

人工智能辅助中医辨证的关键问题与技术挑战

宋逸杰^{1,2,3}, 马素亚⁴, 戴亚盛^{1,2,3}, 陆军^{2,3*}

(1. 上海大学计算机工程与科学学院, 上海 200444; 2. 浙江省医学电子与数字健康重点实验室, 浙江嘉兴 314001;
3. 全省多模态感知与智能系统重点实验室, 浙江嘉兴 314001; 4. 中国中医科学院广安门医院, 北京 100053)

摘要: 中医辨证论治是传统医学体系的核心, 几千年来为中华民族的健康发展发挥着不可或缺的作用。近年来, 在多部门的协同推进下, 我国中医科技创新能力持续提升。中医辨证与人工智能、大数据等多学科交叉融合, 取得新的进展, 工程化前沿方法和技术为突破中医辨证理论瓶颈提供了有效路径。本文以新时代中医诊断现代化、智能化发展为背景, 总结中医辨证的基本原理, 概括人工智能辅助中医辨证的基本过程以及多模态数据融合、症状关联性分析、证候量化、证候推理、中医药大模型等关键问题, 总结了每个环节的研究思路和发展现状, 进而根据现有不足分析当前发展面临的可利用公开数据较少且质量参差不齐, 辨证模型单一、普适性不佳, 辨证模型的可解释性不足且存在差异, 辨证模型结果评价存在局限、缺乏可信度等挑战。研究建议, 加强数据整合与质量把控, 深度融合人工智能技术与中医辨证思维、加强模型可解释性, 发展中医药细分领域的大语言模型, 加强智能中医人才队伍建设、鼓励多领域专家合作, 完善国际标准和法律法规、加强国际合作与交流等, 以期智能中医诊疗的技术探索和科技创新提供参考。

关键词: 中医药; 中医诊断; 人工智能; 智能辨证; 中医智能化

中图分类号: T183; R2-03 **文献标识码:** A

AI-Assisted TCM Syndrome Differentiation: Key Issues and Technical Challenges

Song Yijie^{1,2,3}, Ma Suya⁴, Dai Yasheng^{1,2,3}, Lu Jun^{2,3*}

(1. School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. Key Laboratory of Medical Electronics and Digital Health of Zhejiang Province, Jiaxing 314001, Zhejiang, China; 3. Provincial Key Laboratory of Multimodal Perceiving and Intelligent Systems, Jiaxing 314001, Zhejiang, China; 4. Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100053, China)

Abstract: Traditional Chinese medicine (TCM) syndrome differentiation, as the core of the traditional Chinese medical system, has played an indispensable role in guaranteeing the health of the Chinese nation for thousands of years. Recently, with the collaborative promotion of multiple departments, the TCM technology innovation capability of China has been continuously enhanced. The integration of TCM syndrome differentiation with artificial intelligence AI, big data, and other fields has made new progress. Engineering frontier methods and technologies have provided an effective route for breaking through the theoretical bottlenecks of TCM syndrome differentiation. Against the backdrop of the modernization and intelligent development of TCM diagnosis in the new era, this study summarizes the fundamental theories, basic processes, and key technical links of AI-assisted TCM syndrome differentiation.

收稿日期: 2024-02-26; **修回日期:** 2024-03-27

通讯作者: *陆军, 浙江省医学电子与数字健康重点实验室研究员, 中国工程院院士, 研究方向为综合电子信息系统、人工智能、数字健康;
E-mail: lujun_cetc@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“面向中医药的人工智能发展战略研究”(2023-HY-10); 浙江省“鲲鹏行动”计划

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

The key technical links include multimodal data fusion, symptom correlation analysis, syndrome quantification, syndrome reasoning, and large-scale TCM models. It also expounds on the research ideas and development status of each link and summarizes the challenges faced by AI-assisted TCM syndrome differentiation. For instance, publicly available data are insufficient and have a poor quality; syndrome differentiation models are inadequate, have poor universality, and lack interpretability and consistency; and the evaluation of syndrome differentiation model results is limited and lack credibility. Therefore, the following suggestions are proposed for reference: (1) strengthening data integration and quality control; (2) deeply integrating AI with TCM syndrome differentiation to enhance model interpretability; (3) developing large language models for the subdivisions of TCM; (4) strengthening the construction of intelligent TCM talent teams and encouraging cooperation among experts in multiple fields; and (5) improving international standards and regulations to strengthen international cooperation and exchanges. These efforts aim to provide references for the technological exploration and innovation of AI-assisted TCM diagnosis and treatment.

Keywords: traditional Chinese medicine; TCM diagnosis; artificial intelligence; intelligent syndrome differentiation; intelligent development of TCM

一、前言

2019年10月,习近平总书记对中医药工作作出重要指示强调,要遵循中医药发展规律,传承精华,守正创新,加快推进中医药现代化、产业化,坚持中西医并重,推动中医药和西医药相互补充、协调发展,推动中医药事业和产业高质量发展^[1]。“十四五”以来,国家颁布和实施了一系列关于促进中医药卫生事业发展的政策与措施,中医药发展进入了新的历史时期^[2]。2022年,国务院办公厅发布《“十四五”中医药发展规划》^[3],要求推进中医药和现代科学相结合,推动中医药和西医药相互补充、协调发展,推进中医药现代化、产业化;鼓励中医辨证论治智能辅助诊疗系统等具有中医特色的信息系统研发应用。2022年,国家中医药管理局发布《“十四五”中医药信息化发展规划》^[4],提出开展云计算、大数据、物联网、人工智能、5G、区块链、智能感知等新一代信息技术在中医药领域的集成应用研究,探索一批中医药数字化应用场景建设。党中央、国务院高度重视中医药发展,将传承创新发展中医药定位为新时代中国特色社会主义事业的重要内容^[5]。

近年来,人工智能技术发展迅猛,并逐步开始嵌入到医疗体系中的多个环节^[6],特别是在中医诊断领域也表现出了巨大的发展潜力。中医辨证是中医的核心领域。借助于人工智能技术,通过图像识别和深度学习,可以识别脉象、舌象、面部色泽、声音等中医诊断要素及微妙变化,帮助医生在众多症状和体征中迅速找出关键信息,辅助医生做出更精确的判断,减少误诊和漏诊的可能性^[7,8]。人工智能辅助中医辨证成为推动中医诊疗体系现代化的重要力量。

