

· 专家论坛 ·



许家佗 上海中医药大学基础医学院院长，教授，博士生导师。从事中医诊断学一线教学 20 余年，跨学科从事中医诊断技术现代化研究。分别在浙江大学、复旦大学和清华大学从事博士、博士后和访问学者研究工作，2013—2014 年为美国密苏里大学计算机系高级访问学者。被评为上海市“曙光”学者、上海市青年科技启明星、上海市优秀青年教师，是费兆馥名医工作室、名师研究室负责人。兼任中华中医药学会中医诊断分会副主任委员，中华中医药学会精准医学分会副主任委员，中国中西医结合学会诊断专业委员会副主任委员，中国中医药信息学会中医诊断分会副主任委员，世界中医药学会联合会舌象研究专业委员会副主任委员，中医药健康大数据产业技术创新战略联盟专家委员会委员，中国科协第 212、243 次青年科学家论坛执行主席；《环球中医药》杂志编委。近 10 年在中医诊断技术信息化研究领域共承担国家高技术研究发展计划（“863”计划；课题组长）、国家“十二五”科技支撑计划（课题负责人）、“十三五”国家重点研发计划（项目负责人）及国家自然科学基金等国家级项目 9 项；公开发表研究论文 140 余篇，其中 EI 或 SCI 收录论文 25 篇；专利、软件著作权 21 项；主编、副主编学术专著 5 部。作为第 1 负责人获中国中西医结合学会科学技术奖二等奖、上海市科技进步奖三等奖、上海市中西医结合科学技术奖三等奖等奖项 5 项。

DOI: 10.16781/j.0258-879x.2018.08.0846

人工智能背景下中医诊疗技术的应用与展望

崔 骥，许家佗*

上海中医药大学基础医学院，上海 201203

[摘要] 中医诊疗技术现代化必须借助现代科学技术的发展。以中医辨证论治理论为核心、现代中医诊断技术为支持，借助人工智能技术将文献数据的中医诊疗决策内容信息化、智能化。通过病证临床诊断、治疗、疗效评价决策方法，病证诊疗结合、中西医数据汇通，建立现代中医诊断技术与中医智能诊疗系统，建立符合中医自身特点的诊疗技术体系，最大限度发挥人机结合优势，最终建立具有辨证论治内涵的智能中医诊疗决策系统，为中医临床诊疗提供智能决策辅助支持，探索创新中医病证诊疗模式。同时，中医诊疗技术智能化研究也将进一步促进中医诊疗规律的提升和总结，加速中医诊疗技术跨越发展，解决中医诊疗模式现代化发展的主要问题，推动中医现代化发展。本文就目前中医诊疗技术与人工智能技术结合的现状与趋势作一阐述。

[关键词] 人工智能；大数据；中国传统医学；诊断；治疗；四诊信息

[中图分类号] R 2-03 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2018)08-0846-06

Diagnosis and treatment technologies of traditional Chinese medicine: application and prospect in context of artificial intelligence

CUI Ji, XU Jia-tuo*

Basic Medical College, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China

[Abstract] The modernization of traditional Chinese medicine (TCM) diagnosis and treatment technology relies on the development of modern science and technology. Based on the TCM theory of syndrome differentiation and treatment, supported by modern diagnostic technology of TCM, the data-based TCM diagnosis and treatment are informationized and

[收稿日期] 2018-07-03 **[接受日期]** 2018-07-24

[基金项目] 国家重点研发计划(2017YFC1703300, 2017YFC1703301), 国家自然科学基金(81373556), 上海市卫生计生委中医药科技创新项目(ZYKC201602003). Supported by National Key Research and Development Plan (2017YFC1703300, 2017YFC1703301), National Natural Science Foundation of China (81373556), Shanghai Municipal Commission of Health and Family Planning for Traditional Chinese Medicine (TCM) Science and Technology Innovation Project (ZYKC201602003).

[作者简介] 崔 骥，博士，讲师。E-mail: maatcui@163.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-51322124, E-mail: jiatusu@fudan.edu.cn

intelligentized with the aid of artificial intelligence technology. Meanwhile, through the research on the diagnosis, treatment, and efficacy evaluation of TCM syndromes and disease, by combining the disease with TCM syndrome on diagnosis-treatment and by exchanging the data of TCM and western medicine, modern diagnostic technology and intelligent diagnosis-treatment system with the characteristics of TCM can be established, which can maximize the advantages of human-computer cooperation. Finally, an intelligent TCM diagnosis and treatment decision-making system with the connotation of syndrome differentiation is established to provide intelligent decision for TCM in clinic and to explore the innovative diagnosis-treatment mode of TCM diseases and syndromes. At the same time, the research of intelligent TCM diagnosis and treatment technology will also promote the rule of TCM diagnosis and treatment, accelerate the leap-forward development of TCM diagnosis and treatment technology, solve the main problems of the modernization of TCM diagnosis and treatment, and promote the modernization of TCM. In this paper, we summarized the current status and trends of the combination of TCM diagnosis and treatment and artificial intelligence technology.

