数字中医中药

DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2026.01.004

人工智能赋能中医数字化诊断:现状与挑战

王玉曼[1],孙润雪[2],刘晓雨[1],李花[1],薛滨清[1],张心千[1],李京璠[1],李润泽[1],杜艳茹[2,3,4]
(1.河北中医药大学研究生学院,河北 石家庄 050091;2.河北省中医院,河北 石家庄 050011;
3.河北省中西医结合胃肠病研究重点实验室,河北 石家庄 050011;4.河北省浊毒证重点实验室,河北 石家庄 050011)

摘要:在当今大数据、人工智能等新兴技术为代表的数智化时代到来之际,以"人工智能+"为代表的各行各业的数字化转型已经成为大势所趋。人工智能赋能中医药给传统中医由"模糊性"诊疗模式升级为"精确性"诊疗模式提供了新契机。聚焦于这一交叉领域,从中医诊断的辨证规律入手,详细阐述了人工智能技术在海量数据处理、辅助诊断、疾病预测上的应用现状。同时,人工智能技术在中医实际应用中仍面临诸多挑战,如中医数据的复杂性和不规范性导致的数据质量问题,人工智能算法在中医诊断中的可解释性有限,以及中医理论与人工智能融合的困难等。深入探讨这些现状与挑战,对于推动人工智能在中医数字化诊断中的进一步发展和应用具有重要意义。

关键词:人工智能;中医;数字化诊断;现状;挑战
中图分类号:R241 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2026)01-0020-04

Digital Diagnosis of Traditional Chinese Medicine Enabled by Artificial Intelligence: Status Quo and Challenges

WANG Yuman[1], SUN Runxue[2], LIU Xiaoyu[1], LI Hua[1], XUE Binqing[1], ZHANG Xinqian[1], LI Jingfan[1], LI Runze[1], DU Yanru[2.3.4]
(1. Graduate School, Hebei University of Traditional Chinese Medicine, Shijiazhuang 050091, Hebei, China;
2. Hebei Hospital of Traditional Chinese Medicine, Shijiazhuang 050011, Hebei, China;
3. Hebei Key Laboratory of Integrative Chinese and Western Medicine and Gastroenterology, Shijiazhuang 050011, Hebei, China;
4. Hebei Key Laboratory of Turbidity and Toxicology, Shijiazhuang 050011, Hebei, China)

Abstract: At the advent of the era of digital intelligence represented by emerging technologies such as big data and artificial intelligence, the digital transformation of all walks of life represented by "artificial intelligence +" has become the general trend. Artificial intelligence enabling traditional Chinese medicine provides a new opportunity for traditional Chinese medicine to upgrade from "fuzzy" diagnosis and treatment mode to "accurate" diagnosis and treatment mode. Focusing on this cross-field, this paper elaborated the application status of artificial intelligence technology in mass data processing, auxiliary diagnosis and disease prediction from the perspective of TCM diagnosis differentiation. At the same time, artificial intelligence technology still faces many challenges in the practical application of traditional Chinese medicine, such as data quality problems caused by the complexity and irregularity of traditional Chinese medicine data, the limited interpretability of artificial intelligence algorithms in traditional Chinese medicine diagnosis, and the difficulties in the integration of traditional Chinese medicine theory and artificial intelligence. This paper discussed these status quo and challenges in depth, which was of great significance for promoting the further development and application of artificial intelligence in digital diagnosis of traditional Chinese medicine.

Keywords: artificial intelligence; traditional Chinese medicine; digital diagnosis; current situation; challenge