本文旨在探讨人工智能辅助中医辨证的基本原理、发展面临的关键问题,以及实践中面临的技术挑战,并提出发展建议,以期为推动人工智能辅助中医诊疗的技术探索和科技创新提供参考。

二、中医辨证的基本原理

(一) 传统中医辨证的基本原理

传统中医源于东方传统哲学和古代科技文化,经过数千年的医学实践,逐渐形成了其独特且完整的理论体系^[9]。这一体系不仅为中华民族的健康福祉和民族繁荣作出了贡献,同时也为世界医学的丰富和发展提供了宝贵的资源。传统中医的核心理念可以概括为“整体观念”和“辨证论治”^[10]。

“整体观念”强调人体是一个与外部环境紧密相连的有机整体,其内部各脏腑、经络、气血等要素在生理上相互关联、相互制约,共同维持着人的生命活动^[11]。当人体受到外界致病因素的影响时,这些内部要素之间的平衡会被打破,从而导致疾病的产生。

“辨证论治”则是中医诊断疾病的核心原则和方法。在中医看来,同一种疾病在不同的患者身上,或者在不同的阶段,可能会表现出不同的症状,因此需要根据患者的具体症状、体征、舌象、脉象等信息进行综合分析,以确定疾病的病因、病性、病位等,从而制定出个性化的治疗方案^[12]。

传统中医辨证的过程描述如图1所示。中医的辨证过程通常包括四诊(望、闻、问、切)和八纲(阴阳、表里、寒热、虚实)的分析。望诊是通过观察患者的神、色、形、态等外在表现,以获取疾病的初步印象;闻诊是通过听患者的声音、闻其气味等,以进一步了解病情;问诊是通过询问患者的

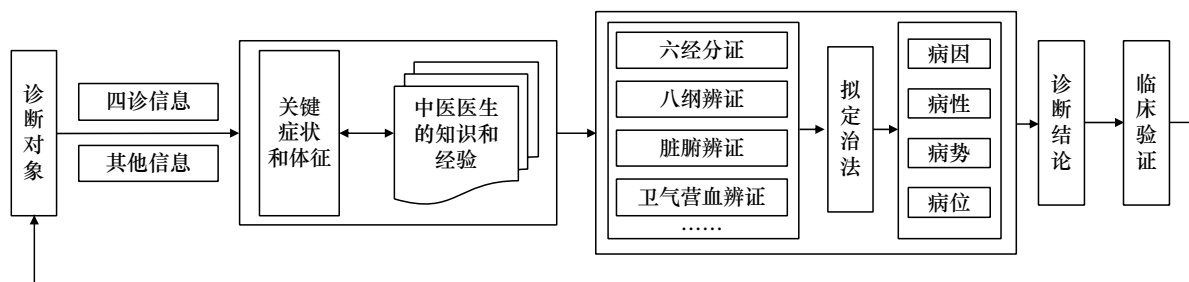


图1 传统中医辨证过程

病史、症状等，以获取更详细的信息；切诊则是通过触摸患者的脉象，以感受其气血的流动情况^[13]。在收集到这些信息后，中医医师会根据所学知识和经验划分病域，同时根据六经分证和八纲辨证理论进行分析和归纳，以确定疾病的性质、部位和邪正关系。例如，通过观察患者的舌象和脉象，医师可以判断其阴阳、表里、寒热、虚实等属性，从而确定疾病的证型。

需注意的是，中医的辨证过程并非完全客观和可量化，它依赖于医师的感官观察、经验判断以及患者的主观感受^[14]。这种方法的优点是能综合考虑患者的整体状况，制定个性化的治疗方案；但缺点也比较明显，即诊断的准确性受到医师个人经验、技能等因素的影响，且难以进行客观验证和量化评估。同时，中医辨证中的症状、症候、药量等大多是运用自然语言进行定性描述，定量计量和分析不足，因此无法精确给出大小、程度、数量等的表达；在症状的程度、证候的类别、药物的用量等方面的判断上，存在模糊性和不确定性等问题，进而导致功效难以准确衡量、水平提升缓慢。

尽管如此，中医的辨证仍然在全球范围内受到广泛的关注和认可^[15]。随着现代科技的发展和进步，为了克服上述制约传统中医辨证发展的因素，需要发展面向中医辨证的人工智能方法，使传统中医辨证方法的不足得到不断完善。

(二) 人工智能辅助中医辨证的基本原理

近年来，随着信息技术的不断发展，人工智能辅助中医辨证作为一种新兴的现代医学技术得到了越来越多的关注和应用^[16]。人工智能辅助中医辨证将传统中医的辨证理论与现代计算机技术和人工智能技术相结合，以更好地解释疾病的本质和发展规律，实现更加客观、精准的中医诊断。人工智能辅

助中医辨证的具体框架描述如图2所示，通过传感器等智能设备采集和分析患者的症状、体征、舌象、脉象等多维多模数据，实现传统中医辨证中“望、闻、问、切”的信息采集过程^[17]。在完成信息的“输入”阶段后，人工智能辅助中医辨证的核心在于“计算”阶段，即让机器学习和理解中医的知识体系，以形成机器“辨证”机制^[18]，达到辨证过程可解释、辨证结果可量化、辨证模型可泛化以及可实用的目的。最终，机器可以基于这些学习到的知识，给出精准且客观的辨证结果，完成“输出”阶段。

三、人工智能辅助中医辨证的关键问题

人工智能辅助中医辨证具有巨大的潜力和优势，但在具体实践应用中，面临着多模态数据融合、症状关联分析、证候量化以及证候推理等多个关键问题。解决这些问题需要综合运用现代计算机科学、数据科学等多学科的知识和技术，同时也需要深入理解和挖掘中医的辨证理论与实践经验。

(一) 多模态数据融合：提供更丰富、全面的诊断信息，提高中医诊断的准确性

多模态数据融合是人工智能辅助中医辨证的基础。中医辨证知识的来源丰富，既有中医典籍中的经典理论和知识，也有蕴含在中医专家诊断数据中的临床诊断经验。此外，中医辨证讲求“望、闻、问、切，四诊合参”，其中“望、闻、问、切”采集的临床资料属于多模态数据。实践中需将来自不同数据源的信息，如望诊、闻诊、问诊和切诊所得的数据，有效融合成一个综合的患者信息库。首先，将采集的舌诊图像、面诊图像以及诊断量表数据，构建成中医诊断信息数据集；然后，根据数据

