

智能时代背景下的智慧中医研究思考

任海燕^{1,2}, 王维广³, 许林⁴, 黎晖⁵, 蒋涛⁴, 杨涛⁶, 罗静静⁷, 李涛⁸, 张磊⁹, 刘清君¹⁰, 覃文军¹¹, 孟祥飞¹², 李芳杰¹³, 王鑫¹⁴, 林静怡¹⁵, 周鹏¹⁶, 郭义^{2,17}, 孟昭鹏¹⁸

(1. 天津中医药大学中医学院, 天津 301617; 2. 天津市智慧中医产业学院, 天津 301617; 3. 北京中医药大学中医学院, 北京 100029; 4. 成都中医药大学智能医学学院, 四川 成都 611137; 5. 广州中医药大学基础医学院, 广东 广州 510006; 6. 南京中医药大学人工智能与信息技术学院, 江苏 南京 210023; 7. 复旦大学工程与应用技术研究院, 上海 210043; 8. 南开大学计算机学院, 天津 300350; 9. 中国中医科学院中医药数据中心, 北京 100700; 10. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院, 浙江 杭州 310027; 11. 东北大学计算机科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110189; 12. 国家超级计算天津中心, 天津 300457; 13. 上海中医药大学针灸推拿学院, 上海 201203; 14. 天津大学智能与计算学部, 天津 300350; 15. 天津中医药大学第一附属医院, 天津 300381; 16. 天津大学医学院, 天津 300072; 17. 天津中医药大学, 天津 301617; 18. 天津中医药大学公共卫生与健康科学学院, 天津 301617)



郭 义

1965年生, 二级教授, 研究员, 博士生导师。国家“万人计划”领军人才(教学名师), 国家中医针灸临床医学研究中心学术带头人, 首届全国高等中医药学校教学名师, 第七批全国老中医药专家学术经验继承工作指导教师, 李时珍医药创新奖获得者, 兼任中国针灸学会副会长, 世界中医药学会联合会中医适宜技术评价与推广委员会会长, 世界中医药学会联合会标准化建设委员会副会长, 世界中医药学会联合会国际中医临床标准工作委员会副会长, 中国标准化协会中医药分会副会长等。主持国家重点基础研究发展计划、国家自然科学基金等国家级项目10余项, 发表论文270余篇, 出版著作30部, 主持制定国际标准2项, 国家标准3项, 行业、团体标准8项, 指导国内37项指南编制。

摘要:探讨智能时代背景下人工智能(AI)技术赋能中医领域的必要性、智慧中医的内涵及任务,及相关研究落地转化进展,紧扣国家导向、刚需及问题,进行顶层设计,提出未来可用于中医领域的热门AI技术以及智慧中医未来重点关注的研究方向,以期为进一步促进多学科交叉创新融合,助力实现中医药现代化传承创新发展奠定基础。

关键词:智能时代;智慧中医;研究进展;未来展望;人工智能;辅助诊疗;大语言模型

中图分类号:R2-03 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-0482(2024)12-1291-12

DOI:10.14148/j.issn.1672-0482.2024.1291

引文格式:任海燕,王维广,许林,等.智能时代背景下的智慧中医研究思考[J].南京中医药大学学报,2024,40(12):1291-1302.

Thinking on the Research of Smart Traditional Chinese Medicine under the Background of Intelligent Era

REN Haiyan^{1,2}, WANG Weiguang³, XU Lin⁴, LI Hui⁵, JIANG Tao⁴, YANG Tao⁶, LUO Jingjing⁷, LI Tao⁸, ZHANG Lei⁹, LIU Qingjun¹⁰, TAN Wenjun¹¹, MENG Xiangfei¹², LI Fangjie¹³, WANG Xin¹⁴, LIN Jingyi¹⁵, ZHOU Peng¹⁶, GUO Yi^{2,17}, MENG Zhaopeng¹⁸

(1. College of Traditional Chinese Medicine, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China; 2. Tianjin Wisdom Chinese Medicine Industry College, Tianjin 301617, China; 3. School of Traditional Chinese Medicine, Beijing University of

收稿日期: 2024-11-20

基金项目: 中国工程院重大咨询项目(2019-ZD-6-03);天津市教科研计划项目(2022ZD042);国家重点研发计划(2022YFB4703104)

第一作者: 任海燕,女,高级工程师,E-mail:rhyxiaotong@163.com

通信作者: 郭义,男,教授,主要从事实验针灸、中医标准化、航天中医药、智慧中医等研究,E-mail:guoyi_168@163.com;

孟昭鹏,男,教授,主要从事人工智能、智能中医药等相关研究,E-mail:mengzp@tju.edu.cn

Chinese Medicine, Beijing 100029, China; 4. College of Intelligent Medicine, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 5. School of Basic Medicine, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, China; 6. School of Artificial Intelligence and Information Technology, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China; 7. Academy for Engineering and Technology, Fudan University, Shanghai 210043, China; 8. College of Computer Science, Nankai University, Tianjin 300350, China; 9. Traditional Chinese Medicine Data Center, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; 10. College of Biomedical Engineering and Instrument Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 11. School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110189, China; 12. National Supercomputing Center in Tianjin, Tianjin 300457, China; 13. School of Acupuncture-Moxibustion and Tuina, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China; 14. Faculty of Intelligence and Computing, Tianjin University, Tianjin 300350, China; 15. First Teaching Hospital of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300381, China; 16. School of Medicine, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 17. Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China; 18. School of Public Health and Health Sciences, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China)

ABSTRACT: This paper discusses the necessity of artificial intelligence (AI) technology empowering the field of traditional Chinese medicine (TCM) in the context of the intelligent era, the connotation and tasks of smart TCM, and the progress of related research and transformation. It closely follows the national orientation, rigid needs and problems, conducts top-level design, and proposes popular AI technologies that can be used in the field of TCM in the future and the research directions that smart TCM will focus on in the future, in order to further promote the integration of multidisciplinary cross-innovation and help realize the modernization, inheritance and innovation of TCM and lay the foundation.

KEY WORDS: intelligent era; smart TCM; research progress; future outlook; artificial intelligence; auxiliary diagnosis and treatment; large language model

党的二十大报告指出,要推动战略性新兴产业融合集群发展,构建新一代信息技术、AI技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等一批新的增长引擎。随着AI时代的到来,中医领域已成为AI应用的重要场景之一。AI技术与中医的有机结合形成了智慧中医,这不仅推动了我国AI技术的更新迭代,更为促进中医传承与创新提供了技术支持,为实现全民健康以及健康中国战略目标赋予了可能。

本研究结合智能时代背景,系统阐述了中医传承发展的需求,AI引入中医领域的必要性,智慧中医的内涵与任务及其研究落地进展,并对未来发展进行展望,为进一步推动智慧中医的发展,促进多学科交叉创新融合,实现中医现代化传承发展奠定基础。

1 中医传承发展的需求及AI引入的必要性

1.1 中医传承发展的现代需求

随着国家发展进入新时代,中医学作为中华传统文明的优秀代表,需立足于中医原创性思维,适应社会疾病谱的变化,积极吸纳并融合当代先进科技与优秀的学术成果,以实现自身的发展与完善。中医传承发展的现代需求主要涉及三方面:①中医理论的科学阐释需求:中医药传承数千年,积累了海量中医诊疗相关医案、处方等数据,但由于中医药名词术语与一般文本差别较大,对其隐藏的知识、规律和经验进行挖掘存在极大困难,阻碍了中医的传承发展^[1],因此需要用听得懂、记得住、用得上的现代科

学语言来阐释中医基本理论,此为中医现代化的基础^[2],中医药名词术语的标准化、规范化,内涵和外延的明确,进一步实现对中医理论的科学阐释,成为中医传承发展的需求之一^[3];②中医临床疗效的精准化需求:临床实践表明,采用不同的辨证思路形成的多种处方均能起到良好的治疗效果,但其辨证处方的准确性需通过疗效评价来确定^[4],这是确保中医活力与核心竞争力的关键,中医疗效评价涉及客观生物学指标、患者主观感受、医生对病情的判断等多个方面^[5],如何对其进行有效评价,提高中医临床疗效的精准性与可靠性,是中医发展的核心问题和关键需求;③中医传承发展的人才需求:人才是中医传承发展的基石,如两宋金元时期,文人的参与显著提升了中医理论水平,促进了学术争鸣^[6],在智能时代背景下,选拔和培养具有较高中华传统文化素养、科学研究潜力和多学科交叉创新能力的中医人才,既是中医传承发展的战略高点,也是顺应智能时代科技发展的需求和趋势^[7]。

