

综 述

DOI:10.13406/j.cnki.cyx.004000

中医药智能化应用场景与关键技术

杨永强¹, 张 力²

(1.重庆医科大学基础医学院病理生理学教研室, 重庆 400016; 2.重庆市中医院中医药基础研究室, 重庆 400011)

【摘 要】中医药是我国的传统医学,在现代化进程中面临着许多问题,如中医诊断依靠主观经验,中药药理复杂、机制不清,中医药传承方式单一、效率低下等,而人工智能为中医药创新与发展提供了新的思路。近年来,中医药智能化研究迅速增多,涉及的人工智能技术也更为复杂。本文通过阐述人工智能在中医诊断、中医治疗、中药药理分析、中医药传承、中医健康管理等方面的应用,并进一步阐述了在应用场景中涉及的数字化、大数据、机器学习、深度学习、知识工程和语义网络等智能技术,这将有助于促进中医药专业人才更准确把握中医药智能化应用场景,深入理解中医药智能化涉及的关键技术,可为未来交叉领域的研究工作提供理论支撑。

【关键词】中医药;人工智能;应用场景;关键技术

【中图分类号】R2-03

【文献标志码】A

Application scenarios and key technologies in the intelligentization of traditional Chinese medicine

Yang Yongqiang¹, Zhang Li²

(1.Department of Pathophysiology, College of Basic Medicine, Chongqing Medical University;

2.Basic Research Laboratory of Traditional Chinese Medicine, Chongqing Traditional Chinese Medicine Hospital)

【Abstract】Traditional Chinese medicine (TCM) is the traditional medicine of our country, and there are still many problems in the process of modernization. For instance, TCM diagnosis mainly relies on subjective experience, and the pharmacology of Chinese medicine remains complex and unclear, along with the inefficient and monolithic approaches for the inheritance of TCM. Artificial intelligence (AI) provides new ideas for the innovation and development of TCM. In recent years, there has been a rapid increase in the research on the intelligentization of TCM, and the AI technologies involved have become more complex. This article elaborates on the application of AI in TCM diagnosis, TCM treatment, the pharmacological analysis of Chinese medicine, the inheritance of TCM, and TCM health management, and it further analyzes the intelligent technologies involved in application scenarios, such as digitalization, big data, machine learning, deep learning, knowledge engineering, and semantic networks. These analyses may help TCM professionals to accurately grasp the application scenarios of TCM intelligentization and deeply understand the key technologies involved in TCM intelligentization, thereby providing theoretical support for future research work.

【Key words】traditional Chinese medicine; artificial intelligence; application scenario; key technology

中医药是我国的传统医学,经历了数千年的实践与验证,积累了丰富的临床经验。然而,在实践与传承中也面临

着许多问题,如中医四诊主要依靠主观经验,中药药理复杂、机制不清,中医药传承方式单一、效率低下,这些问题严重影响了中医药的现代化和国际化进程^[1-4]。随着智能时代的到来,人工智能为社会各领域带来了深刻的变革,国家也对中医药智能化建设进行重要部署,2019年之后,先后发布了《关于促进中医药传承创新发展的意见》《“十四五”中医药发展规划》《关于促进数字中医药发展的若干意见》等一系列文件,均强调要通过人工智能赋能中医药的发展与创新。从上世纪末至今,中医药智能化经历了数十年的发展,从早期专

作者简介:杨永强,Email:fyqq1984@cqmu.edu.cn,

研究方向:炎症损伤发生机制及中医药防治。

通信作者:张 力,Email:zhangli@cqmu.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:81871606);重庆市研究生教育教学改革研究资助项目(编号:yjg250215)。

优先出版:https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20251126.1406.002

(2025-11-27)

家系统的构建,到目前中医诊断、治疗、传承、健康管理等多方面的智能化,研究内容更加多元,涉及的人工智能技术更为复杂。本文将重点从中医药智能化应用场景与关键技术两个方面进行阐述。

1 中医药智能化应用场景

1.1 中医诊断智能化

望、闻、问、切是中医诊断的基本方法,这些方法主要是依靠医生的主观感知,缺乏客观化、标准化^[1]。随着人工智能的发展,智能化舌诊逐渐成为现实,通过舌象仪收集舌象信息,基于机器学习、深度学习算法对大量舌象数据(如舌质、舌苔特征)进行分析、整理,提取舌象特征参数,建立舌诊模型,进而使模糊不清的舌象诊断标准化、客观化^[5]。Zhu XL等^[6]通过舌象采集仪采集703张舌象,建立了胃癌和非胃癌舌象数据集,提取了9个舌象特征,利用深度学习探索了舌象特征与胃癌的关系,最终设计胃癌预测模型,准确率达到93.6%,该模型有助于胃癌患者的早期诊断。Lu XZ等^[7]收集了741例患者的舌部图像,包含肝纤维化和非肝纤维化患者,使用卷积神经网络训练肝纤维化评估模型,结果显示该模型准确率达81.4%,这种人工智能辅助的舌诊模型可作为肝纤维化筛查的有效方法。Liu YY等^[8]采集了1374例受试者的舌象及相应的中医体质数据,从中提取出11个传统舌体图像特征和26个深层舌体图像特征,通过机器学习算法成功构建了智能中医体质识别模型,模型的准确率为83.7%,具有良好的泛化能力,有助于中医体质的精准识别。但现有舌象仪型号多样,采取的算法、图像处理方式有所差别,导致智能舌诊缺乏统一的标准^[5]。