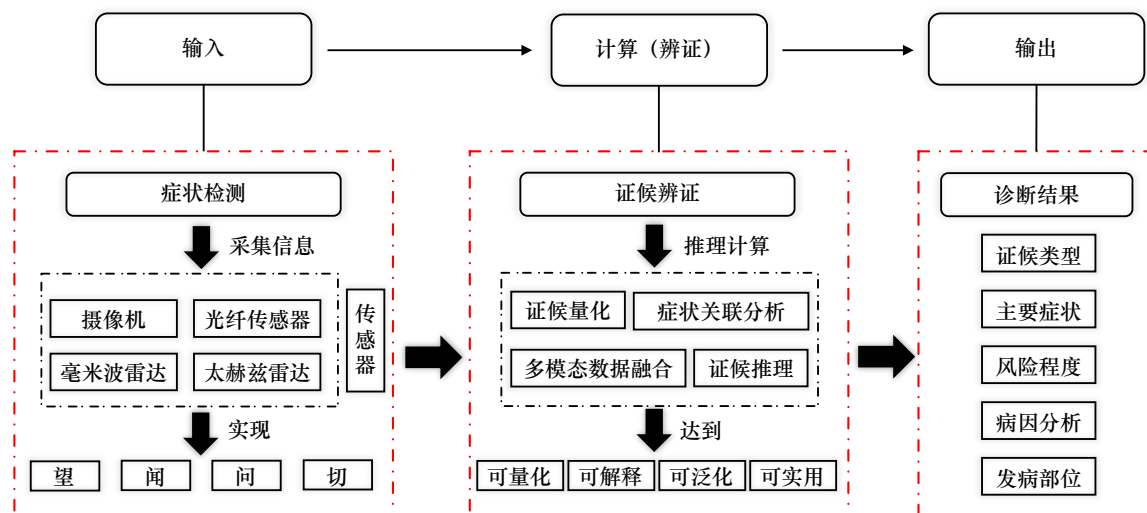


图2 人工智能辅助中医辨证框架图

集中的数据模态，选择合适的处理方法；最后，再结合多模态数据融合架构共同形成诊断模型。目前，多模态数据融合技术已有效地应用于多个中医诊断场景中，如2型糖尿病、阴虚证、皮肤癌、轻度抑郁症等^[19-21]，展现出其卓越的实用价值。其中，针对2型糖尿病阴虚证的诊断是通过收集2型糖尿病患者的临床诊断信息，包括舌诊图像、目诊图像以及诊断量表数据，建立中医诊断信息数据集；在数据经过预处理后，根据模态选择合适的处理方法；采用VGG16、VGG19、ResNet34、ResNet50及GoogLeNet深度神经网络对图像数据进行分析，采用支持向量机（SVM）、随机森林以及K近邻对量表数据进行分析，再结合多模态数据融合架构共同形成诊断模型，为中医智能诊断提供了新的思路和方法。

（二）症状关联性分析：挖掘症状-症状、症状-证候关联关系，增强中医诊断的解释性

症状关联分析是智能中医辨证的核心之一。在中医理论中，症状之间往往存在复杂的关联关系，需利用关联规则挖掘、聚类分析等数据分析技术，揭示这些症状之间的关联规律，从而增强中医诊断过程的透明性和结果的可解释性。临床上，经常存在一体多症的患者，尤其是老年人往往同时合并多种病症，导致临床症状复杂多样。中医辨证中不同病症的症状之间会相互影响，不相干的症状会对辨证过程产生干扰；同时，同一组证候下症状与症状

之间存在冗余，会增加系统辨证的复杂性。因此，症状关联分析主要对患者的症状进行深入分析，以抓住重点症状、剔除模糊症状和冗余症状，其中涉及对患者临床表现的观察、症状关联性的探究以及重点症状的挖掘。利用数据分析和机器学习的方法，将多种症状信息进行特征融合，建立关联分析模型，计算症状与症状之间以及症状与证候之间的相关性，以揭示症状与证候之间的内在规律。目前，针对症状关联性分析的问题已在多种病症上开展研究^[22-25]，如多囊卵巢综合征、2型糖尿病等^[22,23]。从证候构成层面探讨多囊卵巢综合征常见基本证型递进分层与跨层关联的症状关系，并尝试将症状关系融入证候量表，实现条目间及条目与维度间的双向关联，深化病机认识，提高证候诊断准确性。

（三）证候量化：构建量化模型及量化指标，克服传统中医客观量化的不足

证候量化是智能中医辨证的另一个关键问题。传统中医的辨证结果往往依赖于医生的主观判断和经验，缺乏客观性和可量化性。量化技术可以在一定程度上实现中医客观化诊断与疗效标准化评价，将患者的证候转化为可计算、可度量的数值，以实现辨证的客观化和精确化。这对于开展以证候为核心的临床研究具有一定意义的科研价值和实践应用价值。中医证候本身有一些名称具有量化区分度，如口渴有微渴、大渴之别，发热有微热、壮热之别。朱文锋^[26]在《证素辨证学》中曾进行过轻、

中、重的简单量化。此外，证候还有时间维度的量化，如对疼痛缓急的描述，有长期疼痛、急性疼痛等^[15]。但是这种描述方式比较模糊，不符合计算机对精确性的要求^[15]。现有的主要证候量化方式是构建量表，但其需借助文献研究、专家咨询、临床调查等一系列流程，工作量极大。针对智能化证候量化的需求，构建量化模型及量化指标，优化模型参数，规范计量单位。目前，利用半经验分子轨道（SEMO）、李克特（Likert）分级、相对熵^[27]等方法量化症状/证候数据，采用神经网络、SVM、深度极限学习机等方法对量化模型进行训练、测试。该方法已在肺癌、抑郁症、冠心病等病症方面开展了研究^[28-30]。其中，针对肺癌的诊断，通过从江西中医药大学附属医院收集到的2015年1月—2021年12月的497例肺癌病历中，筛选412例病历作为研究对象。利用特征选择和特征重要性排序等方法归纳出不同证型的证型因子，并使用Likert分级法量化证型因子；构建基于麻雀搜索算法优化的深度极限学习机，对模型进行训练、测试，为模型在临床上的研究提供了科学的技术手段^[28]。同时还有研究团队探索基于脱氧核糖核酸（DNA）甲基化的中医概念量化表征方法，实现证候与现代医学通路的结合创新^[29]。

