2020]18号):微创等离子手术体系研发和产业化,负责人:王行环;武汉大学中南医院转化医学及交叉学科研究联合基金(ZNJC201917):基于深度学习的良性前列腺增生诊治评估决策辅助系统研究,负责人:曾宪涛。

** 通讯作者:翟文生,博士,教授,主任医师,博士研究生导师,主要研究方向:中医药防治儿科肾脏相关疾病;靳英辉,博士,副教授,硕士研究生导师,主要研究方向:临床实践指南方法学、实施科学、计算机辅助决策支持。

融合,以加深临床工作者对AI技术的认识和了解,期为日后更深层次的相关研究提供参考,推动AI技术在医疗领域的推广和应用。

1 人工智能简介

AI赋予计算机执行认知功能的能力,如解决问题、目标识别、基于知识进行推理和学习等^[5],通过模拟人类的意识和思维过程,做出与人类智能相似的反应和行为^[6]。AI涵盖了机器学习和深度学习,深度学习又属于机器学习的子领域^[7]。机器学习开发的系统具有使用统计模型从数据实例中学习的能力,而不需要显式编程^[8],分为监督学习和无监督学习^[9]。深度学习主要使用人工神经网络^[10],如卷积神经网络、循环神经网络^[11],这些模拟神经元束的计算机系统可以通过处理训练实例进行学习^[12],并在数据中找到关联^[13]。

2 人工智能在临床诊疗中的应用

2.1 辅助诊断

2.1.1 图像处理

在临床实践中,对人体疾病的筛查和诊断有赖于先进的医学影像技术,以及专业医生对图像进行准确的判读^[14],对于强调“四诊合参”的中医学来说,舌、面、脉等外在征象即是人体内部脏腑经络、阴阳气血变化的反映,通过观察外在征象的变化便可以推知机体内在的健康状态^[15],要把握疾病的病因病机做出正确的诊断,就需要对舌面象等做出正确的判别。但无论是对医疗图像的判读,还是对中医舌面脉象的分析,即使是专家也不免带有一定主观性^[16],并可能受到既往经验的限制。而基于深度学习的AI可以在初始图像解释过程中实现自动化^[17],从给定数据库中的所有图像中学习并不断改进^[18],可在极短时间内完成特征提取、图像识别、分割,以及定量对比分析等任务。

(1) **图像识别** 图像识别是目前研究较充分的一个领域。宋海贝等基于层次聚类和卷积神经网络等AI技术开发的中医舌象面象辅助诊疗系统,在对大量面象、舌象样本数据进行特征标注和学习的基础上,使用智能镜子采集用户的面象、舌象特征信息,可对面象和舌象进行自动诊断和分析,并将结果实时反馈给用户^[19]。林怡等创新性地结合颜色空间特征、面部纹理统计特征、唇部颜色特征等要素,使用多种机器学习方法对提取到的面部特征进行识别,最佳识别率可

达91.03%^[20]。董竞方等收集442例肿瘤患者舌象图片,采用labelImg软件对齿痕舌和瘀斑舌特征进行标注,利用卷积神经网络算法中的ResNet50构建齿痕舌和瘀斑舌的自动识别模型,能较准确地找到舌象中齿痕或瘀斑的具体位置,具有较高的舌象识别性能^[21]。

(2) **图像分割** “有诸形于内,必形于外”,中医学认为人的面部是脏腑气血的外荣,根据“青为肝,赤为心,白为肺,黄为脾,黑为肾”的五色主病理论,五脏病变会反映到面部的对应区域,并在一定程度上造成面色的变化。杨云聪等为了实现人脸区域的自动分割,使用Gabor小波变换、AdaBoost等技术,结合唇色模型与先验知识定位五官位置,并用提取轮廓算法确定人脸边界,可以简单、快速地将人脸区域分割为5个部分^[22]。罗胜男等又进一步对嘴巴的图像分割进行探究,通过采用改进C-V水平集模型对嘴部区域得到嘴巴轮廓,可适用于较复杂的背景环境,对表情变化、光照变化有较好的适应度,具有较高的鲁棒性^[23]。此外,组织、器官以及病灶的区域分割对于医学图像的定性和定量评估也至关重要^[24-25]。Zhang等开发的深度学习模型可以准确识别心腔结构,并自动进行图像分割,可以更加高效、便捷地进行心脏结构和功能的测量和计算^[26]。Park等开发的一种AI算法可以自动检测颅内动脉瘤并对指定区域自动分割,从而提高临床医生诊断效率和准确度^[27]。

(3) **图像分类** 图像分类是计算机视觉领域的基础性任务,其目标是根据各自在图像信息中所反映的不同特征,把不同的图像划分到不同的类别。随着深度学习等AI技术的发展,无论是中医的舌面图像,还是西医的组织解剖学图像,其分类的精度和准确度都得到大幅提升。宋超等使用深度迁移学习方法构建的神经网络模型可对齿痕、裂纹和舌苔厚薄3种主要舌象特征进行分类,验证结果表明该模型分类性能明显优于传统的舌体图像特征分类方法^[28]。陈梦竹等基于青、红、黄、白、黑5种面色,使用机器学习的方法对相关图像进行分析并分别提取其颜色和纹理特征,可自动进行面色分类,且五色中对白色的分类准确率最高,可达89.5%^[29]。在组织解剖学图像分类方面,Walsh等使用深度学习算法在计算机断层扫描影像上对特发性肺纤维化患者进行分类,准确度略高于所有放射科医生的中位准确度(73.3% VS 70.7%)^[30]。Corredor等针对早期非小细胞肺癌(Non-Small Cell Lung