人工智能也可以和脉诊结合,通过智能设备将脉象特征生成图像信息,并对脉象进行智能分析^[9]。Tang ACY等^[10]通过人工神经网络构建了电子中医脉象诊断系统,可实现脉搏信号的采集、提取与分析,实现了脉诊的客观化、智能化。Zhang ZC等^[11]采集了20例健康人和16例肺癌患者的脉搏数据,提取了26个特征,通过支持向量机算法对二者脉搏特征进行分类,结果显示准确率为78.13%,该方法将有助于肺癌的预警。Ouyang C等^[12]收集了127例健康人和85例2型糖尿病患者的脉搏数据,通过四层多任务融合卷积神经网络进行特征识别,其准确率达90.6%,可成为筛查2型糖尿病的有效方法。Wang J等^[13]提出了1种双模态穿戴式脉搏检测系统,该系统结合了深度学习模型,可有效监测睡眠呼吸暂停综合征,其中高精度模式准确率可达99.59%,低功耗模式准确率可达94.95%,该系统为睡眠呼吸暂停综合征的监测和早期检出提供了方法。脉诊系统也面临信号采集方式和算法的不同,统一的标准有待加强。有学者也提出,可以将舌

诊、脉诊等方法联合使用,从而进一步提高诊断的效果^[14]。

人工智能还可以通过病案信息挖掘辅助中医诊断,孙资金等^[15]通过收集中风的中医病案5种证型各60例,建立了中风病案中医信息数据库,采用多种机器学习算法构建了中风中医辨证模型,结果显示支持向量机算法模型的准确率可达95%,具有较好的诊断、预测能力,认为机器学习在构建中医辨证模型中具有较好的可行性。柏灿和王洁^[16]还发现人工智能大语言模型通过对中医古籍、医案记录等进行学习,能有效辅助中医诊断过程,减少误诊率,提升诊断速度。

1.2 中医治疗智能化

中医治疗的智能化也是目前研究的重要内容,刘震等^[17]根据数字经络理论研发了智能针灸机器人,实现了基于图论的针灸智能取穴功能。徐佳君等^[18]提出在状态辨识基础上构建智能组方模型,即通过对状态辨识结果进行分组结构化-形成单证-根据单证选用药群-合成处方,该模型可解决推荐成方难以满足个性化需求的问题。Zhou WA等^[19]提出了基于深度学习的智能配方推荐系统,其团队通过收集李继仁中医大师的电子病案2万余份,并提取诊断描述特征和中医方剂特征,基于深度神经网络建立了中药配方推荐模型,该系统有助于提升临床诊疗水平,促进了中医药治疗从经验为主向数据为主的转变。赵国桢等^[20]基于人工智能和真实世界数据构建了临床决策支持系统,通过建立症状群与药物群之间的网络关系,能够实现制定个性化的治疗方案。Xu YY等^[21]还通过机器学习算法建立了转移性结直肠癌中医动态治疗方案,在197例转移性结直肠癌患者中,接受该治疗方案的患者中位生存时间为35个月,而没有接受的患者中位生存时间为26个月,这将有助于转移性结直肠癌的中医治疗方案的优化。Lu WW等^[22]为了分析中医药治疗急性胰腺炎的规律,收集近20年来治疗急性胰腺炎的516个中药复方,采用随机森林方法构建预测模型,结果显示使用频次最高的药物为大黄、柴胡、枳实、芒硝,而大黄、延胡索疗效最好,这为中医治疗提供了依据。

1.3 中药药理分析智能化

中药在大量急慢性疾病中均表现出突出的治疗效果,在机制上也已经发现中药可以抑制炎症反应、调控物质代谢、干预细胞增殖等^[23-24]。但由于中药成分的复杂性,目前,中药仍面临着药理不清、方剂作用机制不明、缺乏中药研究的方法学体系等问题。随着人工智能、大数据等技术的发展,以生物网络为出发点,开展中药学与人工智能的交叉研究,成为了中药药理研究的重要方法^[2]。胡宗仁等^[25]提出了中药共性靶点组理论,该理论是对具有相同共性的多种中药,通过人工智能和生物信息学技术进行分析,探索药物之间功能和信号通路的共同特点,结合实验验证,进而探索中药的药理机制。李梢等^[26]以网络靶标理论为基础,开发了以智能计

算为核心,涵盖实验、临床等研究方法的中西医药分子网络导航系统,该系统为中药药理研究、中药精准研发提供了科学依据。进一步从病症结合的角度出发,基于网络靶标理论,构建了中药干预病症的中西表型—组织—细胞—分子—中西药物多层次生物网络,这为探究中药关键靶点、功效物质、中药成分协同作用机制提供了重要研究策略^[27]。

为了探究清热活血方治疗动脉粥样硬化的作用机制,Zhou GT 等^[28]通过网络药理学和机器学习方法筛选了方剂治疗动脉粥样硬化的潜在候选基因,通过分子对接分析了方剂关键活性化合物与预测基因的亲和力,然后通过实验验证,揭示了清热活血方治疗动脉粥样硬化的分子机制。为了预测中医复方中的有效成分,Pan BY 等^[29]建立了 1 个中药复方有效成分预测算法,通过该算法发现在当归四逆汤治疗胃癌中,阿魏酸在所有测试的成分中具有最高的拟合分数,经过实验验证,阿魏酸单独用药的药理作用与当归四逆汤相似。中药不良反应一直是关注的重点,Wei JX 等^[30]基于 72 561 份中药不良反应报告作为研究数据,基于深度神经网络构建风险预测模型,结果显示该模型准确率达 99.4%,可为中药安全用药提供技术支持。大语言模型也被应用于中药药理分析,柏灿和王洁^[16]发现通过对中医古籍、医案记录等进行学习的大语言模型,在药物研发方面,能够揭示多种潜在药物组合及其作用机制。