（四）证候推理：将推理模型融合医学知识规则，提高证候推理模型的泛化性

证候推理是智能中医辨证的关键环节。传统证候推理受医生主观性思维差异和患者个体化复杂特征的影响，症状和体征与证候分类之间存在复杂的对应关系，导致推理结果呈现出不确定性、模糊性、高维性。将中医理论与数学及计算机科学紧密结合，融入人工智能技术进行证候推理是解决上述问题的重要途径。但当前智能证候推理面临使用模型单一、推理模式难以适用于多种病种、单纯依靠病例等数据学习而未融入医学知识规则等问题，使得推理的精确度与适应度均有待提高。在获取患者的多模态数据后，需通过证候推理来得出最终的辨证结果。这涉及到如何从海量的数据和信息中提取出关键信息、如何构建有效的推理模型以及如何确保推理结果的准确性和可靠性等问题。

目前，在小规模医疗样本的场景下，借助贝叶斯网络、SVM、随机森林等传统机器学习算法，对

重症肺炎、慢性肾炎、小儿肺炎等证候推理的准确率可以达到85%以上^[31-33]。通过收集中国中医科学院望京医院重症医学科247例重症肺炎患者的中医证候信息，然后利用贝叶斯网络结构学习技术建立证候间的贝叶斯网络概率模型，最后结合专家经验，提取重症肺炎的常见证型^[33]。在大规模医疗样本的场景下，借助注意力机制、Transformer、卷积神经网络等深度学习算法，对心血管疾病、冠心病、哮喘等的证候推理结果相较前期同类型的推理模型，表现出明显的优越性^[34-36]。其中，针对冠心病诊断，以冠心病证候要素为关键环节，基于“症状-证候要素-证候-治法-方剂-药物（剂量）”的临证诊疗思路搭建基本逻辑，综合运用多头注意力机制、复合词向量、随机失活形成改良Transformer算法，模拟临床医师临证思路，形成具备冠心病中医证候要素判断、证候诊断、方药推荐、可更新迭代功能的智能化模型^[35]。在症状信息模糊或以序贯式症状信息输入的自主问答场景中，借助强化学习、深度Q网络（DQN）、知识图谱等技术^[37-39]，设计并实现了问诊小程序和后台知识管理系统。通过对系统进行需求分析，确定了问诊系统的架构和功能设计，完成了小程序端的系统实现。问诊小程序通过与病人交互，识别患者回答中的症状实体作为症状参数，进行证候推理；当推理信息不足时进行症状求证，询问病人是否有相关症状，从而主导和病人的对话过程，补全症状参数，最终得到证候，并输出诊疗结果^[39]，实现中医证候鲁棒推理以及自主诊断。

（五）中医药大模型：以人工智能对话模式，为用户提供高效、便捷的中医药服务

随着人工智能技术的飞速发展，大语言模型逐渐展现出了强大的应用潜力，其出色的对话生成和语义理解能力，赢得了广大用户的喜爱，并逐渐扩展到了教育、金融、医学、法律、娱乐、客服等多个领域。2023年，中医药大模型“岐黄问道”率先将生成式人工智能引入到中医药领域，开辟了国内中医药大模型的研究之路。但是，中医药知识体系庞大、细分领域众多，仅仅通过中医药基础大模型不能完全实现对中医药细分领域知识的深度解读。因此，需要设计中医药细分领域大模型为中间层，以更好地服务中医药细分领域大模型。

张鹤译^[40]等以中医药方剂领域的应用为例, 收集领域相关数据并对数据进行预处理, 通过强化大语言模型的信息抽取能力, 利用生成的自然语言回答, 从中抽取出结构化知识, 并和专业知识图谱匹配以进行专业验证, 同时可以将结构化知识转化成易读的自然语言, 实现了大模型与知识图谱的深度结合。Xu^[41]等提出了一种动态增长的知识图构建方法, 使用BERT-CRF方法进行命名实体识别以及Bootstrapping方法进行关系提取, 最后将结构化数据合并到现有的知识图谱中, 实现动态构建大模型知识库。Ye^[42]等利用知识图谱的检索信息补充中医数据在大模型信息库中的文本表示, 与基线模型BERT相比, 该方法可以在辨证辅助任务上提高相关性能。

中医药大模型关键技术主要涵盖高质量、深度学习算法、知识图谱、自然语言处理以及可解释性技术等部分。首先, 通过数据收集和预处理, 为模型训练提供充足和准确的信息。其次, 利用深度学习算法, 如卷积神经网络、循环神经网络等, 从海量数据中提取有效特征, 进行分类、预测等任务。同时, 知识图谱作为中医药领域知识的宝库, 为大模型提供丰富的背景信息和推理依据。自然语言处理技术则助力大模型理解病历、中药方剂等文本数据的真实含义, 为诊断和治疗提供更有价值的参考。最后, 通过可视化技术和解释性算法等手段, 增强大模型的可解释性, 使用户能够理解模型的推理过程和结果。这个框架将各项关键技术有机结合, 共同推动中医药的智能化发展, 为医疗行业提供更高效、精准的服务。

四、人工智能辅助中医辨证面临的挑战

经过对人工智能辅助中医辨证的关键问题进行系统梳理与深入分析, 可以观察到人工智能在辅助中医辨证方面取得了显著进展。通过多模态数据融合、症状关联性分析以及证候量化和推理等技术手段, 人工智能为中医诊断提供了更为丰富、全面的信息支持, 并增强了诊断的解释性, 填补了传统中医在客观量化方面的空白。然而, 在中医临床应用和推广过程中, 仍面临着一系列技术挑战。

(一) 可利用的公开数据不足且质量参差不齐

中医诊断涉及复杂的辨证过程, 通常需要结合

多种数据源, 如患者的主观描述、医生的观察以及多种检查结果等。然而, 中医诊断的个性化、经验性和主观性, 导致目前公开可用的中医相关数据集较少; 而缺乏充足的数据集, 直接限制了智能辨证模型的训练和验证, 导致模型性能难以达到预期。

同时, 已有公开数据集的质量也存在着较大的差异。目前可用于辨证模型训练的数据集主要来源于住院病历和门诊医案, 但往往因为中医医师的经验和个人习惯, 导致这些数据存在着标注不准确、信息不完整、数据格式不统一等问题。此外, 中医辨证强调的个性化治疗导致现有的公开数据可能仅涵盖部分疾病或症状, 缺乏多样性和代表性。这可能会导致辨证模型在处理某些罕见或特殊病例时表现不佳, 限制了模型的实际应用范围。