1.2 人工智能引入的必要性

AI技术的引入,满足了中医传承发展的需求,标志着中医从传统向现代化、智能化的转型,对未来中医诊疗模式及知识传承创新具有深远的影响^[8]。①AI赋能实现中医药数据驱动和科学化研究:通过自然语言处理(NLP)、图像处理、机器学习、深度学习(DL)等技术,结合边缘计算及智能机器人系统,可便捷高效地收集、处理中医典籍、临床病历和科研数据,构建数据库、标签库和知识库,提升数据的可

用性与准确性,辅助实现中医临床医疗数据、知识和经验的系统化累积与现代化管理,为后续科研与理论技术发展奠定基础^[9];②AI提升中医诊疗与理论研究的科学性与系统性:AI技术通过智能计算,利用机器学习和深度学习等算法,可以有效处理和分析中医临床诊疗经验数据,推动中医分析决策过程,提升中医诊疗和理论研究的科学性和系统性^[10-11],如利用高性能计算(HPC)作为强大的分析工具,与分布式计算技术结合,可加速中医诊疗模型的训练和优化,提升计算效率;HPC可使复杂分析和模拟成为可能,促进中医理论的深入研究、药物研发和个性化治疗方案的设计,提高治疗效果^[12-13];AI算法的应用与优化亦可推动中医诊疗和研究方法的创新,精准模拟中医诊疗过程,实现个性化治疗和早期疾病预测;③AI辅助中医教育与文化传播:利用AI模拟教育软件,可以为学生提供丰富的互动式学习体验,提高教学效率及质量,有助于强化公众对中医的理解和接受度^[14-15],AI可以辅助向国内外传播中医知识,为全球医疗健康问题提供新的解决方案,尤其在慢性病管理和预防医学方面^[16],可以帮助应对全球性的公共卫生挑战,促进人类健康与医学进步。

2 智慧中医及其研究落地进展

2.1 智慧中医的内涵及任务

AI与中医在思维方式上有着共通之处。AI是具有高度综合性的科学,具有整体特征,与中医整体观念相似;AI能将互联网与外部环境相连,综合多种信息、多个系统,从而形成开放、无限、动态的大数据,实现信息智能化和个性化分析,与中医辨证论治模式及因人制宜个性化诊疗思路不谋而合^[17-18]。因此,AI与中医的交叉融合是必然趋势,交叉形成的智慧中医是中医现代化发展的必经之路^[19]。

智慧中医以中医学理论为基础,结合中医原创思维和特点,充分发挥AI技术的优势,深入研究人体生命、健康、疾病的本质与规律,通过人机协同实现精准决策^[20]。其以需求、问题及目标为导向,需要完成三大任务:①学术研究层面,借助AI技术在中医传统理论与经验基础上挖掘隐藏的新知识与规律,阐释中医理论机制;②推广应用层面,普及中医“道法术器”理论及技术,提升全民全生命周期健康水平,提升全疾病周期整体医疗水平;③学科发展层面,顺应时代特征,借助AI技术解决中医传承发展问题,推动中医药现代化发展(图1)。

智慧中医任务图

以“需求、问题、目标”为导向 以“道法术器”为顶层思维



图1 智慧中医任务图

Fig. 1 Intelligent Chinese medicine task diagram

2.2 智慧中医发展经历的四次浪潮

AI技术与中医交叉融合最终形成智慧中医,前后共经历了四次浪潮。

专家知识和规则的研究引发了第一次浪潮。此时期主要侧重专家经验知识和诊疗规则的研究,开发专家诊疗系统,如关幼波肝病诊疗程序、面向中医内科常见病中医专家系统、高血压病中医诊疗专家系统等^[21-23],此类系统大多依赖专家经验与预定规则,推荐过程与结果难以体现中医辨证论治的特点。此外,中医领域还研究开发了一些古籍图书数据库、方剂数据库^[24-25],以及基于电子设备的引入探索性地开展了四诊信息采集设备的研制,为后期深入研

究奠定了基础。

传统机器学习技术引发了第二次浪潮。此时期使用的AI算法主要包括因子分析、聚类分析、关联规则、随机森林、支持向量机等。应用传统机器学习算法分析四诊信息、古籍资料、名老中医临床诊疗经验以及医院电子病历等数据,实现对中医辨证论治规律的挖掘^[26-27]。具有代表性的是基于关联规则、聚类分析等算法挖掘中医遣方用药规律,并开发了基于传统机器学习算法的中医诊断模型^[10]。类似技术亦被用于中药药理研究方面。此时期中医相关数据库发展较快,本体、知识图谱等技术开始应用。

深度学习技术引发了第三次浪潮。随着深度学

习技术被引入中医领域,其与人脸/图像智能识别技术结合,试图解决中医望诊智能化、穴位自动识别等问题,涉及的算法如卷积神经网络(CNN)、递归神经网络(RNN)、循环神经网络、迁移学习、强化学习等^[28-29],尤以卷积神经网络和递归神经网络为关键。此时期中医四诊信息采集设备、针灸治疗设备等方面取得了较大进步。

大语言模型引发了第四次浪潮。随着大语言模型的提出,尤其 OpenAI 发布的聊天机器人模型(ChatGPT)在问答任务中的优异表现,促使生成式 AI 引发了第四次浪潮^[30]。目前已发布模型超过 10 种,主要涉及中医智能诊断、方药推荐及针灸治疗等方面。而大语言模型训练数据来源及质量、对中医辨证论治诊疗思路的理解、推荐结果可解释性等问题,提示 AI 技术在中医领域应用研究方面仍有较大的探索空间^[31]。

2.3 智慧中医研究及落地转化现状

截至目前,智慧中医在医疗、科研、教育、文化传播等不同领域研究落地转化情况各有侧重。

2.3.1 AI 赋能中医医疗领域

此领域主要聚焦于智能中医四诊设备、专家辅助诊疗系统、智能中医治疗设备、体质辨识系统等方面。

2.3.1.1 智能中医四诊设备

此方面研究热点为舌面诊、脉诊智能设备,主要通过 AI 技术实现对舌象、脉象、面象等客观信息的自动识别,应用的算法包括支持向量机、K 近邻、人工神经网络、机器学习、贝叶斯算法等^[32-34]。

中医舌面诊信息采集设备应用研究、落地转化较好,目前多采用封闭的结构箱体,内置 LED 光源或荧光光源作为图像采集的照明环境,数码相机、高清摄像头作为采集传感器获取舌面象数据,通过软件系统结合图像处理和模式识别技术对舌面特征信息进行识别,评估人体健康状况,机器学习模型的介入使其实现了更精确的舌面特征的提取^[35]。此类设备已被用于临床辅助诊断和健康管理场景,部分高校亦引入此类设备开展体质辨识研究及实训教学。

中医脉诊信息采集设备主要包括压力式脉诊仪、光电式脉诊仪、超声波脉诊设备等,其分别通过不同的采集传感器和电路结构^[36-37],获取病人腕部桡动脉区域的波动信息,经软件分析获取位、数、形、势等脉象特征信息,该类设备已在临床和健康管理领域均有应用。

中医问诊系统打破了以往问卷式健康信息提取的方式,将问诊理论与 AI 技术紧密结合^[38],借助快速发展的大模型及 NLP 技术,学习了海量中医知识形成了知识图谱。该系统可快速识别患者症状、体征,引导患者描述病情、收集症状信息,自动给出决策,实现了人性化交互^[39]。

中医闻诊设备包括气味、声音采集分析两类。气味采集设备通过传感器阵列采集患者散发或呼出的气味^[40],提取特征辅助诊断,由于缺乏临床数据以及相关技术的统一标准和认证规范,此类设备尚未落地使用。声音智能采集分析方面还在探索中,如基于神经转换器网络的语音闻诊模型可以自适应地学习语音的声学特征和语言学特征,此在实际中医辅助诊断中具有良好的应用前景。此外,亦有将图片与声音多模态数据进行整合进行智能辅助诊断模型研究者。^[41]

2.3.1.2 中医专家辅助诊疗系统

此类系统开发时间较早,多款产品已经发布,如关幼波肝病诊疗程序、名中医经验传承辅助诊疗系统、中医智能诊疗系统等。专家系统侧重使用计算机技术模拟中医专家临床诊疗过程,提高诊疗效率,已被用于开展中医理论研究,训练学生临床实践技能等,但因其推理过程较为机械,与实际临床情况差距较大,尚未被认可。名中医经验传承辅助诊疗系统用于辅助医生决策,提升推荐准确率,涉及理论层及应用层,以临床应用为导向,借助超图结构学习技术搭建模型,涵盖辨病、辨证、治疗、方药、处方评价审议模块^[42]。但受限于训练数据质量、辨证论治思路、可解释性及安全问题,系统的推荐思路与医生差别较为明显,临床应用尚未普及。