Cancer, NSCLC)开发了监督学习模型,使用早期NSCLC患者组织图像进行训练,可以从细胞核的方向、纹理、形状和肿瘤结构预测疾病复发,验证结果显示准确率为81%^[31]。

2.1.2 自然语言处理

自然语言处理(Natural language processing, NLP)是一种自动分析和表示人类语言的计算技术,涉及语言建模、文本分类、机器翻译、自动问答、自动文摘等许多研究和应用技术^[32],对于实现AI辅助中医诊断十分关键。由AI技术搭载NLP模块、语言识别模块,结合语音识别、文语转换、脑机接口等技术建立“问诊、问诊”模型,可以通过智能语音与患者进行对话,对患者的声音数据进行分析 and 转换,从预先构建的中医知识库提取可用信息并加以判断后,为患者提供最佳的交流方式和诊疗内容,同时AI还能识别患者话语中带有感情色彩的语句,并据此给予情感态度倾向的分析^[33-34]。AI技术还具有强大的处理多源模态信息的能力,可以实现对多种来源和形式的的数据如图像、视频、音频、语义之间的多模态学习和融合^[35],尤其适用于秉持“四诊合参”的中医辨证诊断体系。

2.2 辅助决策

随着医疗信息变得越来越复杂,临床医生需要综合考虑多种因素才能做出恰当的诊疗决策^[36]。基于AI技术的临床决策支持系统(Clinical Decision Support System, CDSS)为挖掘海量的电子病历数据提供了强大工具和手段^[37],它可以模仿临床决策者的认知过程,辅助临床医生进行决策,指导患者用药,从而改善患者状况^[38-39],同时也有助于提高决策效率和准确率,减轻了临床医生和其他医疗保健专业人员的负担^[40]。IBM公司开发的沃森肿瘤解决方案(Watson for Oncology, WFO)是最具有代表性的CDSS^[41],它由推理引擎、知识库和临床记录中提取的数据组成^[42],可以快速阅读患者临床病历资料,并检索已发表的文献、指南等相关资料,从中提炼出一系列治疗方案和建议^[43]。除针对疾病给出治疗建议外,一些CDSS还可以根据患者自身情况的变化调整治疗方案。Komorowski等开发了使用强化学习的机器学习模型—AI临床医生(AI Clinician),它通过“试错法”反复试验学习,从次优训练例子中推断出最优决策,能够持续动态地为重症监护病房的成年脓毒症患者提供最佳液体治疗方案^[44]。此外还有基于类似模型的CDSS用于如1型糖

尿病、过敏性鼻炎等其他疾病,可根据患者的症状变化调整用药剂量和治疗方案^[45-46]。

在中医领域,CDSS的应用是我国AI技术研究的一大特色。大量的临床记录、古今中医著作、中医临床指南和循证医学研究成果是中医CDSS的核心资源,在此基础上,本体技术、智能引擎以及机器学习等相关信息技术为中医CDSS的构建提供了支持^[47]。1978年由首都医科大学附属北京中医医院与中国科学院合作研发的“关幼波肝病诊疗计算机程序”是信息技术与中医经验传承相融合的最初尝试,此后中医智能化相关研究得到了高速发展^[48],针对多种疾病的CDSS不断在临床得到应用。中医临床决策系统是目前较为成熟的CDSS之一,该系统利用AI技术构建中医临床指南、专家经验、古今中医著作等文本数据的知识图谱,并基于指南、著名专家经验、循证医学等提供多种决策服务,实现对中医临床诊疗的决策支持^[49]。

3 人工智能在医学研究中的应用

3.1 临床研究

3.1.1 临床试验

临床试验往往需要严格控制试验条件,满足道德伦理要求,另外还涉及试验注册等问题^[50],需要大量的时间和资金投入^[51]。有研究提出,AI技术可用于自动分析电子病历数据和临床试验资格数据库,自动识别相关试验和特定患者之间的潜在匹配,并将这些匹配推荐给医生和患者,也可主动挖掘公开可用的临床试验数据库和社交媒体等,帮助患者更快地了解感兴趣的试验,并提供与临床医生接触的方式和渠道,进一步评估是否满足试验要求^[52]。

近年来,计算机虚拟临床试验(In silico clinical trial)概念的出现为开展预测性、预防性、个性化的医学研究提供了新的途径,可以在一定程度上解决临床设计困难、受试者不足、试验成本高等问题^[53]。在为重症监护病房患者提供有效的严格血糖控制(Tight glycemic control, TGC)方案的研究中,Chase等开展了一项虚拟试验,通过使用机器学习算法拟合临床数据,从中捕捉到患者对给定胰岛素和营养输入时的血糖变化,生成胰岛素敏感性曲线,模拟在给予不同TGC方案时患者的血糖变化,能够快速测试新的TGC干预方案,并分析血糖控制方案的效果及患者代谢状态的动态变化^[54]。开展虚拟临床试验对某些缺乏有效

治疗方案的罕见疾病也具有重大意义, Carlier 等在 200 个虚拟受试者上进行了一项虚拟临床试验, 证明骨形态发生蛋白治疗 (Bone Morphogenetic Protein, BMP) 可降低先天性胫骨假关节的严重程度, 并使用机器学习技术将虚拟受试者人群分为不良反应者、无反应者、有反应者和无症状者, 寻找可以预测 BMP 治疗效果的潜在生物标志物, 为这一儿童罕见病 (发病率为 6.5-10/10,000) 提供了新的治疗方向^[55]。虽然计算机虚拟临床试验在降低成本、保证安全性方面具有显著优势^[50], 但现阶段是否能取代真实的临床试验还未可知^[56]。