(二) 辨证模型单一, 普适性不佳

从目前的文献报道和实际应用情况来看, 大多数的智能辨证模型都是针对某一特定病种或证型进行设计的^[43,44], 这导致模型的应用范围非常有限, 难以适应中医临床实践中复杂的辨证需求。

一方面是模型设计的局限性。当前的智能辨证模型往往在设计之初就设定了固定的分类框架, 即先将疾病划分为几个固定的证型, 然后基于这些证型进行模型的训练, 这种做法虽然在一定程度上简化了问题, 但是带来了很大的局限性。因为中医的辨证过程是一个动态的、灵活的过程, 它涉及对患者整体状况的全面考量, 而不仅仅是简单的证型分类。这种固定的分类框架很难涵盖所有的临床情况, 一旦遇到不符合先验知识的情形, 模型就很难给出正确的辨证结果。

另一方面, 中医认为疾病的发生和发展是一个复杂的过程, 涉及多种因素的相互作用, 而现有的智能辨证模型往往只关注其中的一部分因素, 忽略了其他可能对辨证结果产生影响的因素。这种简化处理虽然可以降低模型的复杂度, 但也导致了模型普适性的降低。在实际的临床实践中, 医生需要综合考虑各种因素来进行辨证^[45], 而不仅仅是依据几个固定证型。

(三) 辨证模型的可解释性不足且存在差异

中医的辨证过程往往涉及复杂的逻辑推理和丰富的实践经验, 而当前的智能辨证模型在解释性方

面存在明显不足，同时由于模型大多根据不同派别的专家思维进行设计，导致不同模型之间的解释存在差异。

当前，绝大多数智能中医辨证研究均依赖于机器学习和深度学习模型。然而，由于这些模型内部运作机制复杂且不够透明，难以对其决策过程进行解释，因而常表现出“黑箱”特性。对于非专业人士来说很难理解。这导致了模型在输出结果时，医生难以理解模型为何做出这样的判断，从而降低了模型的接受度。

不同研究团队在开发智能辨证模型时往往都是借鉴某一位或某一派别的名老中医辨证思维，采用不同的方法、数据集和算法，导致不同模型之间的解释性存在差异。这样的差异性使得医生在面对多个模型给出的结果时难以选择，同时也增加了模型之间的比较和评价难度。

（四）辨证模型结果评价存在局限，缺乏可信度

目前，智能辨证模型的评价主要依赖传统机器学习和深度学习领域的评价标准，如准确率、错误率、回归率等^[46]。这些评价标准虽然可以提供一定的性能概况，但无法全面反映模型在实际应用中的可信度和有效性。因为这些评价标准往往只关注模型的预测结果是否正确，而忽略了模型决策过程和内部逻辑的解释性。在中医领域，这种评价方式显然是不够的，因为中医的辨证信息通常具有模糊性、不确定性和非线性等特点，所以，仅仅依靠传统的评价指标来评估智能辨证模型的结果是不可靠的。

此外，中医辨证过程是一个基于经验和直觉的过程，涉及到大量的主观判断和逻辑推理，因此，评价智能辨证模型的结果需要考虑到中医的特点。然而，目前缺乏符合中医特点的评价方式，使得对模型结果的评价变得困难。为了解决这个问题，需要研究和发展符合中医特点的评价标准和方法，以便更好地评估模型在实际应用中的表现。这些评价标准和方法应能够全面反映模型的性能、稳定性和可信度等，同时也要考虑中医领域的需求和特点。

（五）辨证模型弱化了中医辨证的特色思维和逻辑

中医辨证是医生在头脑中运用中医理论处理患者临床症状、体征及其相关联的生理病理信息并得出诊断结果的过程。医生经过“望、闻、问、切”

的方法收集患者信息，进行综合分析而得出辨证结论。在这个过程中，医生需要运用专业知识明确其中的病位、病性、病机、传变趋势等信息。在中医辨证与人工智能技术相融合的发展过程中需要海量的中医数据支撑，以及对这些数据进行分析、挖掘与应用。然而，目前很多分析是基于数据层面的现象展现，少有运用中医理论或辨证思维逻辑进行处理^[47]。

针对数据驱动下的智能辨证模型，利用大数据分析、挖掘和应用技术，对海量的中医临床数据进行深入研究，以构建高效、准确的辨证模型。这种方法在一定程度上能够提高模型的预测准确率，但却可能忽视了中医理论的重要性。中医理论是中医辨证的基础，包含了丰富的哲学思想、医学知识和实践经验。在智能辨证模型的开发过程中，如果过分依赖数据驱动而忽视理论驱动，将会导致模型失去中医辨证的特色思维和逻辑。

同时，模型简化与中医复杂性的矛盾也是关键因素之一。当前的智能辨证模型往往为了简化计算和提高预测准确率，对中医的辨证过程进行过度简化。这种简化可能导致模型无法全面、准确地反映中医的辨证思维和逻辑。例如，一些模型可能只关注患者的某些症状或体征，而忽视了其他症状或体征之间的联系和影响。这种简化与中医的复杂性相矛盾，导致智能辨证模型在一定程度上失去了中医辨证的特色。

（六）缺乏多学科背景的专业人才以及创新思维

智能辨证模型的开发需要融合多个领域的知识，包括中医学、计算机科学、统计学等。然而，目前从事智能辨证模型研究的人员往往只具备单一学科背景，缺乏跨学科的知识 and 技能。这导致在模型设计、开发和应用过程中，难以充分理解和运用中医的辨证思维和逻辑，容易出现对中医理论的误解或忽视。

此外，在智能辨证模型的研究与应用中，需要不断创新思维和方法，以推动模型性能的提升和应用范围的扩大。然而，目前研究往往局限于传统的机器学习和深度学习框架内，缺乏创新思维和方法。这导致智能辨证模型在发展过程中难以取得突破性进展，也限制了其在中医临床实践中的应用和推广。

五、人工智能辅助中医辨证的发展建议

(一) 加强数据整合与质量把控

建立严格的数据治理机制，包括数据清洗、验证和标准化等步骤，以确保输入到模型中的数据是准确、可靠和一致的。此外，除了整合现有数据资源，还应积极寻求与经验丰富的老中医合作，共享他们的诊断案例和经验，这不仅能增加数据的多样性和丰富性，还能为模型提供宝贵的中医理论支持。