2.3.1.3 智能中医治疗设备

此领域主要聚焦于艾灸、推拿按摩、针刺机器人等智能装备研究方面^[43-44],其借助 AI 技术提高针刺、艾灸、推拿、按摩等操作中的智能化程度,提升中医技术的服务能力和范围。基于机器人及 AI 技术,结合中医治疗理念,通过模拟专家治疗手法,实现中医传统技术的数字化、规范化。具有代表性的设备如艾灸机器人^[45],通过视觉引导自主识别人体穴位,结合数据化的专家灸疗手法和内置的灸疗方案,对相关病症实现长时程、规范化、精准化施灸治疗,确保艾灸治疗效果的同时,解决人工施灸成本高、人员不足等问题。目前艾灸、推拿按摩机器人研究较为成熟,落地应用较好,智能针刺机器人尚在研发中。

此外,中医体质识别系统以及机器人亦有相关研究,主要通过分析患者的症状、体征等信息智能识别体质状态,有待进一步落地转化应用。

2.3.2 AI赋能中医科研领域 此领域主要聚焦于中医临床诊疗规律挖掘、核心处方挖掘、中药新药研发等方面。^①中医临床诊疗规律挖掘:此方面已成为当前研究的重要方向,但大量非结构化数据问题限制了数据挖掘的有效性,目前主要针对临床症状、药物、方剂和穴位等结构化数据进行挖掘,进而识别核心药物、穴位及处方等关键信息^[42,46];^②中医理论研究:也面临着类似挑战,虽然AI技术被广泛用于处理非结构化文献数据,挖掘隐性知识,但因数据质量和数量的限制,使这一过程变得较为复杂,知识图谱技术的应用使其有了一定进展,但用于挖掘隐性知识的算法仍有待进一步优化和验证^[47];^③中药新药研发:AI技术与多种数据库的结合,使得对新方剂和中药单体作用机制的研究成为可能,通过建立模型,分析复方中的中药有效成分及其作用,推荐最优组成和配比,从而显著提高新方剂和新药的研发效率^[12,48]。

中医科研平台方面落地应用情况较好,主要集中在名老中医经验传承、中药配伍规律研究、新药开发等平台的构建。如“古今医案云平台”集医案检索、采集、分析挖掘于一体,服务于中医药传承,涵盖50万例结构化的中医医案数字资源,集成诸多智能信息处理技术,实现了病、症、方、药、穴位、治法、疗效等多维关系的挖掘^[49]。又如,基于“道术结合”思路与多元融合方法的名老中医经验传承创新研究平台,收录了137位名老中医门诊病例,通过集成多种智能信息处理技术,可实现核心方药、药症关联等的多维度分析^[50]。

2.3.3 AI赋能中医教育领域 此领域主要集中在中医临床实训系统方面,通过模拟真实临床情景解决实训中遇到的困难^[14,51]。目前开发的实训系统基本覆盖了中医四诊信息采集训练、针灸治疗模拟、针刺手法操作训练、中医临床思维训练等诊疗各环节。如基于视觉识别的高频率姿态估计方法的针灸训练系统,采用高速摄像机拍摄带有标记码的针灸针,可得到虚拟世界中对应针灸针的空间位置,从而实现对应针灸针提拉捻转等动作的捕捉和评价^[52]。

2.3.4 AI赋能中医文化传播领域研究进展 中医文化传播领域亦逐渐被作为AI应用场景之一,前

期调研结果表明,部分企业及高校正在探索借助AI技术传播中医药文化的全新范式及路径。

3 智慧中医未来展望

3.1 智慧中医顶层设计

AI技术与中医交叉融合形成智慧中医,未来应以需求、问题及目标为导向,基于“道法术器”模式,分别从基础数据、智能技术、应用场景三个维度进行顶层设计,并以伦理要求、政策法规、临床规范、数据隐私与保护等作为基础保障,形成基于数据驱动、AI技术赋能的智慧中医发展闭环,以期更好地促进AI与中医深度融合,实现中医药现代化传承创新发展(图2)。

具体而言,智慧中医顶层设计包括智慧中医基础层、技术层、应用层三个层面,以及基础保障条件。^①智慧中医基础层:数据作为新型生产要素,是数字化、网络化、智能化的基础,是AI引入中医学领域的关键底层基础,此层以中医药健康医疗大数据为核心,包括与生命活动相关的医疗数据(如患者个人基本信息和生理指标、实验室检查、医生诊疗记录和方案等)、生活数据(如饮食习惯、作息规律、心理状态数据等)、医院管理数据(医院基本信息、设备信息、药物管理数据、公共卫生数据等)及社会数据(人口、环境、健康行为数据)等^[53];^②智慧中医技术层:通过整合多种AI技术,推动中医诊疗、健康管理及传承发展等方面的研究,其涵盖了机器学习、深度学习、知识图谱、数据挖掘、扩展现实、新型传感器、智能装备及生成式人工智能等多种技术^[10,27],在不同应用场景中协同发挥关键作用;^③智慧中医应用层:将收集的中医药健康医疗大数据借助AI技术进行处理分析,最终应用于不同场景,形成智慧中医应用层,此层主要包括重在维持健康状态的全生命周期健康管理应用场景^[54]、侧重疾病预防预警干预康复的全疾病周期中医诊疗场景、侧重健康监测与管理的居家生活应用场景,以及侧重理论研究及学科发展的中医药传承发展应用场景^[55];^④智慧中医基础保障:此为智慧中医顺利运作和可持续发展的关键,涉及伦理要求(确保AI技术应用的公平性、透明性)、政策法规(确保AI技术准入和应用的合法性及合规性)、临床规范(确保AI技术应用的安全性和有效性)、数据隐私与保护(确保数据合规性和合法性,防止数据泄露和滥用)等多方面^[56]。