3.1.2 真实世界研究

与严格限制各项研究条件的临床对照试验不同, 近几年广受关注的真实世界研究强调从实际临床诊疗环境或社区、家庭等真实场景中获得数据, 其规模更大、证据资源更丰富、符合临床实际情况的特点, 被认为与中医“个体化”“经验为主”的诊疗特点更加契合, 目前在国内的应用主要集中在中医药领域^[57-58]。随着大数据时代的来临, 将真实世界实践中所产生的信息数据化、数字化, 从不同思维角度去再现、分析、重构等已经成为一种现实^[59], AI 的快速发展与“互联网+”技术的不断革新, 为处理真实世界的大样本提供了稳定可靠的研究平台^[60]。将 AI 技术引入中医药真实世界临床研究领域, 可全面采集临床各类诊疗信息并在海量数据基础上, 对个体患者的病证方药进行精准预测, 实现对中医诊断准确性、治疗有效性的评价, 极大程度解决中医药临床研究“复杂性、多样性”的问题^[61], 同时也是适应循证医学时代, 顺应中医药客观化、规范化发展的必然选择。

3.2 药物研发

3.2.1 靶点识别

中医药整体观决定了中药具有多靶性、多向性、系统性等特点, 因此中药多成分与多靶点之间的对应关系难以精准识别^[62], 将 AI 技术引入药物靶点识别的环节, 可以有效解决这一难题, 辅助进行潜在靶点群的选择。许海玉等开发的中药整合药理学计算平台采用二维结构相似性搜索, 在提取中药有效成分的化学指纹特征后预测作用靶点, 并可在药物靶点与疾病基因之间建立相互作用网络^[63], 后续有不少研究基于该平台进行方剂药物分子机制或作用机制研究。利

用 AI 技术辅助进行中药作用靶点的识别, 从活性成分-蛋白受体-组织表达的化学层面对中药作用机制进行量化和解释, 也为中药归经体系的理论阐释和标准构建提供了新的角度和方法。姜希伟等基于最大相似度算法对多味补阳中药作用的核心靶点蛋白进行识别和筛选, 发现这些蛋白主要分布在人体生殖器、喉、小肠、大肠、肾、口、胃、膀胱及肝等足少阴肾经循行部位, 从靶点组织表达的角度验证了补阳药归肾经的理论内涵^[64]。

3.2.2 化合物筛选

随着高通量筛选、深度基因组测序、临床实验等生物、化学、医药研究数据急速积累, AI 以其强大的数据整合处理能力可实现低耗、高效筛选化合物^[65]。艾中柱等使用 AI 技术从大量化合物中快速筛选出了山楂酸、刺囊酸、雷公藤红素、羟基积雪草酸、积雪草酸和常春藤皂苷元等 20 个最佳候选天然产物小分子墨蝶呤还原酶抑制剂^[66]。王曦廷等通过使用集成学习中的随机森林与梯度提升决策树方法, 构建“特征优化-机器学习”的混合模型, 可在优化、提取分子指纹特征基础上完成抗纤维化中药化合物高通量的虚拟筛选任务, 且具有较高预测概率^[67]。此外, 支持向量回归以及分子对接等计算机模拟技术也被广泛应用于中药活性化合物的预测和筛选中^[68], 大大提高了筛选的效率和准确率, 也为后续研究缩小了范围。

3.2.3 质量评价

中药的质量是中医临床疗效的基础, 客观评价和有效控制中药质量是中医药标准化的重中之重, AI 技术的应用可帮助更新传统单一、经验为主的中药鉴定方法, 为中药质量评估提供高效快捷的检测方式, 并可推动建立中药质量量化、客观化评价体系^[69]。随着 AI 技术的发展, 如电子舌、电子鼻、电子眼、电子耳及电子皮肤等技术可以模拟真实人体感官, 结合如红外光谱、高光谱成像、化学成像、拉曼光谱等新型分析技术, 对中药饮片的形、色、气、味等性状信息进行特征识别和量化, 可自动进行质量评价、质量控制以及产地鉴别等。此外, 结合机器学习算法挖掘和整合海量数据的潜力, 将中药饮片数据采集过程中收集的大量外观性状数据与内在成分数据进行分析, 建立饮片质量与外在信息间的耦合关系, 可为量化中药质量评价提供理论依据^[70]。

4 人工智能在公共卫生中的应用

2020年以来,新冠肺炎的发生引起了人们对于重大公共卫生事件的重视和对于如何更好的应对突发公共事件的思考。在新冠肺炎的疫情防控中,习近平总书记强调“要鼓励应用大数据、人工智能、云计算等数字技术,在疫情监测分析、病毒溯源、防控救治、资源调配等方面更好地发挥支撑作用”^[71]。