1.4 中医健康管理智能化

《“健康中国 2030”规划纲要》强调要将中医药优势与健康管理结合,探索中医健康保障模式。中医健康管理是以中医理念为指导,以维护人体身心健康为目标的健康管理服务,涵盖健康状态评估、个性化反馈与干预^[31]。但目前存在健康评估标准不统一、管理服务不规范、健康管理重治疗轻预防等问题^[32]。随着人工智能技术的发展,中医健康管理更加科学化、规范化。周常恩等^[33]以中医状态理论为中心所研制的中医健康状态辨识系统,实现了中医四诊客观化、采集定量化、辨识智能化,具有线上咨询和线下诊疗双重医疗模式,可提供实时、动态、个性化的中医健康管理服务。梁文娜等^[34]以真实世界大数据为基础,通过人工智能技术对四诊信息进行采集、储存、分类与融合,从而建立中医健康管理智能化系统,实现健康状态的智能诊断。

1.5 中医药传承智能化

目前,中医药在传承上存在高水平人才缺乏、传承方式单一、传承效率低、传承效果不明确等困境^[3]。人工智能、大数据技术的发展,为中医药传承提供了新的途径。倪敬年等^[35]认为名老中医数字化传承在可及性、准确性、有效性等方面有一定优势,可辅助名老中医经验的数字化保存、分析和发掘,是跟师传承的重要补充。具体来说,数字化传承可以从 4 个方面开展,即中医药知识数据库构建、名老中医经

验病案资料库构建、数据规律挖掘,以及通过机器学习的临床决策等。林雨琪等^[36]基于名老中医陈永灿诊疗慢性萎缩性胃炎的临床资料和诊疗方案,构建了中医证候信息数据库,然后通过置信规则库和证据推理融合算法建立辅助诊断模型,结果显示这种辅助诊断模型有助于慢性萎缩性胃炎的临床诊疗,同时也促进了经验的传承。雷黄伟等^[37]提出做好数据驱动下的智能化传承,人机结合、以人为先是根本路径,名老中医诊疗数据结构化是前提条件,辨证算法模型是核心关键,数据挖掘是延伸发展。另外,人工智能在古籍经典的保护和数据挖掘中也发挥重要作用,如对病因病机、理法方药、处方归类等进行结构化整理,并构建数据库,这些就形成了中医传承的知识载体^[38]。

2 中医药智能化中的关键技术

2.1 数字化

数字化是指将文本、图像、声音和视频等各种形式的信息转变成计算机可以处理、储存、传输的数字信号^[39]。数字化既是 1 项重要技术,也是中医药智能化的阶段性目标。通过数字化技术强化了中医古籍、传统知识的保护和整理^[40],构建了中医学知识库、中药数据库、方剂数据库,以及名老中医病案资料库等,这为中医药的传承和发展提供了有效的手段^[35]。在中医诊疗方面,智能舌象仪通过微距相机采集舌象特征,然后转化为计算机可以识别的数字资源,通过算法分析,从而辅助医生进行诊断^[39]。另外,数字化也为中医临床研究、中医药学研究提供了新的途径^[41-42]。作为中医药智能化的“基础建设”,中医药数字化将建成一系列数字化的古籍经典、中药方剂、名老中医病案等,这将为中医药智能化提供丰富的数字资源,为人工智能技术的训练提供数据和场景,从而最终实现中医药智能化建设^[40]。

2.2 大数据

大数据是指从大规模、多样化的数据中通过高速捕获、发现和分析技术提取数据的价值^[43]。大数据是数据处理的一种方法,而中医药大数据建设也是中医药智能化的阶段性任务。在海量中医临床大数据中,通过大数据技术对个性化、碎片化的临床经验进行分析,可从海量中医数据中发现复杂的系统性客观规律,为中医药诊疗的科学性和规范化提供依据。胡金亮等^[44]将 3 000 份格式化病例导入临床医疗科研信息共享系统,构建了慢性阻塞性肺疾病急性加重期数据库,通过数据挖掘,发现了基于复杂网络的中医证候分布特点。大数据在挖掘古籍经典、名老中医经验中也有重要作用,蔡永敏等^[45]将名老中医治疗肺系疾病的临床医案转化为数据,建立了肺系疾病数据库,进而挖掘了各肺系疾病的诊疗规律,这也促进了名老中医、古籍经典的经验传承。中医

药大数据建设也是中医药智能化的基础,通过大数据建设,形成各种中医药大数据资源,如临床病案资源库、实验数据资源库等,人工智能则通过各种算法对中医药大数据进行分析,训练出具有各种功能的智能模型,从而实现中医药各领域的智能化建设。

2.3 机器学习

机器学习是人工智能的 1 项核心技术,专注开发算法,主要是让计算机学习数据中的规律,从而根据这些规律,在面对新的数据时,能够作出准确的预测或决策。通过机器学习对数据进行分析,可发掘数据的潜在规律,形成可用于新数据的预测模型^[9]。机器学习主要分为监督学习、无监督学习、半监督学习和强化学习^[46]。在中医药研究中,应用比较多的是监督学习、无监督学习。

监督学习是通过已标记数据来训练模型,使模型能够对新的输入数据作出准确的预测,主要包括贝叶斯网络、支持向量机、随机森林、决策树、K 近邻算法等,主要适用于疾病辨证和风险预测等^[47]。孙资金等^[15]通过建立中风病案中医信息数据库,并经支持向量机、随机森林、K 近邻算法等对数据进行建模,结果发现基于支持向量机算法建立的中风中医辨证模型具有较好的诊断预测能力。

无监督学习面对的是不需要标注的数据,模型可以自行发现数据中的隐藏结构和模式,主要包括聚类算法、主成分分析和关联规则等,适合发现古籍经典中的潜在知识^[47]。王伟斌等^[48]对《医案聚类》中治疗郁症的大量处方进行聚类分析、关联分析,发现了古代治疗郁症的核心治法和常用药物组合。