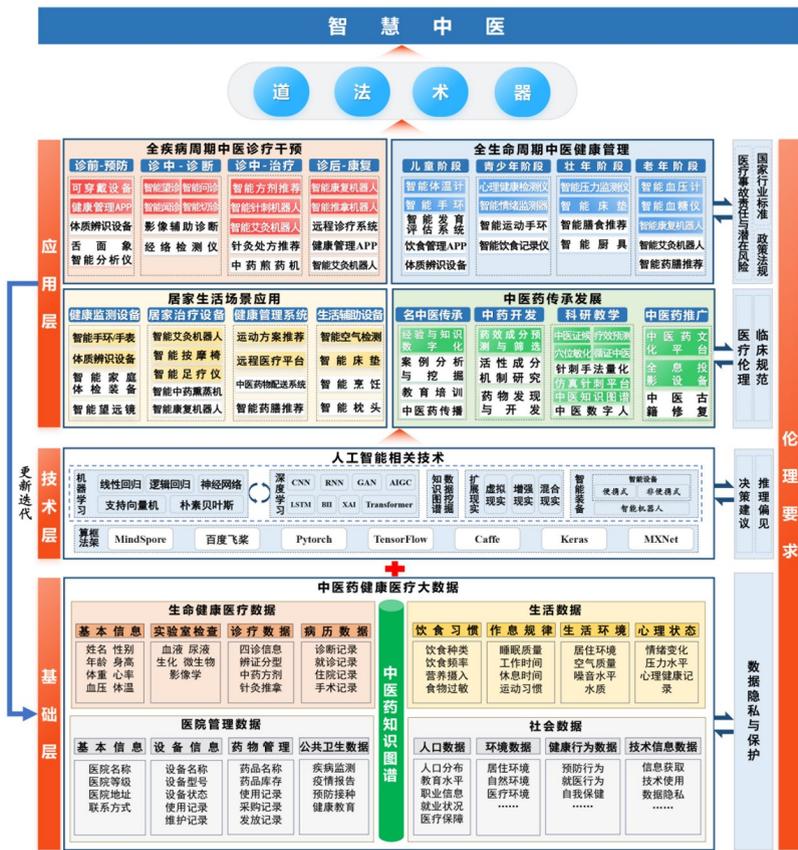


图 2 智慧中医顶层设计图

Fig. 2 Intelligent Chinese medicine top-level design diagram

3.2 智慧中医未来可关注的 AI 技术

目前,已被引入中医领域的 AI 技术包括机器学习、深度学习、神经网络、NLP、知识图谱、数据挖掘、智能装备等,此外,当下比较热门的生成式人工智能 (AIGC)、可解释性人工智能 (XAI)、数字孪生 (DT)、脑机接口 (BCI)、类脑智能 (BII) 等亦可被引入中医领域,辅助实现中医现代化传承发展。① AIGC:此技术可以扮演信息传播、知识普及、医学教育等角色,辅助实现中医诊疗、个性化健康管理、中医科普等,促进中医药文化的传承发展^[30,57-58];② XAI:此技术可以帮助医生与患者更好地理解 AI 系统的推理过程和决策依据,增强对中医治疗方案、治疗效果、药物配伍、健康管理等的信任和接受度,提升治疗的依从性^[59-60];③ DT:此技术可以模拟和优化中医药产品、诊疗流程、药物制备过程和临床试验等^[61-62];④ BCI:此技术可以结合相关理论和临床实践,实现对患者脑部信号的获取和分析,为中医药诊疗和康复、理论研究等提供新方法^[63];⑤ BII:此技术可以结合中医药理论与实践,模拟大脑对疾病进行识别诊断,辅助决策、药物研发与优化、个性化治

疗和康复,同时,医药企业利用 BII 模拟大脑对药物进行筛选和设计,可加速新药研发过程,提高药效和安全性^[64-65]。

3.3 智慧中医未来重点关注的研究方向

结合政策导向、社会及大众需求,根据智慧中医顶层设计,未来应重点聚焦标准体系构建、中医传承与发展、中医教育、中医健康管理、临床疗效评估、中药质量控制、中医智能装备研发、产业化发展等研究方向。

3.3.1 智慧中医标准化体系的构建

根据《国家标准化发展纲要》的要求以及《中医药振兴发展重大工程实施方案》对中医药发展的重要指示,需有序推进全域标准化深度发展,着力提升标准化发展水平,加强标准化与科技创新互动。智慧中医作为智能时代战略性新兴交叉创新领域,AI 技术引入中医领域应用时必须符合系列标准,如数据标准、技术准入标准、应用标准、监管标准、评价标准等,目前已制定的智慧中医相关标准,主要涉及最基础的中医药信息化术语、四诊信息分类与代码、中医健康管理云平台系统建设规范、临床中医电子病历基本数据

集、舌象脉象客观参数标准等。未来,需根据智慧中医顶层设计,围绕人的生命、健康、疾病等不同维度,以“道法术器”模式为导航,结合中医药标准化体系及 AI 技术使用的标准化需求,开展智慧中医标准化体系构建,补充完善标准的制定,为 AI 赋能中医传承发展提供强有力的支撑和保障^[66]。

3.3.2 基于标准引领、人机协同的中医传承与创新发展 中医传承与创新发展的核心在于传承精华、守正创新,传承古今历代医家诊疗经验、中医思维与理念,创新发展中医特色诊疗技术。

中医传承与创新发展的首要应聚焦于古今中医典籍、文献、名医医案、临床诊疗经验等海量中医药数据的深入挖掘,由于这些数据信息密度巨大,且现代中医中仍有大量基础机理尚不清晰,如腧穴协同作用机理等,亟待深入挖掘和解读,以促进学科发展^[67]。其中,数据要素是制约 AI 赋能中医的关键因素之一,中医数据具有多源性、复合性、异质性等特点,属于非结构化、带有主观性和模糊性的数据,其质量和数量直接影响 AI 应用的效果,必须进行结构化、标准化处理后方能应用 AI 技术进一步挖掘分析,因此中医传承与发展必须以智慧中医标准作为引领,这也是标准基础性、战略性、全局性决定的结果^[68]。基于此,未来应着力解决中医数据结构化、准确性、完整性、一致性问题,制定特定学科和专业病种的中医标准数据集,提升 AI 算法训练和优化效果。此外,中医海量数据深入挖掘属于系统工程,需政府、医疗机构、科研机构及 AI 企业等多方合作,政府出台政策支持鼓励数据开放共享、临床数据统一管理分析,医疗机构提供临床数据和资源,科研机构开展数据挖掘和分析工作,各方通力合作才能实现中医海量数据的深入挖掘,促进智慧中医的传承^[69]。

AI 技术赋能中医创新发展时,不仅需要标准的挟持,亦需要人机结合技术的赋能。人机结合技术,即通过将人类认知思维与机器的计算能力,从生理、认知和感知三个维度进行融合。在中医领域,此技术可为传统中医诊疗模式提供创新思路和方法。①生理融合方面,如癌症患者脉象复杂多变,通过植入式传感器监测脉象,结合 AI 算法检测分析生理指标,帮助医生更好地了解患者身体状况及脉象变化,方可准确诊断疾病并制定个性化治疗方案^[70];②认知融合方面,如利用 BCI 技术研究中医治疗的神经机制,探索中药和针刺等中医疗法对大脑活动的影

响,深化理解中医治疗原理,为中医药现代化发展提供科学依据^[71-72];③感知融合方面,如利用 VR 技术实现对穴位的三维模拟和定位,帮助医生更准确和快速地找到穴位,提高效率^[73]。

3.3.3 基于质量提升的中医教育 AI 技术引入中医教育领域中将极大地丰富教学手段和资源,建立医工交叉创新人才培养模式,培养智能时代高素质中医技能型人才,如 AR、VR 等 AI 技术可以使学生身临其境地体验中医诊疗过程,或进行针刺手法训练等,实现中医教育的个性化定制,精准地识别学生的知识短板和需求,为其推荐个性化的学习资源,实现因材施教;再如通过数字孪生,可构建虚拟仿真系统、元宇宙等,模拟名医医案的 3D 场景,营造 3D 经脉与穴位模型,还原古代药物炮制加工场景等^[74];ChatGPT 虽然给教师和学生带来多方位的挑战,但在教学中可以弥补传统教学的不足之处,并激发教师的授课潜力,对学生提供个性化的学习支持和指导等^[75]。

3.3.4 基于治未病理念的中医健康管理 治未病作为中医重要理念之一,是进行中医健康管理的理论核心,贯穿于中医健康管理的全过程^[76-77],AI 技术的应用可以极大地提高健康监测与预警、个性化健康管理、健康风险评估与预测、中医养生与保健等^[19,78]早期干预和个性化健康管理水平,为治未病理念指导下的中医健康管理提供技术支持。未来,AI 应重点赋能中医健康管理中的健康状态辨识及健康预警。AI 技术可以与 5G、物联网、大数据等技术相结合,不仅可以提升中医诊疗的精准度和效率,也可以提供实时监测、远程服务和个性化管理的新模式。如“5G+智能化设备”“5G+云端管理平台”等将创新治未病健康服务的工作模式;“AI+5G+云平台+物联网+VR+大数据技术+”,配合传感器、智慧摄像头、VR 头盔、16K 屏幕等终端设备,与治未病服务融合,可广泛应用于生物、心理和社会领域^[79];“5G+边缘计算+体域网”技术融合模式,以便携式医疗设备、基础传感器、智能家电设备、智能穿戴设备作为感知层,收集并分析环境、饮食、运动作息等生活数据,实现基于中医治未病理念的远程无感健康监控^[80-81],可用于居家健康管理。此外,也可以体质辨识为导向,以证素辨证为核心,基于“宏-中-微”3 个维度,运用数据挖掘与信息处理技术,实现健康状态的智能识别^[74,82]。

3.3.5 以中医药标准医案为牵引的中医临床疗效

评估 临床疗效评估是中医临床实践及现代化的核心环节, AI 技术的融入不仅可以协助转变中医临床疗效评价理念, 还可以助推中医诊断与临床疗效评价的创新发展, 在中医特色数据分析与挖掘、中医疗效预测与风险评估、中医临床决策智能辅助等寻找中医传统智慧与现代数据科学的交汇点上提供科学依据^[5, 83]。

以中医药标准医案为牵引的疗效与医生协同评价体系的构建^[84]是实现标准且客观的中医临床疗效评估的关键。利用大数据分析技术与机器学习算法, 高效处理海量标准医案数据, 提取关键信息, 为疗效评价提供科学、精准、客观的依据^[85]。AI 技术能够辅助构建标准化、系统化的医案数据库, 实现医案信息的自动分类、标注与检索。基于此, 结合中医特色的患者报告结局 (PRO) 量表、中医证候疗效评价标准和现代生物学指标, 形成多维度、多层次的疗效评价指标体系, 同时, AI 技术还能促进医生与评价体系之间的深度协同, 通过智能决策支持系统 (IDSS), 实时获取患者的疗效反馈、治疗进展等信息, 结合个人经验与专业判断, 对治疗方案进行动态调整与优化, 医生与评价体系之间的协同作用, 既发挥医生的主观能动性, 又借助 AI 的客观性与高效性, 共同推动中医临床疗效评价的科学化、智能化进程^[86]。