随着现代社会信息化、智能化、数字化的发展,我们进入了大数据和人工智能(artificial intelligence,AI)时代[1]。AI技术的兴起为中医数字化诊断带来了前所未有的机遇。中医诊断依赖"辨证",是医生对患者四诊信息进行综合判断的过程,这一过程一定程度上受到医生个人经验和主观因素的影响,诊断结果的一致性和准确性有待提高,传统中医诊断模式一定程度上来说具有"模糊性"[2-5]。随着信息技术的发展,中医数字化诊断逐渐成为可能。人工智能具有强大的数据处理和模式识别能力,能够从海量的中医诊断数据中挖掘潜在的规律和关联,为疾病的诊断和治疗提供科学依据。人工智能赋能中医诊断有可能化中医诊断模式由"模糊性"到"精确性"[6]。近年来,越来越多的研究和实践表明,人工智能在中医数字化诊断中展现出了巨大的潜力。例如,通过机器学习算法对脉象数据的分析[7],可以辅助医生更准确地判断病情;利用深度学习技术对舌象图像的识别[8],能够为诊断提供有价值的参考。

然而,尽管人工智能为中医数字化诊断带来了新的希望,但在其发展和应用过程中也面临着一系列严峻的挑战[9]。中医海量数据的多样性、复杂性和模糊性给数据采集和标注带来

基金项目:国家中医药管理局科技项目(GZY-KJS-2023-013);河北省重点研发计划项目中医药创新专项(23377701D);河北省中医药管理局项目(2023019,2025013,2025205)
作者简介:王玉曼(1996-),女,河北保定人,医师,博士在读,研究方向:中医脾胃病。
通讯作者:杜艳茹(1969-),女,河北石家庄人,主任医师、教授,博士研究生导师,博士,研究方向:中医脾胃病。E-mail:zyydyr@163.com。

了困难,影响了人工智能模型的训练效果[10];人工智能算法的黑箱性导致其诊断结果难以解释,可能引发医生和患者的信任问题[11];此外,如何将中医独特的理论体系与人工智能技术有机结合,也是一个亟待解决的关键问题。因此,深入研究人工智能赋能中医数字化诊断的现状,剖析其中存在的挑战,并探索相应的解决策略,对于推动中医数字化诊断的发展,提高中医诊疗水平,传承和弘扬中医文化具有重要的理论和实践意义。

1 人工智能在中医数字化诊断中的应用现状

中医四诊包括"望、闻、问、切",是中医诊断的基本方法。但是,四诊方法过于依赖医生本身的经验和主观感受,具有"模糊性"的特点。现今,为减少四诊诊断对医生的依赖性以及避免四诊信息收集受到环境情况影响的可能,很多研究者将人工智能技术应用到四诊信息收集中。通过图像处理、大语言模型、计算机视觉、强化学习、卷积神经网、知识图谱等技术与四诊诊断方法融合,构建智能化四诊辅助诊断设备,进一步将中医四诊信息进行客观化收集。

1.1 人工智能技术在望诊中的应用 望诊,是指医生通过视觉对人体的疾病相关部位进行有目的的诊察,以了解健康情况,测知患者病情的方法[12]。本文主要介绍舌诊和面诊两方面的中医数字化诊断模式。早在20世纪70年代的时候就已经有了针对舌诊的早期数字化研究,并将其成果应用到临床辅助诊断。人工智能技术在舌诊应用上侧重于两方面:一是通过光谱广度法、光电转换法、高光谱图像、颜色空间等技术进行舌象采集;二是通过深度学习、神经网络、卷积神经网等技术对舌象进行图像处理和舌象分析,建立舌诊的特征自动分类框架,进行舌的分割诊断分析,丰富中医舌诊数字化内容,在此基础上进一步建立中医舌诊辅助诊断模型,将本身依赖于中医医师主观化判断的舌象诊断进行分级、分段诊疗,用客观化的机器进行分析。使得舌象诊断更加客观化、科学化、智能化[13-16]。

《黄帝内经》有言:"十二经脉,三百六十五络,其血气皆上于面而走空窍"[17]。面诊可以反映人体脏腑气血情况和人体健康状态。医生对于面诊的判断受到时间地点和患者情况的影响具有"模糊性"[18]。AI技术赋能面诊主要体现在面诊智能设备上,现今对面诊的数字化研究主要集中在面色、纹理、面部分区、面部光泽度、面型上[19]。