深度学习是机器学习的一个分支,其是一种模仿人脑结构和功能的算法,基于人工神经网络构建模型,可从大量数据中学习并进行预测,主要神经网络模型包括卷积神经网络、循环神经网络、生成对抗网络等^[49]。和传统机器学习相比,深度学习在非结构化、数据量大的数据中表现更为优秀,可以处理百万级的、多源的、异构的数据,以实现复杂任务的处理和预测,擅长图像识别、语音识别、自然语言处理、生命科学等领域^[50]。在中医药领域,深度学习可以用于辅助诊断,刘梦等^[51]发现在中医舌象局部特征辨识中,深度学习可以较好地完成辨识任务。深度学习还可以用于中药材饮片图像的识别^[52-53],以及中药毒性、寒热属性的预测^[54-55]。

2.4 知识工程

知识工程是人工智能的一个分支,以知识为研究对象,通过对知识进行获取、管理、应用,从而开发能够模拟人类专家进行决策、推理的智能系统。知识工程主要涉及知识获取、知识表示、知识运用等环节^[56]。在中医药领域,知识获取主要是来源于名老中医的知识、经验,以及古籍经典,通过知识获取,构建知识库,这一环节构成了知识工程的基础。知

识表示是通过某些方式将获取到的知识表达为计算机可以理解的形式,其是知识运用的前提,决定了知识处理的效率。常见知识表示方式有状态空间、谓词逻辑、语义网络等。知识运用是基于知识库模拟人类专家进行决策、推理^[56]。

知识工程最初的目标是建立专家系统,主要是通过收集专家的知识,储存在计算机中,然后模拟人类的思维解决专业问题。中医关幼波诊疗肝病计算机系统是首个中医专家系统,在临床上取得良好的效果,随后大量的专家系统被开发^[57]。随着大数据时代的到来,知识工程又迎来了新的发展,从既往以专家知识为研究对象,扩展到以大数据知识为研究对象,开启了中医临床大数据知识工程,通过海量的中医临床数据发现新的知识,揭示临床诊疗中的规律,为中医临床研究提供了新的途径^[58-59]。另外,通过知识工程建设,中医药领域中大量知识遗产被广泛采集并永久保存,为中医药的传承和创新提供了有力的支持^[56]。

2.5 语义网络

语义网络是知识工程的一个部分,是知识表示的一种方式,主要通过网络的形式表达知识以及知识之间的相互联系,其中节点代表概念,边代表概念之间的语义关系。语义网络具有灵活、丰富、简单易读等特点,能够清晰地展示知识之间的层次和关系^[60]。这种知识表示方式也有利于计算机更好地理解人类语言信息,进而促进自然语言处理、文本挖掘、智能搜索、推荐系统等方面的发展^[61]。

中医药学内容博大精深,名家流派、经典古籍众多,中医药领域的知识点也是广泛联系,这导致中医药在知识查询、理解、传承等方面都较为困难。而语义网络为中医药领域中复杂知识的规范表达和系统保护提供了理想的方式,同时也可以解决“知识孤岛”的问题^[60]。贾李蓉等^[62]基于语义网络构建了中医药学语言系统,展示了中医药领域中概念及其概念之间的联系,对中医药的规范化提供了依据,对中医药的国际化也有重要作用。朱彦等^[63]以中药功效为核心,构建了中药功效语义网络,这为中药方剂,特别是古方、自拟方的功效识别提供了依据,也为中药方剂的理解、传承提供了基础。

3 挑战与机遇

人工智能为中医药创新发展提供了新的思路和工具,可促进中医诊断、中医治疗、中医健康管理的智能化与标准化,为中药、方剂药理分析提供了方法和策略,为中医药传承提供了新的工具和载体。要实现这些应用场景,需要运用数字化、大数据、机器学习、深度学习、知识工程、语义网络等智能技术。本文通过综述中医药智能化中的常见应用场景及关键技术,为未来的研究工作提供理论支持。

中医药智能化是未来的发展趋势,但目前仍存在一些问
题,①交叉人才缺口大:中医药智能化需要大量既精通中医
药理论,又熟练掌握人工智能技术的复合型人才,而这一交
叉领域的人才还比较缺乏,使中医药与智能技术难以进行深
层次融合,这也成为制约中医药智能化发展的关键因素^[64]。
②临床数据欠统一:临床数据是中医药智能化发展的基础,
但传统中医临床诊治受医师主观意识、经验积累、学术流派
的影响,缺乏统一的标准,这对智能模型的建立提出了挑战。
另外,非结构化的临床资料给数据提取造成困难,这也成为
了中医药智能化的重要障碍^[65]。③伦理问题有隐患:中医药
智能化过程,涉及大量临床数据的采集、储存、利用、共享等
环节,而这些过程往往会出现对患者隐私的侵权行为。另
外,中医药智能化有可能引起医生对智能工具的过度依赖,
从而导致医生自身技术能力的退化、缺失^[66]。

针对当前存在的问题,作者认为可重点从以下方面开展
工作,①强化交叉人才培养:医学院校应开设中医药与人工
智能交叉的专业或课程,既要涵盖中医药理论,也要包含人
工智能技术,培养中医药与人工智能交叉人才。对于中医药
工作人员,开展人工智能基础培训,提升其与技术团队协作
的能力。②促进临床数据标准化:规范临床诊治数据的描述
维度、量化标准、数据格式,实现临床信息的标准化。开发结
构化电子病历,实现资料采集的标准化。基于大语言模型探
索临床病案数据抽取方法,自动识别和提取关键信息,并将
其转化为结构化数据。③完善伦理防范机制:分析中医药智
能化过程中存在的伦理隐患,从制度设计、技术保障等方面
探索应对策略。强化人工智能的应用,探索利用人工智能技
术防范伦理问题的新方法。明确人工智能辅助中医诊疗的
边界,防范技术依赖风险。