(二) 深度融合人工智能技术与中医辨证思维，加强模型可解释性

探索将人工智能技术与中医的辨证思维深度融合。设定输入层为“症”的表征空间，输出层为“药”的预测域。模型通过模拟中医理论中“症-证素-证型-药”的正向联接机制，实现从复杂临床症状到精准治疗药物的智能映射。以证素之间的映射关系为例^[48]，在症与证素的映射关系中，模型引入权重向量以量化不同症状体征对证素判定的影响，并通过设定阈值条件来判定是否满足某一证素的标准。权重的大小不仅反映症状与证素之间的相关性强弱，同时揭示它们之间的正负相关性。当各症状加权之和满足或超越判定证素的阈值时，相应的证素得以确定，进而作为证型推断的输入参数，经过一系列复杂的计算过程，最终输出精准的治疗药物。例如，五心烦热与阴虚有强正相关，则权重较大且为正；舌润与阴虚有强负相关，则权重较大且为负^[49]。模型的阈值也会根据不同的症状输入进行自适应动态变化，从而更准确地反映中医辨证的复杂性和个体差异。此外，模型还应具备反馈回路机制，能够依据患者的实际疗效对正向联接过程中的权重和阈值进行精细化调整，进而优化模型的性能，提升处方预测的准确度，为中医临床决策提供科学、客观的依据。

(三) 发展中医药细分领域的大语言模型

为更好地使用、推进和发展中医药大模型，首先，需要在国家中医药权威管理机构的支持下，由专门科研机构建立中医药基础大模型。然后，针对中医症状检测、中医证候辨识、中药处方生成等细分领域，构建中医药细分领域大模型。将中医药细分领域大模型推广至全国中医药相关单位，在其私

域数据集上进行训练，并根据具体的业务进行扩展，实现中医药大模型落地应用。

(四) 加强智能中医人才队伍建设，鼓励多领域专家合作

建立专门的智能中医人才培养机制，包括培训、研究、实践等多个环节。这有助于培养既懂中医又懂技术的专业人才，为智能辨证模型的研究与应用提供有力支持。同时，鼓励中医、计算机科学、统计学、生物学工程等多个领域的专家共同合作，形成跨学科的研究团队，以结合各自的专业知识，共同推动智能辨证模型的发展。

(五) 完善国际标准和法律法规，加强国际合作与交流

积极参与和推动智能中医相关的国际标准和法律法规的制定。这有助于确保智能中医在全球范围内得到认可和推广，并为其在国际舞台上发挥更大作用提供有力支撑。同时，与国际同行进行深入的交流和合作，引进国外先进的技术和理念，同时促进中医文化的传播和交流，共同推动智能中医的发展和进步。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: February 26, 2024; **Revised date:** March 27, 2024

Corresponding author: Lu Ju is a research fellow from Key Laboratory of Medical Electronics and Digital Health of Zhejiang Province, and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research fields include Integrated electronic information systems, artificial intelligence and digital health. E-mail: lujun_cetc@163.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of Artificial Intelligence for Traditional Chinese Medicine” (2023-HY-10); Zhejiang Province “Kunpeng Action” Plan

参考文献

- [1] 中国人民政治协商会议全国委员会. 习近平对中医药工作作出重要指示强调 传承精华守正创新 为建设健康中国贡献力量 李克强作出批示 [EB/OL]. (2019-10-20)[2023-10-25]. <http://www.cppcc.gov.cn/zxww/2019/10/25/ARTI1571984502832414.shtml>. National Committee of the Chinese People’s Political Consultative Conference. Xi Jinping has made important instructions on the work of traditional Chinese medicine, emphasizing the need to inherit the essence, maintain the right path, and innovate, in order to contribute to the building of a Healthy China. Li Keqiang has