4.1 疾病预警和监测

在疾病早期预警和预测方面,BlueDot公司基于AI技术准确预测了疫情的全球传播,该公司开发的由AI驱动的监控平台使用大数据分析,可实现对疫情发展的跟踪和预测^[72]。另外,有研究使用改进的易感-暴露-感染-移除(Susceptible-Exposed-Infectious-Removed)模型预测了疫情在公共卫生干预下的流行病趋势^[73-74],也有研究者通过创建各种数学和统计模型用以识别、监控和预测新型冠状病毒的传播模式^[75]。Sun等使用机器学习方法预测新冠肺炎的感染风险和传播媒介,为制定感染控制策略提供支持^[76]。Liu等使用机器学习方法结合聚类技术,整理来自于中国疾病预防控制中心、互联网、新闻报告等的数据,实时监测各省的疫情动态,帮助决策者进行疾病监测和预防^[77]。Singh等制定了一项AI集成的云/雾计算,可高效预测和预防新冠肺炎,从而控制感染^[78]。基于AI技术对不同移动设备收集的大量个人数据进行数据可视化和统计分析,可以达到准确追踪密切接触者的目的,在人群筛查时,使用AI驱动的温度筛查可快速准确识别有感染风险的人,从而有效进行疾病监测^[79]。除了新冠肺炎,AI也可运用在其他流行病中。Aiken等构建了三个机器学习模型,与传统的流行病学信息和基于互联网的数据源相结合,可实时检测新的流行病的爆发,其准确性和有效性在黄热病、寨卡、埃博拉、肺鼠疫和霍乱五种传染病中都得到了验证^[80]。

4.2 防控救治

众所周知,中医药在本次抗疫期间功不可没。全国除湖北以外的地区,中医药参与救治的病例占累计确诊病例的96.37%,在阻止轻型、普通型患者向重型、危重型发展方面发挥重要作用。通过“人工智能+中医诊断”的方式,结合现代信息采集和处理技术,患者可以在指定平台进行远程诊疗,如四川省推出的“互联网+中医远程问诊”平台,可远程与医生进行视频或语音交流,实时、动态、无接触采集舌、脉等信息,既降

低了感染风险,又能保证医患沟通交流,及时向医生报告症状变化,又可以及时调整患者用药,有效提升新冠病毒肺炎的临床诊疗水平^[81,82]。

在治疗和防抗方面,AI与数据挖掘等技术结合,可在大量针对疫情的古代医籍、临床验方、诊疗方案,甚至数据库、专利库中总结挖掘出用药处方等规律,为临床治疗药物或方剂的选择提供了指导和参考。中国中医科学院基于多标签k近邻算法开发的中医智能处方推荐系统,总结了大量中医典籍和古、现代经典验方,并结合《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案》,能够根据患者输入或上传的个体症状和舌、面象等相关信息,提供辨证论治、智能开方以及随症加减等个性化服务^[83]。此外,AI辅助设备在指导患者康复方面的作用也不容小觑,这些设备通常小巧便携,搭配蓝牙传输装置和摄像装备,患者即可在线学习康复功法,例如徐州医科大学附属医院研发的AI康复辅助手环,可远程提供传统功法锻炼指导,帮助患者快速掌握传统运动功法,促进患者康复^[81]。

目前,AI在医疗领域的应用主要集中在辅助临床医生进行诊断和决策,以减轻医务工作者的负担和压力,提高医疗服务的质量。作为一项新兴技术,AI在医学研究的开展、药物研发以及应对公共卫生事件等方面也展现出了极大优势,为促进整个医疗行业的发展注入了新鲜活力(图1)。

5 人工智能面临的挑战

AI为医疗健康领域带来的革命性创新无可置否,但就目前来看其临床价值尚未完全实现^[84]。《英国医学杂志》上的一篇文章针对AI研究的透明度、可复制性、有效性和伦理提出了20个关键问题^[85],2019年发表的《中国人工智能医疗白皮书》指出我国AI医疗行业在相关技术人才、健康医疗数据、医疗器械审批等方面面临着诸多挑战^[86],理论本身和现实层面的种种原因导致人工智能技术在临床应用和推广中受限。

从理论技术层面来看,机器学习等AI算法越来越多地应用于临床预测建模和临床决策支持^[87],虽然它们可以提高模型的性能,更准确高效地预测临床状态^[17,88],但它们却不能对预测结果做出解释,如同一个“黑匣子”,我们无法探寻背后的原理和机制,也无法预估可能产生的错误预测^[89],而且这种“不可解释性”可能会加剧这种算法本身存在的自动化偏差,包括数