李加才等[20]应用现代化的仪器设备分析不同年龄段和性别的健康状态人群面色特征,丰富了中医面诊数字化内容。CHENG B Z等[21]通过机器学习方法建立面部特征数据预测模型,筛选了2型糖尿病患者面部图像关键点和面部形态参数。ZHAO C B等[22]通过使用最佳模型参数训练SVM分类器分析面部肤色和光泽程度。冯跃等[23]提出一种结合空洞卷积、通道重排、通道分割和非对称卷积的瓶颈结构,并基于此结构构建一种轻量级面诊图像实时语义分割网络。有望加入面诊设备,提高其诊断的准确性。袁善敏等设计了面诊图像专用色卡,以期规范统一面诊图像颜色校正的标准。通过机器学习、空洞卷积、图像识别等方法丰富面诊模型,建立面诊设备进行诊断,客观化地分析患者的面色、纹理、分区、光泽度以及面型,可以将"模糊性""主观性"的面诊方法向"精确性""客观性"转化。丰富面诊数智化内容,推进人工智能赋能面诊技术的进一步发展。

1.2 人工智能技术在闻诊中的应用 中医闻诊集中在听声音和嗅气味两方面。AI在对声音处理应用方式包括气相色谱法、小波分析、气味图谱、卷积神经网络、语音信号处理技术及气体传感器阵列技术等[24]。

陈春凤等[25]应用现代声学技术,搜集咳嗽咳痰声音信号,采用支持向量机和小波包能量、Shannon熵值特征等进行肺系疾病的分类。李磊[26]通过AI技术建立了预测诊断帕金森病模型,通过模型可以对相关语音数据进行处理。AI在嗅气味方面同样有其优势。在新型冠状病毒感染(Covid-19)大流行时期[27],电子鼻的应用可以通过识别感染气味来实现进一步的诊断。电子鼻应用深度学习分类器验证其测量结果,进行有效的实时诊断。在医疗诊断方面,通过机器深度学习的方法研究适用于关键应用程序的架构,建立人工嗅觉系统,实现高气味识别机制。

AI赋能闻诊,以传统的中医理论作为基,AI技术和智能化设备为体,将传统与现代结合,将闻诊研究由主观判断转为客观演绎,创新性地提高了临床诊断治疗水平和闻诊对临床服务的能力。

1.3 人工智能技术在问诊中的应用 当今AI赋能问诊集中在智能化问诊系统的研究。现有的大多问诊系统包括三方面:输入设备、输出设备和智能诊断模型。问诊系统通过前台问诊采集患者的病症信息,将其作为系统的输入数据,然后在诊断模板通过系统模型对症状信息进行分析预测,并在前台模板给出诊断结果[28]。现有的问诊系统包括应用计算机编程语言/机器学习为基础的古籍文献问诊诊断系统[29-30],以及以临床数据为基,辅以大语言模型在知识图谱等AI技术的临床辅助问诊系统[29,31]。

随着AI与中医药联系日渐紧密,中医问诊趋向于人机对话的形式进行智能诊断。通过对自然语言处理(NLP)技术的应用以及图模型,神经网络以及多标签学习等数据分析技术应用愈加深入,人工智能问诊系统模型也在不断学习和优化过程中[32]。

1.4 人工智能技术在脉诊中的应用 AI赋能脉诊的研究集中在脉象的采集,脉象的分析,脉象的预测三方面[33]。脉诊智能化数字化是在中医基础脉象理论的指导下,应用传感器等设备不断搜集脉象数据,规范脉象的不同维度(力度、节律、频率),并通过机器学习、深度学习、卷积神经网、图神经网等算法进行相关分析,进一步得出结论或进行预测[34-35]。此外,由于现今医学以及计算机技术等多学科的发展和人们对于生活质量的不断追求,可穿戴的智能装备越来越受到人们的关注。

MENG K Y[36]利用柔性传感技术和可穿戴压力传感器技术研究精确、连续检测脉搏波,并将其应用到心血管系统疾病的诊疗过程中。WANG F K等[37]将雷达技术应用于脉搏波检测和可穿戴设备中,促进了脉诊的精准识别。LIU Y Y[38]进一步改善压力传感器,通过自适应脉搏查找算法定位,小波变换、迭代滑动窗口和预测重构算法对脉冲信号进行去噪。通过AI与中医脉诊的不断交融创新,脉诊的智能化、数字化进程加快,进一步促进了数字化脉图与传统脉象的融合,提升脉诊客观性,准确性。