- given instructions in this regard [EB/OL].(2019-10-20)[2023-10-25]. <http://www.cppcc.gov.cn/zxww/2019/10/25/ART11571984502832414.shtml>.
- [2] 薛晓娟, 刘彩, 王益民, 等. 新时代中医药发展现状与思考 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(5): 11–20.
Xue X J, Liu C, Wang Y M, et al. Status quo and development strategy of traditional Chinese medicine in the new era [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(5): 11–20.
- [3] 国务院办公厅. “十四五”中医药发展规划 [EB/OL]. (2022-03-03) [2024-02-03]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5686029.htm.
General Office of the State Council of the People's Republic of China. The 14th Five Year Plan for the development of traditional Chinese medicine [EB/OL]. (2022-03-03)[2024-02-03]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5686029.htm.
- [4] 国家中医药管理局. “十四五”中医药信息化发展规划 [EB/OL]. (2022-11-25)[2023-11-25]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202212/06/content_5730292.htm.
State Administration of Traditional Chinese Medicine. The 14th Five Year Plan for the development of traditional Chinese medicine informatization [EB/OL]. (2022-11-25)[2023-11-25]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202212/06/content_5730292.htm.
- [5] 黄明, 杨丰文, 刘耀远, 等. 张伯礼院士谈“中医药发展这十年” [J]. 天津中医药大学学报, 2022, 41(4): 409–412.
Huang M, Yang F W, Liu Y Y, et al. Academician Zhang Boli talked about “‘ten year’ development of traditional Chinese medicine” [J]. Journal of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, 2022, 41(4): 409–412.
- [6] 董广通, 高琳. 论人工智能技术下名老中医诊疗经验传承发展 [J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(9): 4026–4029.
Dong G T, Gao L. Discussion on the inheritance and development of the diagnosis and treatment experience of famous traditional Chinese medicine experts under the artificial intelligence technology [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2023, 38(9): 4026–4029.
- [7] Wang Y L, Shi X M, Li L, et al. The impact of artificial intelligence on traditional Chinese medicine [J]. The American Journal of Chinese Medicine, 2021, 49(6): 1297–1314.
- [8] Zhang H, Ni W D, Li J, et al. Artificial intelligence-based traditional Chinese medicine assistive diagnostic system: Validation study [J]. JMIR Medical Informatics, 2020, 8(6): e17608.
- [9] 李如辉, 王静波, 张卓文, 等. 论中医学、中医文化与中国传统文化的关系 [J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(6): 1931–1933.
Li R H, Wang J B, Zhang Z W, et al. Relationship between TCM, TCM culture and traditional Chinese culture [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2015, 30(6): 1931–1933.
- [10] 孙广仁. 中医基础理论 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2002.
Sun G R. Basic theory of traditional Chinese medicine [M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2002.
- [11] 张华, 刘保延, 田从豁, 等. “人机结合、以人为本”的名老中医经验整理研究方法 [J]. 中医研究, 2007, 20(2): 4–7.
Zhang H, Liu B Y, Tian C H, et al. The arrangement methods of experience of famous and older TCM physicians [J]. Traditional Chinese Medicinal Research, 2007, 20(2): 4–7.
- [12] 郭振球. 中医辨证学研究的前景 [J]. 大自然探索, 1985 (3): 85–89.
Guo Z Q. The prospects of study on Zheng (syndromes) differentiation science of traditional Chinese medicine [J]. Discovery of Nature, 1985 (3): 85–89.
- [13] 郭振球. 论中医诊断学的发展 [J]. 安徽中医学院学报, 1988, 7(3): 2–5.
Guo Z Q. On the development of TCM diagnostics [J]. Journal of Anhui Traditional Chinese Medical College, 1988, 7(3): 2–5.
- [14] 王忆勤. 中医诊断学 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2004.
Wang Y Q. Diagnosis of traditional Chinese medicine [M]. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2004.
- [15] 王志华, 肖莉, 刘青萍, 等. 中医症状规范化、标准化研究进程及问题探讨 [J]. 湖南中医药大学学报, 2023, 9(12): 2294–2299.
Wen Z H, Xiao L, Liu Q P, et al. Research progress and discussion of the TCM symptoms normalization and standardization [J]. Journal of Hunan University of Chinese Medicine, 2023, 9(12): 2294–2299.
- [16] 杨小丽, 龚致平, 浦科学, 等. 人工智能赋能中医临床诊疗的现状、问题和对策 [J]. 重庆医学, 2024, 53(4): 613–616.
Yang X L, Gong Z P, Pu K X, et al. The current situation, problems, and strategies of empowering traditional Chinese medicine clinical diagnosis and treatment with artificial intelligent [J]. Chongqing Medicine Journal, 2024, 53(4): 613–616.
- [17] 张世祺, 孙宇衡, 咸楠星, 等. 中医四诊客观化与智能化研究进展 [J]. 中医药导报, 2023, 29(6): 170–174.
Zhang S Q, Sun Y H, Xian N X, et al. Research progress on objectification and intellectualization of four diagnostic methods in traditional Chinese medicine [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2023, 29(6): 170–174.
- [18] Guo Y, Ren X, Chen Y X, et al. Artificial intelligence meets Chinese medicine [J]. Chinese Journal of Integrative Medicine, 2019, 25(9): 648–653.
- [19] 温浩, 吕茂斌, 张伟, 等. 基于多模态数据融合的2型糖尿病阴虚证智能诊断方法 [J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(11): 5436–5440.
Wen H, Lyu M B, Zhang W, et al. Intelligent diagnosis method of yin deficiency syndrome of type 2 diabetes mellitus based on multimodal data fusion [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2023, 38(11): 5436–5440.
- [20] 蔡宇锋. 基于深度学习的皮肤癌辅助诊断系统设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学(硕士学位论文), 2023.
Cai Y F. Design and implementation of skin cancer auxiliary diagnosis system based on deep learning [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications (Master's thesis), 2023.
- [21] 魏仕青. 基于脑电与眼动数据融合的轻度抑郁识别应用研究 [D]. 兰州: 兰州大学(硕士学位论文), 2023.
Wei S Q. Application study of mild depression recognition based on EEG and eye movement data fusion [D]. Lanzhou: Lanzhou University (Master's thesis), 2023.
- [22] 张荣春. 多囊卵巢综合征基本证型症状关系分析及关联证候量表构建基础研究 [D]. 济南: 山东中医药大学(硕士学位论文), 2023.
Zhang R C. Analysis of the symptoms relationship of PCOS basic syndrome types and basic study on the construction of associated syndrome scale [D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine (Master's thesis), 2023.
- [23] 周惠敏. 基于症状关联规律挖掘的2型糖尿病中医辅助智能问诊模型研究 [D]. 福州: 福建中医药大学(硕士学位论文), 2024.