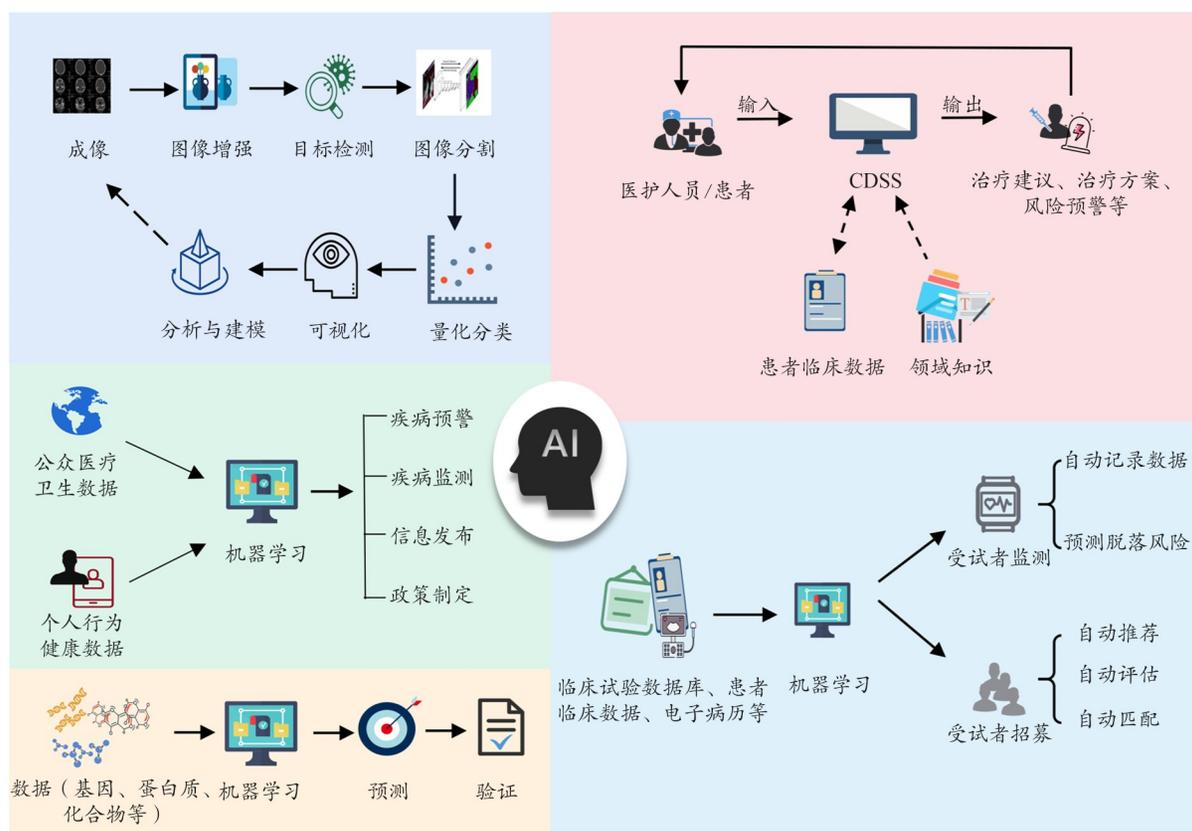


图1 人工智能在医疗领域的应用

据缺失、错误分类、测量误差,以及无法识别的情况^[90]。与人类智能不同,AI无法有效地整合先验知识,在缺乏大型数据集的情况下,很难训练其正确识别罕见的异常^[91]。尽管公开的医疗数据量与日俱增,但大多数数据集在训练和验证算法方面的通用性和可重复性较为局限,结果的可信度也会随之降低^[92-93],而且目前大多数AI模型还缺乏大型、异构、多中心的数据集进行外部验证^[94]。一项系统评价结果显示,在516项评估用于医学影像诊断的AI性能的研究中,只有6%的研究进行了外部验证,外部验证不足导致AI在真实临床环境中的性能如何难以衡量^[95]。

从伦理和法律的角度来看,随着越来越多的个人信息和临床数据被用于AI的相关研究,或通过一些可穿戴的智能设备对患者进行持续的医疗检测和信息收集,涉及数据安全和个人隐私的问题日渐凸显^[85,93]。

在AI进行自动化的诊断决策模式下,医患责任的归属问题也亟需相关法律法规进行明确规范^[17,84,93-94]。

6 小结

AI是应用前景十分广阔的一门新兴技术,近年来我国不断出台相关政策支持AI产业的发展,鼓励AI应用于医疗行业,以提升医疗保健水平,缓解医疗资源不足和分配不均的压力。现阶段,我国AI技术在医疗领域的应用主要集中于医学影像的诊断,在其他如辅助决策、药物开发等领域尚处于起步阶段,在中医药领域的应用也较为局限,而国外医疗数据质量成熟度相对较高,行业应用标准和相关法律法规也更为完善,AI在医疗领域的应用更加广泛和深入。未来我国还需要从技术本身和制度方针入手,引导AI技术从临床实际需求出发,更好地为医疗工作者“赋能”。

参考文献

- 1 Silver D, Schrittwieser J, Simonyan K, et al. Mastering the game of Go without human knowledge. *Nature (London)*, 2017, 550(7676): 354-359.
- 2 Jiang F, Jiang Y, Zhi H, et al. Artificial intelligence in healthcare: past,