3.3.6 面向中药产业化的智能中药质量控制 中药质量控制是中医药产业发展的重要保障, 传统质量检测方法时间和人力耗费巨大, 且存在一定的主观性和不确定性, AI 技术具有自动化、高效性和客观性的特点, 可以为中药的质量控制提供新的解决方案, 推动中药产业的智能化和现代化发展, 如通过 AI 技术可辅助药材质量评估、成分分析与指纹图谱、污染物检测与安全评估、生产过程监控与优化、中药的质量和安全性评估等^[87-88]。

3.3.7 智能中医设备的研发与转化 智能中医设备的进步是中医药向现代化转型的关键一步。中医智能设备不仅增强了中医药服务的专业性、效能及范围, 也促进了中医药知识的全球传播, 展现出了更高的科学化、精准化、智能化特征, 尽管在标准化、系统化和应用方面仍存在挑战, 但在提升健康服务体系、助力实现健康中国方面具有独特的优势和价值^[89], 也为老龄化社会出现的健康养老问题提供了解决方案。

其中, 将传统中医设备进行智能转化, 已经成为

中医药现代化发展的重要方向之一, 目前复杂而多元的智能转化过程, 既有成功转型的典范, 如传统中医脉诊设备的智能转化, 也有亟待突破的技术瓶颈, 如刮痧、拔罐等器具的智能转化技术等。未来中医智能装备的研究既需加强医工交叉跨学科合作, 促进传统中医设备实现智能化升级^[13], 也需要关注数据安全、多元化监测指标等, 以适应多样化的使用场景^[90]。

3.3.8 智慧中医产业化发展 在政策的扶持下, 将传统中医知识与 AI、5G、云计算、大数据等先进技术深度融合, 创新性地整合信息链、技术链、价值链, 再造最先进、最优质的就医用药中医新业态, 以实现远程医疗、移动医疗、健康管理等新型中医服务模式和智慧中医产业化发展, 既可以促进中医药全产业链发展, 也将带动相关经济增长和就业机会, 发展前景广阔。具体产业化发展模式与路径如下: ①智慧中医产业链: 涵盖上游医疗数据提供方、技术和设备研发与制造供应科技企业, 到中游智慧医疗服务商和系统集成集成商, 再到下游中医医疗服务与健康应用应用到医疗机构、医务人员和患者; ②智慧中医产业图谱: 从中药材的种植、生产、流通, 到中药产品的研发、加工和生产, 再到中医健康管理及诊疗服务各环节, 涵盖中医医疗设备、信息化系统、智能中药房等方面, 最终面向亚健康及患者人群提供全面的中医药服务; ③智慧中医科研成果推动中医产业化发展: 科研成果在智慧中医产业化过程中起着核心推动作用, 实现路径为: 科研人员研究中医新治法、新技术, 经验证后与企业合作, 推动技术商业化, 开发出智慧中医产品, 经市场推广, 快速覆盖市场, 进一步收集用户反馈, 不断优化产品, 并提供专业技术支持和售后服务, 以保持竞争力并提升用户满意度, 最终推动智慧中医的可持续产业化发展。

总之, 本研究结合最新文献研究成果及企业调研结果, 系统阐述了智慧中医内涵及任务, 其研究落地进展, 未来顶层设计以及重点关注的 AI 技术和领域, 对于推动中医药现代化传承与发展具有重要的意义和价值。

参考文献:

- [1] 李兰娟, 张伯礼, 曹雪涛, 等. 医学人工智能导论[M]. 北京: 科学出版社, 2024.
LI L J, ZHANG B L, CAO X T, et al. Introduction to medical artificial intelligence[M]. Beijing: Science Press, 2024.
- [2] 张伯礼, 李振吉. 中国中医药重大理论传承创新典藏[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2018: 1-20.
ZHANG B L, LI Z J. China significant TCM theory inheritance and innovation achievements[M]. Beijing: China Press of Traditional

- Chinese Medicine, 2018; 1-20.
- [3] 董燕,于彤,朱玲,等. 中医药信息标准化研究进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2016, 23(1): 124-129.
DONG Y, YU T, ZHU L, et al. Research on the status of standardization of TCM information[J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2016, 23(1): 124-129.
- [4] 符宇,邵明义,赵瑞霞,等. 基于中医证据的中医临床疗效评价方法探讨[J]. 中医杂志, 2020, 61(13): 1124-1129.
FU Y, SHAO M Y, ZHAO R X, et al. Discussion on the evaluation methods of clinical therapeutic effects based on evidence in traditional Chinese medicine[J]. J Tradit Chin Med, 2020, 61(13): 1124-1129.
- [5] 展志宏,戴国华,张丛惠,等. 人工智能在中医临床疗效评价中的应用现状及未来发展对策[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(4): 1702-1706.
ZHAN Z H, DAI G H, ZHANG C H, et al. Application status and future development countermeasures of artificial intelligence in the evaluation of clinical efficacy of traditional Chinese medicine[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2024, 39(4): 1702-1706.
- [6] 严世芸. 中医医家学说及学术思想史[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2005.
YAN S Y. Traditional Chinese medicine physician theory and academic thought history[M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine, 2005.
- [7] 陈松,魏丞昊,汪妮立,等. 基于“人工智能+X”的书院制教学模式在针灸推拿专业人才培养中的应用研究[J]. 时珍国医国药, 2024, 35(1): 216-218.
CHEN S, WEI C H, WANG N L, et al. Research on the application of academy teaching mode based on “artificial intelligence + X” in the training of acupuncture and massage professionals[J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2024, 35(1): 216-218.
- [8] 田贵华,商洪才. 智能中医学概论[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2021: 1-304.
TIAN G H, SHANG H C. Generality of intelligence traditional Chinese medicine[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2021: 1-304.
- [9] 崔蒙,高博,杨硕,等. 中医药信息处理的科学问题[M]. 北京: 科学出版社, 2023: 1-25.
CUI M, GAO B, YANG S, et al. Scientific problems in information processing of traditional Chinese medicine[M]. Beijing: Science Press, 2023: 1-25.
- [10] 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.
SHE K J, YUAN N J, MA Q Y, et al. The development status, problems, and solutions of machine learning driven intelligence in traditional Chinese medicine diagnosis[J]. J Basic Chin Med, 2024, 30(3): 398-406.
- [11] 王俊文,叶壮志. 人工智能技术在中医诊断领域应用述评[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2022, 24(2): 810-814.
WANG J W, YE Z Z. Review on the application of artificial intelligence technology in the field of traditional Chinese medicine diagnosis[J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2022, 24(2): 810-814.
- [12] 车前子,佟琳,张华敏,等. 中药新药研发中基于人用经验进一步开展临床研究的设计要点[J]. 中国中医基础医学杂志, 2024, 30(9): 1495-1499.
CHE Q Z, TONG L, ZHANG H M, et al. Key design points for further clinical research based on human experience in the development of new traditional Chinese medicine drugs[J]. J Basic Chin Med, 2024, 30(9): 1495-1499.
- [13] 苏允丽,胡宣宇,马世杰,等. 人工智能在中医诊疗领域的研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60(16): 1-18.
SU Y L, HU X Y, MA S J, et al. Review of research on artificial intelligence in traditional Chinese medicine diagnosis and treatment[J]. Comput Eng Appl, 2024, 60(16): 1-18.
- [14] 吴琪,任婕,宋玉,等. 智慧信息化中医临床实训平台的建设与实践[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(10): 2521-2523.
WU Q, REN J, SONG Y, et al. Construction and practice of intelligent information platform for clinical training of traditional Chinese medicine[J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2022, 33(10): 2521-2523.
- [15] 任相阁,任相颖,李绪辉,等. 医疗领域人工智能应用的研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2022, 24(2): 762-770.
REN X G, REN X Y, LI X H, et al. Research progress of artificial intelligence application in medicine[J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2022, 24(2): 762-770.
- [16] 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 W N, LIN X J, 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.
- [17] 杨燕,熊婕,王传池,等. 人工智能思维模式与中医“象思维”的相似性探析[J]. 中华中医药杂志, 2018, 33(10): 4419-4422.
YANG Y, XIONG J, WANG C C, et al. Analysis of similarity between AI thinking model and “mindset of image” in Chinese medicine[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2018, 33(10): 4419-4422.
- [18] 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.
ZHAN Z H, DAI G H, ZHANG C H, et al. Thinking and method of constructing multi-decision model of intelligent syndrome differentiation of traditional Chinese medicine[J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2024, 42(2): 13-16.
- [19] 李灿东,辛基梁,雷黄伟,等. 中医健康管理与人工智能[J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(8): 3586-3588.
LI C D, XIN J L, LEI H W, et al. Health management of traditional Chinese medicine and artificial intelligence[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2019, 34(8): 3586-3588.
- [20] 邓宏勇. 从循证中医到智慧中医: 自动系统评价技术和中医快速循证决策[J]. 上海中医药杂志, 2024, 58(3): 1-5.
DENG H Y. From evidence to intelligence: Introduction on automated systematic review and rapid evidence-based decision-making in traditional Chinese medicine[J]. Shanghai J Tradit Chin Med, 2024, 58(3): 1-5.
- [21] 宗相卿,代林田. 微机应用关幼波肝病诊疗程序 196 例分析[J]. 辽宁中医杂志, 1992, 19(6): 26-27.
ZONG X Q, DAI L T. Analysis of 196 cases of Guan Youbo liver disease diagnosis and treatment program by microcomputer[J]. Liaoning J Tradit Chin Med, 1992, 19(6): 26-27.
- [22] 张德政,彭嘉宁,范红霞. 中医专家系统技术综述及新系统实现研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(12): 6-9.
ZHANG D Z, PENG J N, FAN H X. Present research situation and prospect of Chinese medicine expert system[J]. Appl Res Comput, 2007, 24(12): 6-9.
- [23] 贝太学,王涛,乔建滨. 基于中医专家系统的评价技术综述[J]. 信息技术与信息化, 2011(1): 52-55.
BEI T X, WANG T, QIAO J B. Summarizing of evaluation technique on expert systems and for Chinese medicine[J]. Inf Technol Informatization, 2011(1): 52-55.
- [24] 胡谦锋,杨心怡,高雨,等. 国内中医古籍数字化研究现状及发展趋势分析[J]. 中国中医药图书情报杂志, 2024, 48(6): 175-181.
HU Q F, YANG X Y, GAO Y, et al. Analysis on research status and development trend of digitization of ancient TCM books[J]. Chin J Libr Inf Sci Tradit Chin Med, 2024, 48(6): 175-181.
- [25] 季昭臣,胡海殷,彭德慧,等. 中医药领域信息化平台建设进展[J]. 天津中医药, 2024, 41(8): 1005-1011.
JI Z C, HU H Y, PENG D H, et al. Progress of informatization platform construction in the field of traditional Chinese medicine[J]. Tianjin J Tradit Chin Med, 2024, 41(8): 1005-1011.