- Zhou H M. Research on TCM auxiliary intelligent inquiry model for T2DM based on symptom association law mining [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine (Master's thesis), 2024.
- [24] 李颖, 王月, 郝建军, 等. 基于互信息的中医症状推荐系统 [J]. 自动化与信息工程, 2023, 44(5): 52–57.
Li Y, Wang Y, Hao J J, et al. Chinese medicine symptoms recommendation system based on mutual information [J]. Automation & Information Engineering, 2023, 44(5): 52–57.
- [25] 曹静. 基于复杂网络的推荐算法在中医辅助问诊中的应用研究 [D]. 镇江: 江苏大学(硕士学位论文), 2018.
Cao J. Application research on recommendation algorithm based on complex network for traditional Chinese medicine assisted inquiry [D]. Zhenjiang: Jiangsu University (Master's thesis), 2018.
- [26] 朱文锋. 证素辨证学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 89.
Zhu W F. Study of TCM syndrome differentiation [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2008: 89.
- [27] 余江维, 余泉, 张太珍, 等. 基于 TF-IDF 相对熵的中医证候量化研究 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2015, 1(10): 1986–1991.
Yu J W, Yu Q, Zhang T Z, et al. Quantitative research on traditional Chinese medicine syndrome based on TF-IDF relative entropy [J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology, 2015, 1(10): 1986–1991.
- [28] 章新友, 徐华康, 周小玲, 等. 改进深度极限学习机在肺癌中医证型分类中的应用研究 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2023, 25(6): 2132–2139.
Zhang X Y, Xu H K, Zhou X L, et al. Application of improved deep extreme learning machine in the classification of traditional Chinese medicine syndromes of lung cancer [J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology, 2023, 25(6): 2132–2139.
- [29] 熊江辉, 梁峰吉, 常素华. 基于 DNA 甲基化的中医概念与证候量化方法及其在抑郁症和癌症筛查中的应用 [J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2023, 9(S1): 37–38.
Xiong J H, Liang F J, Chang S H. The concept and syndrome quantification method of traditional Chinese medicine based on DNA methylation and its application in depression and cancer screening [J]. Chinese Journal of Pharmacology and Toxicology, 2023, 9(S1): 37–38.
- [30] 陈南杰. 基于机器学习的冠心病痰瘀互结证诊断模型构建及其舌象客观量化指标研究 [D]. 北京: 中国中医科学院(硕士学位论文), 2023.
Chen N J. Construction of a diagnosis model of coronary heart disease with phlegm and blood stasis syndrome based on machine learning and study on objective quantitative indicators of tongue image [D]. Beijing: China Academy of Chinese Medical Sciences (Master's thesis), 2023.
- [31] 卢恩仕, 韩明光, 刘峰, 等. 基于贝叶斯网络分析重症肺炎中医证候规律 [J]. 中医学报, 2022, 37(1): 173–179.
Lu E S, Han M G, Liu F, et al. Analysis of Chinese medicine syndrome rules of severe pneumonia based on Bayesian network [J]. Acta Chinese Medicine, 2022, 37(1): 173–179.
- [32] 贺鹏飞, 刘聪, 李红典, 等. 运用机器学习构建慢性肾炎中医辨证智能模型及内部验证 [J/OL]. 辽宁中医药大学学报: 1–11[2024-03-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1543.R.20240124.1503.010.html>.
- He P F, Liu C, Li H D, et al. Construction and internal validation of an intelligent model for the identification of Chinese medicine in chronic glomerulonephritis using machine Learning [J/OL]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine: 1–11 [2024-03-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1543.R.20240124.1503.010.html>.
- [33] 宫文浩, 兰天莹, 杨燕, 等. 基于随机森林和偏相关分析的小儿肺炎痰热闭肺证中医证候诊断模型研究 [J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(9): 4497–4501.
Gong W H, Lan T Y, Yang Y, et al. Research on traditional Chinese medicine syndrome diagnosis model of pediatric pneumonia with accumulation of phlegm-heat syndrome based on random forest and partial correlation analysis [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2023, 38(9): 4497–4501.
- [34] 王麒达. 基于多任务网络的中医望诊心脑血管疾病智能化方法研究 [D]. 太原: 太原理工大学(硕士学位论文), 2022.
Wang Q D. Research on intelligent method of TCM diagnosis of cardiovascular and cerebrovascular diseases based on multi-task network [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology (Master's thesis), 2022.
- [35] 李洪峥, 王阶, 郭雨晨, 等. 基于改良 Transformer 算法的冠心病证候要素诊断处方模型分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 9(1): 148–154.
Li H Z, Wang J, Guo Y C, et al. Research on diagnosis and prescription system of coronary heart disease with syndrome elements based on improved transformer algorithm [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2023, 9(1): 148–154.
- [36] 刘勇. 基于深度学习的多标签分类在中医哮喘辅助诊断的应用研究 [D]. 南昌: 江西中医药大学(硕士学位论文), 2023.
Liu Y. Research on the application of multi-label classification based on deep learning in the auxiliary diagnosis of asthma in TCM [D]. Nanchang: Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine (Master's thesis), 2023.
- [37] Yuan H Y, Yu S. Efficient symptom inquiring and diagnosis via adaptive alignment of reinforcement learning and classification [J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2024, 148: 102748.
- [38] 陈诗琪. 基于多标签学习的中医辨证分析研究 [D]. 南京: 南京邮电大学(硕士学位论文), 2023.
Chen S Q. Study on TCM syndrome differentiation based on multi-label learning [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications (Master's thesis), 2023.
- [39] 刘茂. 基于知识图谱的中医问诊系统 [D]. 重庆: 西南大学(硕士学位论文), 2023.
Liu M. Traditional Chinese medicine consultation system based on knowledge graph [D]. Chongqing: Southwest University (Master's thesis), 2023.
- [40] 张鹤译, 王鑫, 韩立帆, 等. 大语言模型融合知识图谱的问答系统研究 [J]. 计算机科学与探索, 2023, 17(10): 2377–2388.
Zhang H Y, Wang X, Han L F, et al. Research on question answering system on joint of knowledge graph and large language models [J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology,

- 2023, 17(10): 2377–2388.
- [41] Xu T Y, Guo C, Du L X, et al. A method for traditional Chinese medicine knowledge graph dynamic construction [R]. Qingdao: The 5th International Conference on Big Data Technologies, 2022.
- [42] Ye Q, Yang R, Cheng C L, et al. Combining the external medical knowledge graph embedding to improve the performance of syndrome differentiation model [J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, 2023, 2023: 2088698.
- [43] Zhang Q C, Bai C C, Chen Z K, et al. Deep learning models for diagnosing spleen and stomach diseases in smart Chinese medicine with cloud computing [J]. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2021, 33(7): 1.
- [44] Zhang Y J, Bai R J, Han J, et al. Research on TCM diabetes assisted diagnosis and treatment plan integrating association mining and quantitative calculation [J]. *Procedia Computer Science*, 2021, 188: 52–60.
- [45] 王瑞, 潘志强, 陈杰, 等. 面向智能诊断探讨中医证素知识框架体系的构建 [J]. *中医杂志*, 2024, 65(4): 341–346.
- Wang R, Pan Z Q, Chen J, et al. Establishment of TCM syndrome elements knowledge framework system for intelligent diagnosis [J]. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2024, 65(4): 341–346.
- [46] 张婷婷, 王亚强, 蒋艺宁, 等. 构建中医辨证解释体系的挑战与思路 [J]. *中医杂志*, 2024, 65(5): 445–448, 454.
- Zhang T T, Wang Y Q, Jiang Y N, et al. Challenges and ideas in constructing an interpretative system for syndrome differentiation in traditional Chinese medicine [J]. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2024, 65(5): 445–448, 454.
- [47] 文志华, 夏帅帅, 刘东波, 等. 中医智能辨证诊断技术的演进与问题探讨 [J]. *世界科学技术—中医药现代化*, 2021, 23(11): 4298–4304.
- Wen Z H, Xia S S, Liu D B, et al. Discussion on the evolution and problems of intelligent syndrome differentiation diagnosis technology in traditional Chinese medicine [J]. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology*, 2021, 23(11): 4298–4304.
- [48] 朱文锋. 制定全病域中医辨证量表的设计思路 [J]. *辽宁中医杂志*, 2005, 32(6): 521–522.
- Zhu W F. Design idea of making TCM syndrome differentiation scale for the whole disease area [J]. *Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2005, 32(6): 521–522.
- [49] 孙肇阳, 吕桂娇, 郭义, 等. 中医诊疗复杂巨系统的人工神经网络建模原理 [J]. *中华中医药杂志*, 2022, 37(10): 5841–5844.
- Sun Z Y, Lyu G J, Guo Y, et al. Modeling principle of artificial neural network for complex giant system of traditional Chinese medicine diagnosis and treatment [J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2022, 37(10): 5841–5844.