人工智能的发展也为中医药智能化带来一些机遇,近年
来,以 ChatGPT、DeepSeek 为代表的大语言模型已经进入到了
社会生产生活各领域,也受到了中医药领域广泛的关注^[16,67-69],
在 2025 年初,出现了多个中医药大模型,虽然相关的
研究性报道还比较少,但已经表现出较大的应用潜力,
其有望成为中医药领域研究的新技术,开启中医药智能化的
篇章。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 杨永强:数据收集、数据分析、论文撰写;张力:研究
方案设计、论文修改

参 考 文 献

- [1] 林宏远,蒋寅,张心怡,等. 中医临床辅助诊疗平台的研究现状及应用前景分析[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(6): 2711-2714.
Lin HY, Jiang Y, Zhang XY, et al. Research status and application prospect analysis of traditional Chinese medicine clinical auxiliary diagnosis and treatment platform[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2024, 39(6): 2711-2714.
- [2] 谌攀,吴博文,张鹏,等. 基于生物网络的中医药学原理探索[J]. 科学通报, 2024, 69(1): 17-29.
Chen P, Wu BW, Zhang P, et al. Biological network-based exploration of the principles of traditional Chinese medicine[J]. Chin Sci Bull, 2024, 69(1): 17-29.
- [3] 阮景,罗文华. 用人工智能技术促进宁波中医药传承创新发展[J]. 宁波经济, 2023(2): 31-34.
Ruan J, Luo WH. Promoting the inheritance, innovation, and development of traditional Chinese medicine in ningbo with artificial intelligence technology[J]. Ningbo Econ, 2023(2): 31-34.
- [4] He XB, Sun MN, Battulga T, et al. Application of artificial intelligence in the development of traditional Chinese medicine[J]. Basic Clin Pharmacol Toxicol, 2025, 137(1): e70066.
- [5] 肖欣昂,王庆盛,夏雨墨,等. 基于舌诊客观化技术的冠心病患者舌象特征研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(4): 1685-1689.
Xiao XA, Wang QS, Xia YM, et al. Research progress of tongue features in patients with coronary heart disease based on objective tongue diagnosis[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2023, 38(4): 1685-1689.
- [6] Zhu XL, Ma YH, Guo D, et al. A framework to predict gastric cancer based on tongue features and deep learning[J]. Micromachines, 2023, 14(1): 53, 36-43.
- [7] Lu XZ, Hu HT, Li W, et al. Exploring hepatic fibrosis screening via deep learning analysis of tongue images[J]. J Tradit Complement Med, 2024, 14(5): 544-549.
- [8] Liu YY, Fan LM, Zhao M, et al. Study on a traditional Chinese medicine constitution recognition model using tongue image characteristics and deep learning: a prospective dual-center investigation[J]. Chin Med, 2025, 20(1): 84.
- [9] 杨柳,周诗婕,高文仓. 人工智能在中医药领域的应用进展[J]. 基层中医药, 2024, 3(6): 113-119.
Yang L, Zhou SJ, Gao WC. Application progress of artificial intelligence in traditional Chinese medicine[J]. Basic Tradit Chin Med, 2024, 3(6): 113-119.
- [10] Tang ACY, Chung JWY, Wong TKS. Digitalizing traditional Chinese medicine pulse diagnosis with artificial neural network[J]. Telemed J E Health, 2012, 18(6): 446-453.
- [11] Zhang ZC, Zhang Y, Yao LN, et al. A sensor-based wrist pulse signal processing and lung cancer recognition[J]. J Biomed Inform, 2018, 79: 107-116.
- [12] Ouyang C, Gan ZX, Zhen JJ, et al. Inter-patient classification with encoded peripheral pulse series and multi-task fusion CNN: application in type 2 diabetes[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2021, 25(8): 3130-3140.
- [13] Wang J, Xue JT, Zou Y, et al. A dual-modal wearable pulse detection system integrated with deep learning for high-accuracy and low-power sleep apnea monitoring[J]. Adv Sci, 2025, 12(24): e2501750.