- [26] 陈加富, 叶先文, 张海霞, 等. 基于 R 语言数据挖掘分析中医治疗糖尿病脑病用药规律[J]. 中国中医药图书情报杂志, 2024, 48(6): 114-119.
CHEN J F, YE X W, ZHANG H X, et al. Analysis on medication law of TCM in the treatment of diabetic encephalopathy based on R language data mining[J]. Chin J Libr Inf Sci Tradit Chin Med, 2024, 48(6): 114-119.
- [27] 姚帅君, 杨继红, 闫敬来, 等. 基于深度学习的名老中医用方经验传承知识图谱研究[J]. 中国中医药图书情报杂志, 2024, 48(6): 125-129.
YAO S J, YANG J H, YAN J L, et al. Study on knowledge map of prescribing experience inheritance of veteran TCM physicians based on deep learning[J]. Chin J Libr Inf Sci Tradit Chin Med, 2024, 48(6): 125-129.
- [28] 崔涛, 何佳俊, 何华, 等. 基于深度学习的舌象特征研究[J]. 医学信息学杂志, 2024, 45(7): 81-87.
CUI T, HE J J, HE H, et al. Research on tongue image features based on deep learning[J]. J Med Inf, 2024, 45(7): 81-87.
- [29] 张嘉琪, 张月琴, 陈健. 优化强化学习路径特征分类的脉象识别法[J]. 计算机应用, 2021, 41(11): 3402-3408.
ZHANG J Q, ZHANG Y Q, CHEN J. Pulse condition recognition method based on optimized reinforcement learning path feature classification[J]. J Comput Appl, 2021, 41(11): 3402-3408.
- [30] 萧文科, 孙驰, 陈士林, 等. 中医药大语言模型的关键技术与构建策略[J]. 中草药, 2024, 55(17): 5747-5756.
XIAO W K, SONG C, CHEN S L, et al. Key technologies and construction strategies of large language models for traditional Chinese medicine[J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2024, 55(17): 5747-5756.
- [31] 王泰一, 靳擎, 范梦月, 等. GPT 还是 GLM? 大模型应用于中医药现代化的机遇与挑战[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2023, 37(S1): 5-9.
WANG T Y, JIN Q, FAN M Y, et al. GPT or GLM? Opportunities and challenges of applying large model to modernization of traditional Chinese medicine[J]. Chin J Pharmacol Toxicol, 2023, 37(S1): 5-9.
- [32] 莫国风, 王焯, 常娜娜, 等. 基于深度学习 ConvNeXt 模型的冠心病痰湿证舌诊信息分类辨识[J]. 中国医药导报, 2024, 21(16): 21-23, 45.
MO G F, WANG Y, CHANG N N, et al. Classification and identification of tongue diagnosis information of phlegm-dampness syndrome of coronary heart disease based on deep learning ConvNeXt model[J]. China Med Herald, 2024, 21(16): 21-23, 45.
- [33] 张景慧, 王娟, 赵玉洁, 等. 基于机器学习的胃肠道疾病舌诊模型构建[J]. 山东大学学报(医学版), 2024, 62(1): 38-47, 70.
ZHANG J H, WANG J, ZHAO Y J, et al. Construction of tongue diagnosis model for gastrointestinal diseases based on machine learning[J]. J Shandong Univ (Med Edit), 2024, 62(1): 38-47, 70.
- [34] 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[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(7): 4286-4290.
SUN K N, SUN Q, LI X X, et al. Research on extraction and recognition of traditional Chinese medicine complexion based on convolutional neural network[J]. Chin J Tradit Chin Med, 2021, 36(7): 4286-4290.
- [35] 张月林, 马贝, 田鹤, 等. 中医舌诊现代技术及应用研究进展[J]. 天津中医药, 2024, 41(4): 532-536.
ZHANG Y L, MA B, TIAN G, et al. Application and research progress of modern technology of tongue diagnosis in traditional Chinese medicine[J]. Tianjin J Tradit Chin Med, 2024, 41(4): 532-536.
- [36] 邓佳豪, 王丽珍. 基于中医切脉的远程脉诊仪设备研究与开发[J]. 医用生物力学, 2021, 36(增刊 1): 463.
DENG J H, WANG L Z. Research and development of remote pulse diagnosis instrument based on pulse-taking in traditional Chinese medicine[J]. J Med Biomech, 2021, 36(Suppl 1): 463.
- [37] 敖艺洲. 脉诊的客观化现代研究[J]. 实用中西医结合临床, 2021, 21(11): 158-159.
AO Y Z. Objective modern study of pulse diagnosis[J]. Pract Clin J Integr Tradit Chin West Med, 2021, 21(11): 158-159.
- [38] 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.
LIANG J Q, HE J C. Inquiry objectifying research of TCM based on digital system[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2014, 29(5): 1534-1538.
- [39] 白逸晨, 李海燕. 基于中医专家思维的问诊信息模型构建及应用研究[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2023, 20(3): 339-345.
BAI Y C, LI H Y. Research on the construction and application of inquiry information model based on traditional Chinese medicine expert thinking[J]. Chin J Health Inform Manag, 2023, 20(3): 339-345.
- [40] 门韶洋, 陈绿洁, 赖童, 等. 面向中医问诊的智能化技术研究[J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(8): 25-30.
MEN S Y, CHEN L J, LAI T, et al. Research on intelligent technology of auscultation and olfaction in traditional Chinese medicine[J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2024, 42(8): 25-30.
- [41] 陈家炜. 基于深度学习的舌像和语音智能中医辅助诊断研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2023: 50-51.
CHEN J W. Research on tongue image and speech-based intelligent traditional Chinese medicine assisted diagnosis based on deep learning[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2023: 50-51.
- [42] 赵文, 李书楠, 徐佳君, 等. 智能化中医辅助诊疗系统模型构建[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(5): 2421-2424.
ZHAO W, LI S N, XU J J, et al. Construction of intelligent TCM aided diagnosis and treatment system model[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2020, 35(5): 2421-2424.
- [43] 孙晨飞, 唐心意, 石萍, 等. 国内外按摩机器人研究进展及关键技术分析[J]. 生物医学工程研究, 2024, 43(2): 166-174.
SUN C F, TANG X Y, SHI P, et al. Research progress and key technology analysis of massage robot at home and abroad[J]. J Biomed Eng Res, 2024, 43(2): 166-174.
- [44] 武欣, 巩斌, 杨皓, 等. 基于视觉引导的推拿机器人设计与实现[J]. 上海工程技术大学学报, 2024, 38(1): 57-62.
WU X, GONG B, YANG H, et al. Design and implementation of massage robot based on visual guidance[J]. J Shanghai Univ Eng Sci, 2024, 38(1): 57-62.
- [45] 马蓓蓓, 胡志刚, 时鹏, 等. 艾灸机器人系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2024, 50(2): 214-223.
MA B B, HU Z G, SHI P, et al. Design and implementation of moxibustion robot system[J]. Comput Eng, 2024, 50(2): 214-223.
- [46] 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 G Z, GUO S Q, PANG H X, 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.
- [47] 马捷, 李洪晨, 胡漠, 等. 基于 CART 算法的医疗隐性知识挖掘研究: 以中医医案为例[J]. 情报科学, 2021, 39(6): 84-91.
MA J, LI H C, HU M, et al. Research on medical tacit knowledge mining based on CART algorithm—Taking traditional Chinese medicine cases as an example[J]. Inf Sci, 2021, 39(6): 84-91.
- [48] 母慧娟, 王一川. 人工智能在中药新药质量评价中的应用与思考[J]. 中国药事, 2024, 38(6): 644-652.
MU H J, WANG Y C. Application and reflection of artificial intelligence in quality evaluation of new traditional Chinese medicine[J]. Chin Pharm Aff, 2024, 38(6): 644-652.
- [49] 苏凯奇, 高静, 李洁莹, 等. 基于古今医案云平台分析针刺治疗中风后认知障碍选穴规律[J]. 中国针灸, 2022, 42(1): 99-103.
SU K Q, GAO J, LI J Y, et al. Acupoint selection rules of post-stroke cognitive impairment treated with acupuncture based on