- present and future. *Stroke Vasc Neurol*, 2017, 2(4):230–243.
- 3 Hosny A, Aerts H J W L. Artificial intelligence for global health. *Science*, 2019, 366(6468):955–956.
 - 4 Brasil S, Pascoal C, Francisco R, et al. Artificial Intelligence (AI) in rare diseases: is the future brighter?. *Genes (Basel)*, 2019, 10(12):978.
 - 5 Hashimoto D A, Witkowski E, Gao L, et al. Artificial Intelligence in Anesthesiology. *Anesthesiology*, 2020, 132(2):379–394.
 - 6 Lancet T. Artificial intelligence in health care: within touching distance. *Lancet (British edition)*, 2017, 390(10114):2739.
 - 7 梁礼, 邓成龙, 张艳敏, 等. 人工智能在药物发现中的应用与挑战. *药学进展*, 2020, 44(1):18–27.
 - 8 Sabharwal N K. Could deep learning change our working lives?. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(11):1664–1665.
 - 9 Mishra R, Li B. The application of artificial intelligence in the genetic study of Alzheimer's disease. *Aging Dis*, 2020, 11(6):1567.
 - 10 He J, Baxter S L, Xu J, et al. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nat Med*, 2019, 25(1):30–36.
 - 11 魏珂, 司春婴, 王贺, 等. 人工智能在心血管疾病诊断及风险预测中的研究进展. *世界科学技术-中医药现代化*, 2021:1–7.
 - 12 LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*, 2015, 521(7553):436–444.
 - 13 Pedersen M, Verspoor K, Jenkinson M, et al. Artificial intelligence for clinical decision support in neurology. *Brain Commun*, 2020, 2(2):fcaa096.
 - 14 Shen D, Wu G, Suk H. Deep learning in medical image analysis. *Annu Rev Biomed Eng*, 2017, 19(1):221–248.
 - 15 孙康宁, 孙琦, 李新霞, 等. 基于卷积神经网络的中医面色提取识别研究. *中华中医药杂志*, 2021, 36(7):4286–4290.
 - 16 Meijering E. A bird's-eye view of deep learning in bioimage analysis. *Comput Struct Biotechnol J*, 2020, 18:2312–2325.
 - 17 Bi W L, Hosny A, Schabath M B, et al. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications. *CA Cancer J Clin*, 2019, 69(2):127–157.
 - 18 Quer G, Muse E D, Nikzad N, et al. Augmenting diagnostic vision with AI. *Lancet*, 2017, 390(10091):221.
 - 19 宋海贝, 温川飙, 程小恩. 基于AI的中医舌象面象辅助诊疗系统构建. *时珍国医国药*, 2020, 31(2):502–505.
 - 20 林怡, 王斌, 许家侗, 等. 基于面部图像特征融合的中医望诊面色分类研究. *实用临床医药杂志*, 2020, 24(14):1–5.
 - 21 董竞方, 黄金昶, 王建云. 卷积神经网络算法在肿瘤患者舌象识别中的应用. *北京中医药*, 2020, 39(11):1216–1219.
 - 22 杨云聪, 张菁, 卓力, 等. 应用于中医面诊的人脸区域分割方法. *测控技术*, 2012, 31(5):25–28.
 - 23 罗胜男, 陈兆学. 用于面诊的嘴巴定位算法研究. *中国医学物理学杂志*, 2019, 36(4):440–446.
 - 24 Dey D, Slomka P J, Leeson P, et al. Artificial intelligence in cardiovascular imaging. *J Am College Cardiol*, 2019, 73(11):1317–1335.
 - 25 Zhao X, Wu Y, Song G, et al. A deep learning model integrating FCNNs and CRFs for brain tumor segmentation. *Med Image Anal*, 2018, 43:98–111.
 - 26 Zhang J, Gajjala S, Agrawal P, et al. Fully automated echocardiogram interpretation in clinical practice. *Circulation*, 2018, 138(16):1623–1635.
 - 27 Park A, Chute C, Rajpurkar P, et al. Deep learning - assisted diagnosis of cerebral aneurysms using the headXNet model. *JAMA Netw Open*, 2019, 2(6):e195600.
 - 28 宋超, 王斌, 许家侗. 基于深度迁移学习的舌象特征分类方法研究. *计算机工程与科学*, 2021, 43(8):1488–1496.
 - 29 陈梦竹, 岑翼刚, 许家侗, 等. 基于图像处理的望诊面色自动识别研究. *中国中医药信息杂志*, 2018, 25(12):97–101.
 - 30 Levin D L. Deep learning and the evaluation of pulmonary fibrosis. *Lancet Respir Med*, 2018, 6(11):803–805.
 - 31 Corredor G, Wang X, Zhou Y, et al. Spatial architecture and arrangement of tumor-infiltrating lymphocytes for predicting likelihood of recurrence in early-stage non - small cell lung cancer. *Clin Cancer Res*, 2019, 25(5):1526–1534.
 - 32 江洋洋, 金伯, 张宝昌. 深度学习在自然语言处理领域的研究进展. *计算机工程与应用*, 2021, 57(22):1–14.
 - 33 孙忠人, 游小晴, 韩其琛, 等. 人工智能在中医药领域的应用进展及现状思考. *世界科学技术-中医药现代化*, 2021, 23(6):1803–1811.
 - 34 李本岳, 李伟荣, 潘华峰, 等. 人工智能对中医诊断的影响. *世界科学技术-中医药现代化*, 2020, 22(5):1624–1628.
 - 35 杨涛, 朱学芳. 中医辨证智能化研究现状及发展趋势. *南京中医药大学学报*, 2021(4):597–601.
 - 36 Dramburg S, Marchante F M, Potapova E, et al. The potential of clinical decision support systems for prevention, diagnosis, and monitoring of allergic diseases. *Front Immunol*, 2020, 11:2116.
 - 37 Al-Jaghbeer M, Dealmeida D, Bilderback A, et al. Clinical decision support for in-hospital AKI. *J Am Soc Nephrol*, 2018, 29(2):654–660.
 - 38 Liang H, Tsui B Y, Ni H, et al. Evaluation and accurate diagnoses of pediatric diseases using artificial intelligence. *Nat Med*, 2019, 25(3):433–438.
 - 39 Zikos D, DeLellis N. CDSS-RM: a clinical decision support system reference model. *BMC Med Res Methodol*, 2018, 18(1):137.
 - 40 Bousquet J. Electronic clinical decision support system (eCDSS) in the management of asthma: from theory to practice. *Eur Respir J*, 2019, 53(4):1900339.
 - 41 Somashekhar S P, Sepúlveda M J, Puglielli S, et al. Watson for Oncology and breast cancer treatment recommendations: agreement with an expert multidisciplinary tumor board. *Anna Oncol*, 2018, 29(2):418–423.
 - 42 Xu F, Sepúlveda M, Jiang Z, et al. Artificial intelligence treatment decision support for complex breast cancer among oncologists with varying expertise. *JCO Clin Cancer Inform*, 2019, 3:1–15.
 - 43 刘伶俐, 王端. 人工智能在医疗领域的应用与存在的问题. *卫生软科学*, 2020, 34(10):23–27.
 - 44 Komorowski M, Celi L A, Badawi O, et al. The Artificial Intelligence