- [14] Yang X, Lai SJ, Chang HF, et al. Artificial intelligence-based diagnosis of diabetes mellitus: combining fundus photography with traditional Chinese medicine diagnostic methodology[J]. Biomed Res Int, 2021, 2021:5556057.
- [15] 孙资金, 吉 静, 马重阳, 等. 基于机器学习的中风中医辨证模型的构建与应用[J]. 湖南中医药大学学报, 2023, 43(4):694-699.
- Sun ZJ, Ji J, Ma CY, et al. Construction and application of stroke TCM pattern differentiation model based on machine learning[J]. J Tradit Chin Med Univ Hunan, 2023, 43(4):694-699.
- [16] 柏 灿, 王 洁. 人工智能大语言模型在中医药领域的应用[J]. 西昌学院学报(自然科学版), 2024, 38(2):62-69.
- Bai C, Wang J. The application of the artificial intelligence large language model in the field of traditional Chinese medicine[J]. J Xichang Univ Nat Sci Ed, 2024, 38(2):62-69.
- [17] 刘 震, 赵 壮, 林 祺, 等. 基于图论的智能针灸机器人取穴原理研究[J]. 世界中医药, 2018, 13(8):1992-1996.
- Liu Z, Zhao Z, Lin Q, et al. Research on acupoint selection theory of intelligent acupuncture robot based on graph theory[J]. World Chin Med, 2018, 13(8):1992-1996.
- [18] 徐佳君, 赵 文, 雷黄伟, 等. 基于状态辨识的人工智能组方模型设计[J]. 中国中医基础医学杂志, 2021, 27(12):1906-1908.
- Xu JJ, Zhao W, Lei HW, et al. Design of artificial intelligence recipe model based on state identification[J]. J Basic Chin Med, 2021, 27(12):1906-1908.
- [19] Zhou WA, Yang K, Zeng JY, et al. FordNet: recommending traditional Chinese medicine formula *via* deep neural network integrating phenotype and molecule[J]. Pharmacol Res, 2021, 173:105752.
- [20] 赵国桢, 郭诗琪, 庞华鑫, 等. 人工智能技术在辅助中医诊疗及诊疗标准化中的应用[J]. 中医杂志, 2022, 63(24):2306-2310.
- Zhao GZ, Guo SQ, Pang HX, et al. Application of artificial intelligence in assisting diagnosis and treatment in traditional Chinese medicine and its standardization[J]. J Tradit Chin Med, 2022, 63(24):2306-2310.
- [21] Xu YY, Li QY, Yi DH, et al. Dynamic treatment strategy of Chinese medicine for metastatic colorectal cancer based on machine learning algorithm[J]. Chin J Integr Med, 2024, 30(11):993-1000.
- [22] Lu WW, Chen X, Ni JL, et al. Study on the medication rule of traditional Chinese medicine in the treatment of acute pancreatitis based on machine learning technology[J]. Ann Palliat Med, 2021, 10(10):10616-10625.
- [23] 党怡雄, 孙 鑫, 蒋静文. 中药在病原体诱导的代谢重编程及免疫抑制中的作用[J]. 四川大学学报(医学版), 2025, 56(1):10-18.
- Dang YX, Sun X, Jiang JW. Role of traditional Chinese medicine in pathogen-induced metabolic reprogramming and immune suppression[J]. J Sichuan Univ Med Sci, 2025, 56(1):10-18.
- [24] Wang L, Lian YJ, Dong JS, et al. Traditional Chinese medicine for chronic atrophic gastritis: efficacy, mechanisms and targets[J]. World J Gastroenterol, 2025, 31(9):102053.
- [25] 胡宗仁, 张媛婷, 骆 敏, 等. 中药共性靶点组: 实现系统中药现代化的路径[J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(4):1457-1460.
- Hu ZR, Zhang YT, Luo M, et al. Target group of commonalities of Chinese medicine: path of realizing systematic modernization of traditional Chinese medicine[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2023, 38(4):1457-1460.
- [26] 李 梢, 张 鹏, 王 鑫, 等. 网络靶标理论、关键技术与中医药应用[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2022, 24(9):3261-3269.
- Li S, Zhang P, Wang X, et al. Network target theory, key techniques and applications in traditional Chinese medicine[J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2022, 24(9):3261-3269.
- [27] 李 梢, 汪博洋, 曹 亮, 等. 基于网络靶标理论和技术的中药研发实践[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(22):5965-5976.
- Li S, Wang BY, Cao L, et al. Research and development practice of traditional Chinese medicine based on network target theory and technology[J]. China J Chin Mater Med, 2023, 48(22):5965-5976.
- [28] Zhou GT, Lin ZC, Miao Q, et al. Mechanisms of QingRe HuoXue formula in atherosclerosis treatment: an integrated approach using bioinformatics, machine learning, and experimental validation[J]. Int Immunopharmacol, 2024, 141:112890.
- [29] Pan BY, Zhu H, Yang JQ, et al. From complexity to clarity: development of CHM-FIEFP for predicting effective components in Chinese herbal formulas by using big data[J]. Cancer Biol Med, 2024, 21(11):1067-1077.
- [30] Wei JX, Dai JM, Sun YH, et al. TIRPnet: Risk prediction of traditional Chinese medicine ingredients based on a deep neural network[J]. J Ethnopharmacol, 2024, 325:117860.
- [31] 陈锦明, 刘瑞芳, 王维斌, 等. 中医健康管理原则的探讨[J]. 福建中医药, 2019, 50(4):43-45.
- Chen JM, Liu RF, Wang WB, et al. Discussion on the principle of health management in traditional Chinese medicine[J]. Fujian J Tradit Chin Med, 2019, 50(4):43-45.
- [32] 杨 帆. 健康管理在中国的应用现状、问题分析与改善对策[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2017, 1(8):148-149.
- Yang F. Application status, problems analysis and improvement countermeasures of health management in China[J]. Mod Med Health Res, 2017, 1(8):148-149.
- [33] 周常恩, 赵 文, 许鸿本, 等. 以状态为核心的中医健康状态辨识系统构建研究[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(8):4849-4852.
- Zhou CE, Zhao W, Xu HB, et al. Research on establishment of status-centered traditional Chinese medicine health status identification system[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2021, 36(8):4849-4852.
- [34] 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[J]. 中华中医药杂志, 2018, 33(4):1213-1215.
- Liang WN, Lin XJ, Yu J, et al. Big database of real world promotes health management of traditional Chinese medicine into artificial intelligence era[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2018, 33(4):1213-1215.
- [35] 倪敬年, 曹天雨, 陈雅静, 等. 名老中医经验数字化传承的思考