- ancient and modern medical record cloud platform[J]. *Chin Acupunct Moxibustion*, 2022, 42(1): 99-103.
- [50] 谷晓红, 于河. 名老中医经验传承与创新的问题及策略[J]. *北京中医药大学学报*, 2022, 45(9): 919-924.
GU X H, YU H. Challenges and coping strategies in the inheritance and innovation of experience of prestigious senior TCM experts[J]. *J Beijing Univ Tradit Chin Med*, 2022, 45(9): 919-924.
- [51] 谷鑫. 远程临床实训系统教学模式在中医学中的应用[J]. *中国中医药现代远程教育*, 2023, 21(9): 168-170.
GU X. The application of remote clinical training system in diagnosis of traditional Chinese medicine[J]. *Chin Med Mod Distance Educ China*, 2023, 21(9): 168-170.
- [52] 阚红星, 高红磊, 陈光恩, 等. 中医针灸教学模式及仿真训练系统的研究进展[J]. *医疗卫生装备*, 2020, 41(5): 99-103.
KAN H X, GAO H L, CHEN G E, et al. Research progress of Chinese acupuncture teaching model and simulation training system[J]. *Chin Med Equip J*, 2020, 41(5): 99-103.
- [53] 司富春, 高燕, 宋雪杰. 加快推进中医药健康医疗大数据的开发与应用[J]. *中医研究*, 2018, 31(12): 1-3.
SI F C, GAO Y, SONG X J. Quicken the development and application of TCM healthcare big data[J]. *Tradit Chin Med Res*, 2018, 31(12): 1-3.
- [54] 朱瑾, 于茜. 基于数据生命周期模型探讨中医药临床研究数据管理研究[J]. *现代医药卫生*, 2022, 38(17): 3037-3040.
ZHU J, YU Q. Discussion on data management of clinical research of traditional Chinese medicine based on data life cycle model[J]. *J Mod Med Health*, 2022, 38(17): 3037-3040.
- [55] 周彩丽. 医疗健康大数据在中医院慢病管理中的实践效果[J]. *中医药管理杂志*, 2023, 31(7): 133-135.
ZHOU C L. Practical effect of medical health big data in chronic disease management of traditional Chinese medicine hospital[J]. *J Tradit Chin Med Manag*, 2023, 31(7): 133-135.
- [56] 代佳晴, 姜宇轩, 胡婧婧, 等. 人工智能在中医药中的发展现状与伦理挑战[J/OL]. *中国医学伦理学*. <https://link.cnki.net/urlid/61.1203.R.20240914.0927.004>.
DAI J Q, JIANG Y X, HU J N, et al. Current development and ethical challenges of artificial intelligence in traditional Chinese medicine[J/OL]. *China Med Ethics*. <https://link.cnki.net/urlid/61.1203.R.20240914.0927.004>.
- [57] ZHU L X, MOU W M, LAI Y C, et al. Language and cultural bias in AI: Comparing the performance of large language models developed in different countries on traditional Chinese medicine highlights the need for localized models[J]. *J Transl Med*, 2024, 22(1): 319.
- [58] HUA R, DONG X, WEI Y, et al. Lingdan: Enhancing encoding of traditional Chinese medicine knowledge for clinical reasoning tasks with large language models[J]. *J Am Med Inform Assoc*, 2024, 31(9): 2019-2029.
- [59] 王冬丽, 杨珊, 欧阳万里, 等. 人工智能可解释性: 发展与应用[J]. *计算机科学*, 2023, 50(增刊1): 19-25.
WANG D L, YANG S, OUYANG W L, et al. Interpretability of artificial intelligence: Development and application[J]. *Comput Sci*, 2023, 50(Suppl 1): 19-25.
- [60] 廖勇, 韩小金, 刘金林, 等. 可解释性人工智能研究进展[J/OL]. *计算机工程*. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0069925>.
LIAO Y, HAN X J, LIU J L, et al. Research progress on explainable artificial intelligence[J/OL]. *Comput Eng*. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0069925>.
- [61] 孙宇衡, 王雨轩, 魏东升, 等. 基于数字孪生技术的中医智能辅助诊疗系统构建研究[J]. *中华中医药学刊*, 2024, 42(9): 18-22.
SUN Y H, WANG Y X, WEI D S, et al. Construction of intelligent assisted diagnosis and treatment system for traditional Chinese medicine based on digital twin technology[J]. *Chin Arch Tradit Chin Med*, 2024, 42(9): 18-22.
- [62] 李红岩, 郎许锋, 李灿, 等. 基于数字孪生技术的智慧医疗现状分析与中医诊疗模式探讨[J]. *软件导刊*, 2023, 22(9): 45-51.
LI H Y, LANG X F, LI C, et al. Analysis of current status of smart healthcare and exploration of traditional Chinese medicine diagnosis and treatment mode based on digital twin technology[J]. *Softw Guide*, 2023, 22(9): 45-51.
- [63] 顾晓松. 人工智能与脑机接口[J]. *中国经济报告*, 2024(4): 135-138.
GU X S. Artificial intelligence and brain-computer interface[J]. *China Policy Rev*, 2024(4): 135-138.
- [64] FENG J F, JIRSA V, LU W L. Human brain computing and brain-inspired intelligence[J]. *Natl Sci Rev*, 2024, 11(5): nwa144.
- [65] HU B, GUAN Z H, CHEN G, et al. Neuro science and network dynamics toward brain-inspired intelligence[J]. *IEEE Trans Cybern*, 2022, 52(10): 10214-10227.
- [66] 李芳潇, 梁可, 郑冰元, 等. 智慧中医的应用与思考[J]. *中国中医药现代远程教育*, 2024, 22(19): 91-93.
LI F X, LIANG K, ZHENG B Y, et al. The application and thinking of artificial intelligent traditional Chinese medicine[J]. *Chin Med Mod Distance Educ China*, 2024, 22(19): 91-93.
- [67] 陈丽丽, 刘彤, 王海丽, 等. 基于腧穴配伍协同效应探讨针刺治疗消化系统疾病的作用机理[J]. *针灸临床杂志*, 2022, 38(7): 98-101.
CHEN L L, LIU T, WANG H L, et al. Mechanism of acupuncture in treating digestive system diseases based on acupoint combination synergy[J]. *J Acupunct Clin*, 2022, 38(7): 98-101.
- [68] 郭义. 中医药标准化导论[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2021.
GUO Y. Introduction to standardization of traditional Chinese medicine[M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine, 2021.
- [69] 林静怡, 李诗翻, 郭义, 等. 人工智能助力中医药发展现状、问题及建议[J]. *世界中医药*, 2022, 17(6): 864-867.
LIN J Y, LI S P, GUO Y, et al. Current situation, problems, and suggestions of development of traditional Chinese medicine assisted with artificial intelligence[J]. *World Chin Med*, 2022, 17(6): 864-867.
- [70] 崔健, 刘晓红, 宋鲁成. 肿瘤脉象及其客观化研究探析[J]. *中华中医药杂志*, 2022, 37(12): 7450-7454.
CUI J, LIU X H, SONG L C. Research on tumor pulse and its objectification[J]. *Chin J Tradit Chin Med*, 2022, 37(12): 7450-7454.
- [71] 张虹岩, 刘慧慧, 宋晶, 等. 针刺手法量化以及仿真应用的研究进展[J]. *上海针灸杂志*, 2022, 41(5): 528-534.
ZHANG H Y, LIU J H, SONG J, et al. Research progress on quantification and simulation application of acupuncture manipulation[J]. *Shanghai J Acupunct Moxibustion*, 2022, 41(5): 528-534.
- [72] 周友龙, 苏程果, 刘守芳, 等. 针刺肺经对大脑自发神经活动低频振荡振幅的影响[J]. *中国中西医结合杂志*, 2016, 36(5): 553-558.
ZHOU Y L, SU C G, LIU S F, et al. Amplitude changes of low frequency fluctuation in brain spontaneous nervous activities induced by needling at hand Taiyin lung channel[J]. *Chin J Integr Tradit West Med*, 2016, 36(5): 553-558.
- [73] 廖颖, 蒋晶, 熊坚, 等. 虚拟现实技术在针灸领域应用现状与热点分析[J]. *中医康复*, 2024, 15(3): 49-54.
LIAO Y, JIANG J, XIONG J, et al. Analysis of the current situation and hotspots of the application of virtual reality technology in the field of acupuncture[J]. *Tradit Chin Med Rehabil*, 2024, 15(3): 49-54.
- [74] 杨菁颖, 谢玉芳, 张磊昌, 等. 中医人工智能技术的现状与未来[J]. *江西中医药*, 2024, 55(10): 69-72.
YANG J Y, XIE Y F, ZHANG L C, et al. The current status and future of artificial intelligence technology in Chinese medicine[J]. *Jiangxi J Tradit Chin Med*, 2024, 55(10): 69-72.
- [75] 杨晓帆, 马钰鹏, 徐颖, 等. ChatGPT人工智能技术在中医教