- Clinician learns optimal treatment strategies for sepsis in intensive care. *Nat Med*, 2018, 24(11):1716-1720.
- 45 Bousquet J, Schunemann H J, Hellings P W, et al. MACVIA clinical decision algorithm in adolescents and adults with allergic rhinitis. *J Allergy Clin Immunol*, 2016, 138(2):367-374.
- 46 Nimri R, Battelino T, Laffel L M, et al. Insulin dose optimization using an automated artificial intelligence-based decision support system in youths with type 1 diabetes. *Nat Med*, 2020, 26(9):1380-1384.
- 47 李敬华, 李宗友, 王映辉, 等. 嵌入式临床智能决策支持系统设计及中医临床知识服务研究. *中国数字医学*, 2015, 10(7):48-51.
- 48 李洪峥, 高嘉良, 王阶. 人工智能——引领中医学新发展的有效工具. *世界科学技术-中医药现代化*, 2018, 20(7):1197-1201.
- 49 TCMCDs. 中医临床智能辅助决策服务. [2021-2-28]. <http://www.tcmcds.com/index>.
- 50 Noorbakhsh-Sabet N, Zand R, Zhang Y, et al. Artificial intelligence transforms the future of health care. *Am J Med*, 2019, 132(7):795-801.
- 51 Bothwell L E, Avorn J, Khan N F, et al. Adaptive design clinical trials: a review of the literature and *ClinicalTrials.gov*. *BMJ Open*, 2018, 8(2):e18320.
- 52 Harrer S, Shah P, Antony B, et al. Artificial intelligence for clinical trial design. *Trends Pharmacol Sci*, 2019, 40(8):577-591.
- 53 Sun C L F, Karlsson L, Torp-Pedersen C, et al. In silico trial of optimized versus actual public defibrillator locations. *J Am College Cardiol*, 2019, 74(12):1557-1567.
- 54 Chase J G, Suhaimi F, Penning S, et al. Validation of a model-based virtual trials method for tight glycemic control in intensive care. *Biomed Eng Online*, 2010, 9:84.
- 55 Carlier A, Vasilevich A, Marechal M, et al. In silico clinical trials for pediatric orphan diseases. *Sci Rep*, 2018, 8(1):2465.
- 56 Menendez J A, Cuyàs E, Folguera-Blasco N, et al. In silico clinical trials for anti-aging therapies. *Aging*, 2019, 11(16):6591-6601.
- 57 庞博, 郑文科, 张俊华, 等. 中医药真实世界研究的应用场景. *世界中医药*, 2019, 14(12):3115-3118.
- 58 孙鑫, 谭婧, 唐立, 等. 重新认识真实世界研究. *中国循证医学杂志*, 2017, 17(2):126-130.
- 59 刘保延. 真实世界的中医临床科研范式. *中医杂志*, 2013, 54(6):451-455.
- 60 梁文娜, 林雪娟, 俞洁, 等. 真实世界的大数据助推中医健康管理进入人工智能时代. *中华中医药杂志*, 2018, 33(4):1213-1215.
- 61 高睿, 刘智, 王辉, 等. 浅析神经网络算法在中医药真实世界研究中应用可行性. *天津中医药大学学报*, 2020, 39(5):527-531.
- 62 王毅, 张晗, 张伯礼, 等. 中药药效物质多模态辨识方法学及其研究. *中国中药杂志*, 2020, 45(1):1-6.
- 63 许海玉, 刘振明, 付岩, 等. 中药整合药理学计算平台的开发与应用. *中国中药杂志*, 2017, 42(18):3633-3638.
- 64 姜希伟, 邹家丽, 项荣武, 等. 基于最大相似度算法的补阳中药归肾经的量化探讨. *中国实验方剂学杂志*, 2019, 25(18):174-181.
- 65 Ekins S, Puhl A C, Zorn K M, et al. Exploiting machine learning for end-to-end drug discovery and development. *Nat Mater*, 2019, 18(5):435-441.
- 66 艾中柱, 王皓南, 周珊珊, 等. SPR天然产物小分子抑制剂的“人工智能”药物筛选和“网络药理”作用机制研究. *世界科学技术-中医药现代化*, 2021, 23(4):1119-1128.
- 67 王曦廷, 李彧, 张澜, 等. 基于机器学习的抗纤维化中药化合物筛选研究. *北京中医药大学学报*, 2019, 42(1):30-36.
- 68 陈茜, 路芳, 蒋芦荻, 等. 基于支持向量回归和分子对接技术的中药 CYP450 2E1 抑制剂筛选. *中国中药杂志*, 2016, 41(13):2511-2516.
- 69 刘晓娜, 车晓青, 李德芳, 等. 基于多源信息融合的中药质量标志物与质量评价研究模式. *中草药*, 2019, 50(19):4576-4581.
- 70 谭超群, 解达帅, 程小恩, 等. 基于大数据技术的中药饮片外观性状与内在成分数据的研究与应用. *中国药房*, 2018, 29(16):2287-2290.
- 71 数据委. 习近平:要鼓励运用大数据、人工智能、云计算等数字技术,在疫情监测分析、病毒溯源、防控救治、资源调配等方面更好发挥支撑作用. [2020-02-25]. <http://www.chinacpda.org/xinwengonggao/16407.html>.
- 72 Bogoch I I, Watts A, Thomas-Bachli A, et al. Pneumonia of unknown aetiology in Wuhan, China: potential for international spread via commercial air travel. *J Travel Med*, 2020, 27(2):taaa008.
- 73 武文韬, 李达宁, 李莉, 等. 基于 SIR 模型分析不同强度防控手段在当前武汉市新型冠状病毒(2019-nCoV)感染的肺炎疫情中的作用. *医学新知*, 2020, 30(1):78-82.
- 74 Yang Z, Zeng Z, Wang K, et al. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions. *J Thorac Dis*, 2020, 12(3):165-174.
- 75 Mohamed A B, Abderrazak C, Taous M L K. Fractional-order SEIQRDP model for simulating the dynamics of COVID-19 epidemic. *IEEE Open J Eng Med Biol*, 2020, 1:249-256.
- 76 Sun C, Zuccarelli E, Zerhouni E, et al. Predicting coronavirus disease 2019 infection risk and related risk drivers in nursing homes: a machine learning approach. *J Am Med Dir Assoc*, 2020, 21(11):1533-1538.
- 77 Liu D, Clemente L, Poirier C, et al. Real-time forecasting of the COVID-19 outbreak in chinese provinces: machine learning approach using novel digital data and estimates from mechanistic models. *J Med Internet Res*, 2020, 22(8):e20285.
- 78 Singh P, Kaur R. An integrated fog and Artificial Intelligence smart health framework to predict and prevent COVID-19. *Glob Transit*, 2020, 2:283-292.
- 79 Contact tracing in the context of COVID-19. [2021/1/28]. <https://www.who.int/publications/i/item/contact-tracing-in-the-context-of-covid-19>.
- 80 Aiken E L, McGough S F, Majumder M S, et al. Real-time estimation of disease activity in emerging outbreaks using internet search information. *PLoS Comput Biol*, 2020, 16(8):e1008117.
- 81 郭仪, 许斌, 石岩, 等. 人工智能在辅助中医诊治新冠肺炎中的应用及启示. *中华中医药学刊*, 2021, 39(5):236-238.
- 82 吴平, 燕海霞, 吕仪, 等. 以“人工智能+中医诊断”辅助新型冠状病毒