- [J]. 中医杂志, 2023, 64(17): 1754–1758.
- Ni JN, Cao TY, Chen YJ, et al. Thoughts on digital inheritance of experiences of famous and veteran physicians of traditional Chinese medicine [J]. J Tradit Chin Med, 2023, 64(17): 1754–1758.
- [36] 林雨琪, 高玉才, 陈永灿, 等. 基于置信规则库的慢性萎缩性胃炎陈永灿辨证经验挖掘[J]. 浙江中医药大学学报, 2021, 45(12): 1278–1284.
- Lin YQ, Gao YC, Chen YC, et al. CHEN yongcan's syndrome differentiation experience mining for chronic atrophic gastritis based on belief rule base[J]. J Zhejiang Chin Med Univ, 2021, 45(12): 1278–1284.
- [37] 雷黄伟, 徐佳君, 杨朝阳, 等. 基于数据驱动的名老中医学学术经验智能化传承研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2021, 27(7): 1111–1113, 1144.
- Lei HW, Xu JJ, Yang CY, et al. Research on intelligent inheritance of academic experience of famous and old traditional Chinese medicine based on data driving[J]. J Basic Chin Med, 2021, 27(7): 1111–1113, 1144.
- [38] 廖娟, 王建超, 玉叶, 等. 人工智能在名老中医传承中的应用[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(4): 1671–1674.
- Liao J, Wang JC, Yu Y, et al. Application of artificial intelligence in the inheritance of famous TCM expert[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2020, 35(4): 1671–1674.
- [39] 宋勇刚, 张敏. 数字技术在中医药科技创新中的应用及未来发展趋势[J]. 中国社会医学杂志, 2024, 41(4): 384–387.
- Song YG, Zhang M. The application and future development trends of digitalization in traditional Chinese medicine technology innovation[J]. Chin J Soc Med, 2024, 41(4): 384–387.
- [40] 李盼飞, 张楚楚, 李海燕. 科技赋能中医古籍精华传承与创新应用[J]. 中医杂志, 2023, 64(15): 1519–1524.
- Li PF, Zhang CC, Li HY. Technology empowers the inheritance of essence and innovative application of ancient Chinese medical books[J]. J Tradit Chin Med, 2023, 64(15): 1519–1524.
- [41] 陈芷涵, 梁丹, 李娜, 等. 中医药临床研究的未来发展趋势及思考[J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(22): 102–109.
- Chen ZH, Liang D, Wan LN, et al. Future development trends and considerations for clinical researches in traditional Chinese medicine[J]. Chin J Exp Tradit Med Formulae, 2024, 30(22): 102–109.
- [42] 伍振峰, 杨书洁, 杨怡琴, 等. 数字中药药剂学的现状与发展趋势分析[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(2): 285–293.
- Wu ZF, Yang SJ, Yang YQ, et al. Analysis of the current situation and development trend of digital Chinese medicine pharmacy[J]. China J Chin Mater Med, 2024, 49(2): 285–293.
- [43] 刘艳飞, 孙明月, 姚贺之, 等. 大数据技术在中医药领域中的应用现状及思考[J]. 中国循证医学杂志, 2018, 18(11): 1180–1185.
- Liu YF, Sun MY, Yao HZ, et al. Reflections on the application status of big data technology in traditional Chinese medicine [J]. Chin J Evid Based Med, 2018, 18(11): 1180–1185.
- [44] 胡金亮, 李素云, 余海滨, 等. 基于临床医疗科研信息共享系统 AECOPD 证症相关性分析研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2013, 15(7): 1596–1599.
- Hu JL, Li SY, Yu HB, et al. Correlation analysis of syndromes and symptoms of TCM AECOPD based on clinical research information sharing system[J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2013, 15(7): 1596–1599.
- [45] 蔡永敏, 陈丽平, 李建生, 等. 基于现代名老中医临床著作的肺病数据库建立及数据挖掘[J]. 中国中西医结合杂志, 2015, 35(10): 1186–1191.
- Cai YM, Chen LP, Li JS, et al. Database establishing and data mining of pulmonary diseases based on clinical works by modern famous veteran doctors of Chinese medicine[J]. Chin J Integr Tradit West Med, 2015, 35(10): 1186–1191.
- [46] 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.
- Wang ZJ, Fan XJ, Wang YQ, et al. Application of machine learning methods in research of traditional Chinese medicine[J]. Drug Eval Res, 2024, 47(8): 1906–1913.
- [47] 刘福栋, 姜晓晨, 王桂彬, 等. 机器学习方法在中医学传承研究中的应用及思考[J]. 中医杂志, 2022, 63(8): 720–724, 738.
- Liu FD, Jiang XC, Wang GB, et al. Thinking on application of machine learning method in inheritance of traditional Chinese medicine[J]. J Tradit Chin Med, 2022, 63(8): 720–724, 738.
- [48] 王伟斌, 李敬华, 于琦, 等. 基于古代医案的郁证用药规律分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(5): 162–167.
- Wang WB, Li JH, Yu Q, et al. Research on medication rules of depression syndrome based on ancient medical records[J]. Chin J Exp Tradit Med Formulae, 2020, 26(5): 162–167.
- [49] 于佃海, 吴甜. 深度学习技术和平台发展综述[J]. 人工智能, 2020, 7(3): 6–17.
- Yu DH, Wu T. Summary of deep learning technology and platform development[J]. AI-View, 2020, 7(3): 6–17.
- [50] 张静. 基于深度学习的药物-药物相互作用研究[D]. 广东药科大学, 2023.
- Zhang J. Research of drug-drug interactions based on deep learning[D]. Guangdong Pharm Univ, 2023.
- [51] 刘梦, 王曦廷, 周璐, 等. 基于深度学习与迁移学习的中医舌象提取识别研究[J]. 中医杂志, 2019, 60(10): 835–840.
- Liu M, Wang XT, Zhou L, et al. Study on extraction and recognition of traditional Chinese medicine tongue manifestation: based on deep learning and migration learning[J]. J Tradit Chin Med, 2019, 60(10): 835–840.
- [52] 刘加峰, 高子啸, 段元民, 等. 基于深度学习的中药材饮片图像识别[J]. 北京生物医学工程, 2021, 40(6): 605–608.
- Liu JF, Gao ZX, Duan YM, et al. Identification of the images of Chinese herb slices with deep learning[J]. Beijing Biomed Eng, 2021, 40(6): 605–608.
- [53] Sun X, Qian HN, Xiong YL, et al. Deep learning-enabled mobile