2 人工智能赋能中医数字化诊断的优势

AI赋能将现代化技术与中医传统"四诊"结合,可以将本身具有"主观性""模糊性"的四诊信息收集逐渐变为"客观性""精确性"。同时,人工智能对中医数字化诊断的应用有如下优势。首先,AI本身具有客观,精确的特点,一定程度上来说可以提高四诊诊断的效率和有效性。

人工智能可以快速处理和分析大量的医疗数据，包括患者的症状、体征、病史等，从而在短时间内给出较为准确的诊断建议。例如，通过对成千上万例中医诊断病例的学习，模型能够识别出复杂且细微的病症模式，减少人为疏忽和经验不足导致的误诊。能够整合多种诊断方法和信息源，进行综合判断，提高诊断的全面性和准确性[39-40]。

此外，AI技术可以标准化和规范化诊断流程，计算机语言的标准化客观化决定了应用AI技术可以减少不同中医医师之间诊断的主观性和差异性，使诊断结果更具一致性和可重复性。对于脉象的判断，人工智能可以基于传感器采集的数据，遵循统一的标准进行分析[41-42]。有助于建立统一的中医诊断标准体系，促进中医的国际化和现代化发展。AI赋能中医药诊断还能够为精准医疗的构建奠定一定的基础，进一步推进远程诊断和医疗信息共享的实现可能性。AI技术对患者大数据进行分析，对患者进行个性化诊疗方案制定。之后通过智能化AI诊断设备实现远程医疗和医疗信息资源共享，促进医疗资源的均衡分配，提高基层医疗机构的诊断水平。AI辅助诊断可以实现中医经验的客观化传承，推动中医现代化诊疗模式的发展。

3 人工智能赋能中医数字化诊断的挑战

AI赋能诊断在促进中医药发展的过程中，也存在相对的问题和挑战。首先就是数据质量和标注问题。中医数据（中医诊断、证型、症状、体征、舌脉）具有多模态和不确定性。比如证型存在多样化，症状体征在记录时具有口语化的特征。数据本身存在不确定性，患者对症状的主观描述可能不准确或不一致，这增加了算法解释的难度[43]。中医数据的复杂性和多样性进一步影响数据质量和数据的标注，导致后期机器学习受阻，影响AI诊断的准确性和效率[44]。

此外，有些人工智能算法在中医诊断中难以解释。中医诊断是基于整体观念，综合考虑患者的症状、脉象、舌象、体质等多方面因素，这些因素之间的关系往往是错综复杂且非线性的[45]。且中医理论体系（阴阳、五行、气血、经络）是中医哲学的概括，较为抽象，难以直接转化为具体的算法逻辑，使得人工智能在理解和模拟这些概念时存在困难[46]。

同时，应用于中医诊断的人工智能算法，特别是基于深度学习的模型，其内部运作机制就像一个黑箱[47]。它们通过大量的数据自动学习特征和模式，但无法明确展示是如何得出诊断结论的。模型可能学习到了一些隐藏的、难以直观理解的特征组合，导致其决策过程难以解释。而中医诊断的复杂性也加剧了这一决策过程的问题，中医诊断其实缺乏明确的因果关系，大多数是多因素共同作用的结果。这使得人工智能算法难以准确捕捉和解释这种复杂的因果网络。

此外，中医理论与人工智能的融合具有一定难度。在理论方面，中医理论强调人体是一个有机的整体，各脏腑、经络、气血之间相互关联、相互影响。而人工智能方法通常侧重于对局部数据的分析和处理，难以直接捕捉这种整体性的关系。从诊断本身来说，中医诊断依靠医生的经验和直觉进行定性判断，认为人体的健康状态是动态变化的，疾病发展分不同阶段；而人工智能方法通常基于大量数据进行定量计算和模式识别，诊断结果是基于固定的数据集训练出来的，相对静态，可能会难以适应中医诊断的动态变化。