- 毒肺炎防控策略分析. 辽宁中医杂志, 2021, 48(9):54-56.
- 83 王斌, 刘涛, 王广志, 等. 支持新型冠状病毒肺炎的中医智能处方推荐和知识库系统. 中国数字医学, 2020, 15(5):25-27.
- 84 Challen R, Denny J, Pitt M, *et al.* Artificial intelligence, bias and clinical safety. *BMJ Qual Saf*, 2019, 28(3):231-237.
- 85 Vollmer S, Mateen B A, Bohner G, *et al.* Machine learning and artificial intelligence research for patient benefit: 20 critical questions on transparency, replicability, ethics, and effectiveness. *BMJ*, 2020: 16927.
- 86 金耀辉, 邱梦娟. 中国人工智能医疗白皮书. 2019.
- 87 Zihni E, Madai V I, Livne M, *et al.* Opening the black box of artificial intelligence for clinical decision support: A study predicting stroke outcome. *PLOS ONE*, 2020, 15(4):e231166.
- 88 Mahadevaiah G, RV P, Bermejo I, *et al.* Artificial intelligence-based clinical decision support in modern medical physics: Selection, acceptance, commissioning, and quality assurance. *Med Phys*, 2020, 47(5):E228-E235.
- 89 Magrabi F, Ammenwerth E, McNair J B, *et al.* Artificial intelligence in clinical decision support: challenges for evaluating AI and practical implications. *Yearb Med Inform*, 2019, 28(1):128-134.
- 90 Gianfrancesco M A, Tamang S, Yazdany J, *et al.* Potential biases in machine learning algorithms using electronic health record data. *JAMA Intern Med*, 2018, 178(11):1544.
- 91 Toh T S, Dondelinger F, Wang D. Looking beyond the hype: Applied AI and machine learning in translational medicine. *EBioMedicine*, 2019, 47:607-615.
- 92 Schneider P, Walters W P, Plowright A T, *et al.* Rethinking drug design in the artificial intelligence era. *Nature reviews. Drug Disc*, 2020, 19(5):353-364.
- 93 Briganti G, Le Moine O. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. *Front Med*, 2020, 7:27.
- 94 Kelly C J, Karthikesalingam A, Suleyman M, *et al.* Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Med*, 2019, 17(1):195.
- 95 Kim D W, Jang H Y, Kim K W, *et al.* Design characteristics of studies reporting the performance of artificial intelligence algorithms for diagnostic analysis of medical images: results from recently published papers. *Korean J Radiol*, 2019, 20(3):405.

Research Progress of Artificial Intelligence Application in Medicine

Ren Xiangge^{1,2}, Ren Xiangying^{2,3}, Li Xuhui², Zeng Xiantao², Zi Hao², Shi Yuexian⁴, Huang Qiao², Wang Yongbo², Yu Lina^{2,5}, Zhai Wensheng⁶, Jin Yinghui²

(1. College of pediatrics, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China; 2. Center for Evidence-Based and Translational Medicine, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China; 3. College of Nursing and Health, Henan University, Kaifeng 475000, China; 4. School of Nursing, Peking University, Beijing 100000, China; 5. Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China; 6. The First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Artificial intelligence has sparked a digital revolution in health care and has great potential to drive the medical industry. This study centered on three scenarios: clinical setting, medical research and public health, focused on the intersection and integration of artificial intelligence and traditional Chinese medicine, and introduced the application of artificial intelligence in disease diagnosis, decision support, clinical trials, drug discovery and major public health events. Despite the unique advantages of Artificial intelligence in many aspects, there are still problems such as lack of transparency, lack of safety assessment and lack of regulation that need to be carefully addressed in order to promote the application of Artificial intelligence technology in medicine.

Keywords: Artificial intelligence, Traditional Chinese medicine, Computer-assisted diagnosis, Clinical Decision support, Drug discovery, Public health

(责任编辑: 周阿剑、郭思宇, 责任译审: 周阿剑, 审稿人: 王瑀、张志华)