- application for efficient and robust herb image recognition[J]. Sci Rep, 2022,12(1):6579.
- [54] 颜彩琴,范睿琦,宁雨坪,等. 深度学习模型在中药毒性预警中的应用和前景[J]. 中国药理学与毒理学杂志,2022,36(3):231-240.
- Yan CQ, Fan RQ, Ning YP, et al. Applications and prospect of deep learning model in early warning of toxicity of traditional Chinese medicine[J]. Chin J Pharmacol Toxicol, 2022,36(3):231-240.
- [55] 张冰冰,朱琦,张晶新,等. 基于深度学习的中药寒热属性预测研究[J]. 世界中医药,2023,18(21):3047-3052,3059.
- Zhang BB, Zhu Q, Zhang JX, et al. Prediction of cold/hot properties of Chinese herbal medicines based on a deep learning approach[J]. World Chin Med, 2023,18(21):3047-3052,3059.
- [56] 于彤. 中医药知识工程的理论体系构建和关键技术分析[J]. 知识管理论坛,2016,1(5):336-343.
- Yu T. Knowledge engineering for traditional Chinese medicine: a review of theoretical system and key technologies[J]. Knowl Manag Forum, 2016,1(5):336-343.
- [57] 于彤,杨硕,李敬华. 中医药知识库系统的研究进展[J]. 中国医学创新,2014,11(18):142-144.
- Yu T, Yang S, Li JH. Research progress of traditional Chinese medicine knowledge base system[J]. Med Innov China, 2014,11(18):142-144.
- [58] 陈清涛,朱瑶,张雪荣,等. 中医临床大数据知识工程基本理论与方法学体系[J]. 时珍国医国药,2022,33(6):1531-1532.
- Chen YQ, Zhu Y, Zhang XR, et al. Basic theories and methodological systems of knowledge engineering for clinical big data in traditional Chinese medicine[J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2022,33(6):1531-1532.
- [59] 李君,周亚娜,李晓东,等. 中医临床大数据知识工程的应用价值及发展前景[J]. 时珍国医国药,2023,34(3):769-770.
- Li J, Zhou YN, Li XD, et al. Application value and development prospect of TCM clinical big data knowledge engineering[J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2023,34(3):769-770.
- [60] 于彤,杨硕,张竹绿,等. 中医药复杂语义网络研究现状与思路[J]. 中国数字医学,2014,9(12):53-56.
- Yu T, Yang S, Zhang ZL, et al. Research status and ideas of complex semantic networks in traditional Chinese medicine[J]. China Digit Med, 2014,9(12):53-56.
- [61] 谭炎,张进,夏立新. 语义网络发展历程与现状研究[J]. 图书情报知识,2019,(6):102-110.
- Tan Y, Zhang J, Xia LX. Research on the development and status of semantic network[J]. Doc Inf Knowl, 2019,(6):102-110.
- [62] 贾李蓉,于彤,李海燕,等. 中医药语义网络的顶层框架研究[J]. 中国数字医学,2015,10(3):54-57.
- Jia LR, Yu T, Li HY, et al. Research on the top framework of the semantic network of traditional Chinese medicine[J]. China Digit Med, 2015,10(3):54-57.
- [63] 朱彦,朱玲,高博,等. 中药功效语义网络的构建及应用[J]. 中华中医药杂志,2016,31(5):1710-1715.
- Zhu Y, Zhu L, Gao B, et al. Construction and application of efficacy semantic network of traditional Chinese medicine[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2016,31(5):1710-1715.
- [64] 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[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2021,23(6):1803-1811.
- Sun ZR, You XQ, Han QC, et al. Progress and current considerations of artificial intelligence in the field of traditional Chinese medicine[J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2021,23(6):1803-1811.
- [65] 赵宇平,李楠,闫朋宣,等. 中医药人工智能现状研究及发展思考[J]. 中国中西医结合杂志,2020,40(6):746-749.
- Zhao YP, Li N, Yan PX, et al. Research and development of artificial intelligence in traditional Chinese medicine[J]. Chin J Integr Tradit West Med, 2020,40(6):746-749.
- [66] 代佳晴,姜宇轩,胡婧楠,等. 人工智能在中医药中的发展现状与伦理挑战[J]. 中国医学伦理学,2025,38(2):173-178.
- Dai JQ, Jiang YX, Hu JN, et al. Development status and ethical challenges of artificial intelligence in traditional Chinese medicine[J]. Chin Med Ethics, 2025,38(2):173-178.
- [67] 高远,张仕娜,盛博洋,等. 由 ChatGPT 引发中医智能诊断研究中数据问题的思考[J]. 湖南中医药大学学报,2023,43(7):1320-1324.
- Gao Y, Zhang SN, Sheng BY, et al. Thoughts on data issues in intelligent diagnosis research of TCM prompted by ChatGPT[J]. J Tradit Chin Med Univ Hunan, 2023,43(7):1320-1324.
- [68] 杨乐乐,王哲,姚克宇,等. 大语言模型在中医药领域的应用展望思考[J]. 中华中医药学刊,2025,43(2):16-24.
- Yang LL, Wang Z, Yao KY, et al. Prospective reflections on application of large language models in field of traditional Chinese medicine[J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2025,43(2):16-24.
- [69] Pivdori M. Chatbots in science: what can ChatGPT do for you?[J]. Nature, 2024,632(2):15-20.

(收稿:2025-07-10;修回:2025-09-03;录用:2025-10-09)

(责任编辑:周一青)

本文引用格式:

杨永强,张力. 中医药智能化应用场景与关键技术[J]. 重庆医科大学学报,2026,51(9):1347-1354.