最后就是，基于AI的中医诊断模型在临床上的验证、与患者信任度以及相应的伦理方面的问题。AI赋能中医诊断模型与医生本身符合率是否相符，关系着患者对于诊断模型的信任度，这要求医生和模型构建人员对中医诊断模型进行进一步的优化完善。同时，在AI技术应用于中医诊断过程中，可能会涉及患者数据的使用、诊断结果的责任归属等伦理和法律问题。比如，利用患者的中医诊断数据进行人工智能模型的训练，如果数据保护不当，可能会侵犯患者的隐私权。

总之，由于中医诊断的复杂性、数据的特点以及算法的局限性等多种因素，使得人工智能算法在中医诊断中的决策过程和结果难以被清晰、准确地解释。针对这些问题和挑战，需要我们进一步探究AI与中医诊断的关联。

4 人工智能赋能中医数字化诊断的应对策略

AI赋能中医数字化诊断可以促进中医文化的传承和发展。同样存在一系列的问题和挑战，本人浅析人工智能与中医诊断，提出一些应对策略，希望能对之后人工智能和中医数字化诊断的发展有一定的借鉴意义。

首先就是要加强中医数据管理和标准化，在采集、分类、标注方面建立统一、规范的数据采集标准，确保数据的质量和一致性。制定详细的操作流程和规范，对中医诊断相关数据进行分类和标注，形成结构化的数据集，以便于人工智能算法的学习和应用。在数据结构化、规范化的基础上，研发可解释性的人工智能模型，开发具有可解释性的人工智能算法，并结合可视化技术，将模型的决策过程以直观的方式呈现给医生和患者，增加其对诊断结果的理解和信任。在数据和算法更新的基础上，组织中医专家和人工智能专家进行跨学科合作，培养既懂中医又懂人工智能技术的复合型人才，深入研究中医理论，将其核心概念和原则转化为算法能够理解和应用的形式。进一步促进中医理论与人工智能的深度融合。

在上述基础上，进行大规模的临床试验，不断提高人工智能辅助诊断模型的符合率，建立严格的评估体系，确保人工智能诊断结果的准确性和可靠性。还要关注人工智能领域的最新技术进展，及时将其应用于中医数字化诊断中，不断提升诊断的效能。同时，建立伦理审查机制，保障患者的权益和隐私。

5 结论与展望

AI技术在中医数字化诊断领域的广泛融入，显著推动了中医四诊信息由传统的主观性与模糊性向客观化与精确化的转型。通过AI的赋能，中医数字化诊断在提升诊断效率与精确度、规范诊疗流程、促进精准医疗实践及实现远程诊断等方面，展现出了不容忽视的优势。然而，在这一进程中，亦浮现出一系列亟待解决的问题。其中包括数据质量参差不齐、标注精确性不足、算法解释性欠缺、与中医基础理论体系的深度融合面临挑战、临床验证不充分导致的信任度问题，以及伴随而来的伦理与法律框架的完善需求等。这些问题共同构成了中医数字化诊断领域在AI技术应用上的复杂图景，需进一步探索与解决。

为推动AI与中医数字化诊断深度融合，未来需强化数据管理标准化，提升数据质量；研发可解释性AI模型，明晰诊断过程；促进跨学科协作，培育复合型人才，深度融合中医理论与AI技术；开展大规模临床试验，构建严格评估体系；紧跟AI新技术发展，保障患者权益与隐私。这些举措有望充分激发AI在中医数字化诊断中的效能，提升中医诊疗水平，更好地助力中医文化传承与健康事业发展。