- 育教学中的应用[J]. 中医教育, 2023, 42(6): 23-27.
- YANG X F, MA Y P, XU Y, et al. Application of ChatGPT in traditional Chinese medicine education [J]. Educ Chin Med, 2023, 42(6): 23-27.
- [76] 刘丽静. 基于人工智能的中医健康管理体的构建及运行机制研究[D]. 福州: 福建中医药大学, 2022: 7.
- LIU L J. Research on the construction and operation mechanism of TCM health management system based on artificial intelligence [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2022: 7.
- [77] 吴泳蓉, 兰红勤, 孙贵香, 等. “治未病”理念贯穿全生命周期健康管理的运用与思考[J]. 中华养生保健, 2024(10): 65-69.
- WU Y R, LAN H Q, SUN G X, et al. The concept of “preventive treatment of disease” through the application and thinking of health management in the whole life cycle[J]. Chin Health Care, 2024(10): 65-69.
- [78] 沈珍妮, 陈晓静, 邹允艳, 等. 大健康背景下中医健康管理对患者临床管理的影响[J]. 中医药管理杂志, 2024, 32(7): 134-136.
- SHEN Z N, CHEN X J, ZOU Y Y, et al. Influence of TCM health management on patients' clinical management under the background of great health[J]. J Tradit Chin Med Manag, 2024, 32(7): 134-136.
- [79] 肖颖馥, 张冀东, 曹森, 等. 新医学模式下 5G 在中医治未病服务中的应用与探索[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2022, 24(8): 2892-2897.
- XIAO Y F, ZHANG J D, CAO M, et al. Application and exploration of 5G network technology combined with TCM preventing disease service under new medical model[J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2022, 24(8): 2892-2897.
- [80] 杨启城, 陈菊, 杨涛, 等. 基于物联网的中医居家健康系统搭建[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2023, 25(5): 1597-1607.
- YANG Q C, CHEN J, YANG T, et al. Construction of TCM home health system based on Internet of Things[J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2023, 25(5): 1597-1607.
- [81] 林瑞华, 张雨恬, 王学成, 等. 基于互联网模式下的中医药个体化智慧诊疗服务模式研究[J]. 中草药, 2022, 53(13): 4223-4232.
- LIN R H, ZHANG Y T, WANG X C, et al. Research on individualized intelligent diagnosis and treatment service mode of traditional Chinese medicine based on Internet mode[J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2022, 53(13): 4223-4232.
- [82] 陈淑娇, 李灿东. 论大健康背景下的中国特色的中医健康管理模式[J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(11): 4789-4792.
- CHEN S J, LI C D. Health management model of traditional Chinese medicine with Chinese characteristics based on the great health[J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2017, 32(11): 4789-4792.
- [83] 张晓燕, 屠立平, 王瑞, 等. 知识图谱支持中医临床决策辅助应用进展[J]. 中国中医基础医学杂志, 2024, 30(5): 914-917.
- ZHANG X Y, TU L P, WANG R, et al. Progress in application of knowledge graph support for clinical decision-making assistance in traditional Chinese medicine [J]. J Basic Chin Med, 2024, 30(5): 914-917.
- [84] WU P, LI J, YAN H X, et al. Status and prospect of international standardization of TCM diagnosis [J]. Pharmacol Res, 2021, 171: 1-5.
- [85] 宋勇刚, 邹小伟. 基于数据与模型驱动的数字中医药发展研究[J]. 时珍国医国药, 2024, 35(11): 2639-2642.
- SONG Y G, ZOU X W. Research on the development of digital Chinese medicine based on data and model-driven [J]. J Tradit Chin Med, 2024, 35(11): 2639-2642.
- [86] 赵敏, 冯懿, 王梦爽, 等. 我国中医药标准化建设大数据报告[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(11): 2804-2807.
- ZHAO M, FENG Y, WANG M S, et al. Big data report on standardization construction of Chinese medicine in China [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2023, 34(11): 2804-2807.
- [87] 杨青, 黄壮壮, 许刚, 等. 人工智能在中药研究中的应用进展[J]. 中成药, 2024, 46(10): 3529-3532.
- YANG Q, HUANG Z Z, XU G, et al. Application progress of artificial intelligence in traditional Chinese medicine research [J]. Chin Tradit Pat Med, 2024, 46(10): 3529-3532.
- [88] 谢磊, 张敏, 万江帆, 等. 新质生产力赋能中药新药临床研究: 现状、问题与展望[J]. 中国现代中药, 2024, 26(10): 1627-1638.
- XIE L, ZHANG M, WAN J F, et al. Empowering clinical research on new drugs from traditional Chinese medicine with new quality productive forces: Status, challenges, and prospects [J]. Mod Chin Med, 2024, 26(10): 1627-1638.
- [89] 程京, 李勤, 李航, 等. 中医智能装备研究进展与思考[J]. 广西医科大学学报, 2023, 40(4): 523-532.
- CHENG J, LI M, LI H, et al. Research progress and reflections on intelligent Traditional Chinese Medicine equipment [J]. J Guangxi Med Univ, 2023, 40(4): 523-532.
- [90] 罗基, 王雪颖, 张佳妮, 等. 中医智能诊断装备研究现状及发展趋势探讨[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(10): 5386-5389.
- LUO J, WANG X Y, ZHANG J N, et al. Review of the research status and development trend of intelligent diagnostic devices of traditional Chinese medicine [J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2024, 39(10): 5386-5389.

(编辑: 叶亮)