参考文献

[1] 赵国桢，郭诗琪，庞华鑫，等. 基于中医临床诊疗数据的真实世界

及人工智能研究思路与挑战[J]. 中医杂志,2023,64(21):2170-2175.
[2] 张晓雨,田思超,尤良震,等. 大数据时代中医症状疗效评价存在的问题与解决对策[J]. 中医杂志,2024,65(8):792-795.
[3] 江启煜,孙晓生,罗晓牧. 基于新型中医人工智能可解释推理模型的眩晕辨证诊断[J]. 中华中医药学刊,2025,43(5):21-27,262-265.
[4] 曹淼,肖凡,符超君,等. 中医症状判断标准、分类分级标准现状及发展路径思考[J]. 中华中医药杂志,2024,39(6):2715-2719.
[5] 宋逸杰,马素亚,戴亚盛,等. 人工智能辅助中医辨证的关键问题与技术挑战[J]. 中国工程科学,2024,26(2):234-244.
[6] 李新龙,王世华,赵欣然,等. 从"模糊性与精确性"探讨中医辨证诊断的智能化思路[J]. 中医杂志,2024,65(15):1555-1558,1564.
[7] 衣凯,徐樱,马云静,等. 基于中医象思维的远程仿生复现脉诊仪的研发[J]. 时珍国医国药,2024,35(3):747-750.
[8] OKAWA J,HORI K,IZUNO H,et al. Developing tongue coating status assessment using image recognition with deep learning[J]. J Prosthodont Res,2024,68(3):425-431.
[9] 杨启城,温川飙,周一博,等. 用于辅助中医诊断的居家健康监测设备多节点数据融合方式[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2024,26(5):1344-1353.
[10] 张港,田双桂,胡娅,等. 中医临床文献数据规范化与结构化研究[J]. 时珍国医国药,2024,35(3):765-767.
[11] 陈子瑜,程国斌. 医疗人工智能中的算法黑箱及其核心伦理问题[J]. 医学与哲学,2024,45(12):6-10.
[12] 李灿东,吴承玉. 中医诊断学[M]. 3版. 北京:中国中医药出版社,2012.
[13] 夏雨墨,高慧,王庆盛,等. 颜色空间在中医望诊客观化研究中的应用进展[J]. 中国中医药信息杂志,2021,28(4):135-139.
[14] WANG X Z,LUO S Y,TIAN G H,et al. Deep learning based tongue prickles detection in traditional Chinese medicine[J]. Evid Based Complement Alternat Med,2022,2022:5899975.
[15] YUAN L,YANG L,ZHANG S C,et al. Development of a tongue image-based machine learning tool for the diagnosis of gastric cancer: a prospective multicentre clinical cohort study[J]. E Clinical Medicine,2023,57:101834.
[16] LI J W,ZHANG Z D,ZHU X L,et al. Automatic classification framework of tongue feature based on convolutional neural networks[J]. Micromachines(Basel),2022,13(4):501.
[17] 黄龙祥. 论俞穴[J]. 中国针灸,2023,43(10):1189-1201,1216.
[18] 杨娜婷,周旋,马庆宇,等. 抑郁症肝郁脾虚证患者面诊客观参数分析[J]. 中华中医药杂志,2023,38(8):3836-3839.
[19] 关茜,徐莹,杨帅,等. 中医面诊特征与疾病关系探究[J]. 中华中医药杂志,2022,37(2):902-905.
[20] 李加才,屠立平,姚兴华,等. 基于中医数字化面诊技术的健康状态人群面色特征研究[J]. 中华中医药杂志,2022,37(1):342-347.
[21] CHENG B Z,MA J L,CHEN X L,et al. Objective study of the facial parameters of observations in patients with type 2 diabetes mellitus by machine learning[J]. Ann Transl Med,2022,10(18):960.
[22] ZHAO C B,LI G Z,LI F F,et al. Qualitative and quantitative analysis for facial complexion in traditional Chinese medicine[J]. Biomed Res Int,2014,2014:207589.
[23] 冯跃,李胜可,李周姿,等. 适用于面诊图像分割的轻量级网络[J]. 现代电子技术,2023,46(6):143-148.
[24] ZHI L,ZHANG D,YAN J Q,et al. Classification of hyperspectral medical tongue images for tongue diagnosis[J]. Comput Med Imaging Graph,2007,31(8):672-678.
[25] 陈春凤,王忆勤,徐璀等. 342例肺系疾病患者的语音信号采集和特征分析[J]. 上海医药,2022,43(14):21-25.
[26] 李磊. 基于语音识别的帕金森病识别系统研究与实现[D]. 重庆:重庆大学,2018.
[27] SNITZ K,ANDELMAN-GUR M,PINCHOVER L,et al. Proof of concept for real-time detection of SARS CoV-2 infection with an electronic nose[J]. PLoS One,2021,16(6):e0252121.
[28] 孙艳秋,燕燕,李思思. 中医智能诊疗机器人的临床应用研究[J]. 中华中医药学刊,2024,42(3):19-23.
[29] FAN B C,LI Y H,WEN G H,et al. Personalized body constitution inquiry based on machine learning[J]. J Healthc Eng,2020,2020:8834465.
[30] 梁建庆,何建成. 基于数字化系统的中医问诊诊断客观化研究[J]. 中华中医药杂志,2014,29(5):1534-1538.
[31] 浙江移动:基于医疗知识图谱的新冠肺炎智能辅助问诊系统[J]. 杭州科技,2020(1):62-63.
[32] 许鸿本,路熹雅,刘怡馨,等. 构建知识与数据双驱动中医诊疗系统的可行性及路径分析[J]. 中医杂志,2022,63(9):801-805.
[33] 石玉琳,胡晓娟,许家佗. 中医病证智能化诊断与分类研究进展[J]. 中国中西医结合杂志,2019,39(6):763-768.
[34] NAFISI V R,GHODS R,SHOJAEDINI S V. A novel pulse-taking device for Persian medicine based on convolutional neural networks[J]. J Med Signals Sens,2022,12(4):285-293.
[35] NIE J,ZHANG L L,LIU J,et al. Pulse taking by a piezoelectric film sensor *via* mode energy ratio analysis helps identify pregnancy status[J]. IEEE J Biomed Health Inform,2022,26(5):2116-2123.
[36] MENG K Y,XIAO X,WEI W X,et al. Wearable pressure sensors for pulse wave monitoring[J]. Adv Mater,2022,34(21):e2109357.
[37] WANG F K,TANG M C,SU S C,et al. Wrist pulse rate monitor using self-injection-locked radar technology[J]. Biosensors(Basel),2016,6(4):54.
[38] LIU Y Y,LV Y X,XUE H B. Intelligent wearable wrist pulse detection system based on piezoelectric sensor array[J]. Sensors,2023,23(2):835.
[39] 余楷杰,袁芳君,马庆宇,等. 机器学习驱动中医诊断智能化的发展现状、问题及解决路径[J]. 中国中医基础医学杂志,2024,30(3):398-406.
[40] 展志宏,戴国华,张丛惠,等. 中医智能辨证多决策模型构建思路与方法[J]. 中华中医药学刊,2024,42(2):13-16.
[41] ZHANG Q,ZHOU J H,ZHANG B. Graph based multichannel feature fusion for wrist pulse diagnosis[J]. IEEE J Biomed Health Inform,2020,25(10):3732-3743.
[42] PAN D P,GUO Y L,FAN Y F,et al. Development and application of traditional Chinese medicine using AI machine learning and deep learning strategies[J]. Am J Chin Med,2024,52(3):605-623.
[43] 李新龙. 中医智能诊疗研究中的数据标准化瓶颈和处理策略[J]. 中华中医药杂志,2024,39(3):1123-1126.
[44] 王志杰,樊薛津,王豫骞,等. 机器学习方法在中医药研究中的应用进展[J]. 药物评价研究,2024,47(8):1906-1913.
[45] 衣凯,郭沈,徐樱,等. 基于"制器尚象"理论探讨中医人工智能装备的研发构想[J]. 中华中医药学刊,2024,42(7):23-26,259-260.
[46] 李瑞珍,夏春明,王忆勤,等. 基于频繁模式挖掘算法的中医问诊策略研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2024,26(6):1608-1617.
[47] 袁培江,苏峰. 两个黑箱问题——深度神经网络和脑神经网络[J]. 科技导报,2017,35(18):12.