[Key words] artificial intelligence; big data; traditional Chinese medicine; diagnosis; therapy; four diagnostic information

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2018, 39(8): 846-851]

中医学在医学领域具有丰富的实践经验、技术和理论, 因此形成了中医特定的“形神合一”“整体审查”“四诊合参”等整体观和辨证论治, 使中医学在诊疗的评价研究中更具特色和可行性^[1]。辨证论治是中医临床诊疗的核心, 其理论体系经过中医数千年的临床实践与检验, 充分体现了中医学理论的独特性和实践的有效性, 也是中医学有别于现代医学诊疗体系的特色和优势^[2]。这种以“诊法—辨证—治疗”为核心的诊疗理论体系和大量的经验数据成为中医研究和发展的关键资源。传统中医主要通过整体、动态、个性化了解身体状态来诊断疾病的理念超前, 然而方法却依赖于经验, 使其巨大潜力未能充分发挥, 导致这一状况的关键在于缺乏实现这种先进理念和方法的技术手段^[3]。随着中医现代化和国际化的发展, 传统中医的价值已逐步被国际社会认可, 利用现代先进的智能信息技术解决中医诊疗过程中的技术标准化和数据化等关键问题, 深入挖掘中医诊疗技术的科学内涵, 进一步提升中医诊疗模式的科学性和有效性, 借助信息科学等多学科技术推动中医学的发展已成为中医及相关学科领域研究的重要课题^[4-5]。

人工智能 (artificial intelligence) 作为计算机科学的一个重要分支, 经过 60 多年的发展已经奠定了重要的理论基础, 并取得了诸多进展^[6]。特别是在深度学习理论指导下的以 AlphaGo 为代表的人工智能技术的成功应用, 更凸显了人工智能领域中人工神经网络 (artificial neural network, ANN) 将学习和训练融合来实现智能化的优势。人工智

能技术的发展为医学发展提供了全新的契机, 在现代医疗健康领域应用广泛^[7-8]。大数据是人工智能技术的基石, 是决定人工智能技术能否有效输出的重要输入口。大数据有其特殊性, 即数据即时处理的速度、数据格式的多样化与数据量的规模^[9]。同时价值性^[10]及真实性等的提出说明只有保证数据的科学性和有效性, 才能使人工智能真正从狭义定义成为可以媲美人类思维、智能、意识的通用人工智能^[4]。

医学诊疗过程是一个典型的智能处理过程, 其包括信息获取—分析—处理—反馈—评价—综合的思维全过程, 而中医诊疗过程是以中医辨证思维为指导的智能化处理过程, 也是一个典型的人工智能技术应用领域。因此, 将人工智能技术运用于中医诊疗可以促进中医诊疗技术的跨越发展, 解决中医诊疗现代发展的主要问题。基于此, 本文梳理了目前中医诊疗技术与人工智能技术结合的现状与趋势, 并进行阐述。

1 基于文献数据的中医诊疗决策智能化研究

中医文献和临床医案是中医学学术思想和临床经验的重要载体, 对其海量信息进行归纳和整理是近年来中医临床经验传承的重要方法。面向全新的科技时代, 利用海量的案例数据建立中医临床病症诊疗决策支持系统是目前值得关注的领域; 通过对文献和案例的学习来深化、拓展临床思维与视野, 然后采用智能算法进行自我学习, 从而为中医诊疗提供智能信息支持^[11]。

目前中医文献、医案中研究较多的是利用聚类 (clustering)、关联规则 (association rule, AR)、决策树 (decision tree, DT)、无尺度网络 (scale-free network, SN)、粗糙集理论 (rough set theory, RST) 等数据挖掘技术从复杂症状中提取、归纳中医证型, 分析症状与症状、症状与方药、症状与证型、证型与方药、方药与方药等之间潜在的关联规则。从数量庞大的方药中发现药物配伍规律及潜在药物、核心药物、核心处方等不仅可为临床医师提供诊疗策略, 模拟中医思维方法和处方生成过程, 而且对中医理论的创新发展及其客观化、规范化研究具有重要的推动作用^[12-13]。许多学者在中医文献、医案中对“病—证—药”之间的规律挖掘进行了大量研究, 如采用中医处方智能分析系统对《伤寒论》中 112 张方剂的知识点进行研究, 分析各方剂的君、臣、佐、使, 总结各方剂的气、味、归经规律及辨证处方规律, 探讨主症与方证之间的关系^[14]。此外, 基于临床病案文献数据进行糖尿病证候聚类分析, 基于心血管疾病血瘀证案例采用关联规则对药物配伍、药—病、药—证关系进行对应分析, 以及开展糖尿病性周围神经病变组方诊治规律、药物使用频次等研究, 均显示较好的支持结果^[15-16]。

基于文献数据挖掘的诊疗系统研究也有很多建设性成果。北京交通大学研究人员提出了临床数据仓库 (clinical data warehouse, CDW) 系统, 该系统整合了结构化的电子医疗档案, 通过支持向量机、DT 分析、贝叶斯网络等多种分类算法, 使用监督学习的方法从大量无固定结构的中医诊断文本中对症候进行学习, 从而实现病症的经验推理^[17-18]。清华大学研究团队摒弃了从单一诊断语句和诊断文档中抽取关联关系的方法, 他们基于大规模中医诊断语料库, 以网络挖掘的视角构造异构实体网络, 首次提出了 HFGM (heterogeneous factor graph mode) 模型, 并使用半监督学习的方法评估 HFGM 模型的参数; 通过超过 10 万份中医诊断书的数据集验证, 发现 HFGM 模型的平均准确度比支持向量机算法提升了 11.09%^[19]。董国华^[20]研究了数据挖掘方法在哮喘病案数据分析中的应用, 他采用一种粗糙集属性约简算法 (MIBARK 算法) 提取哮喘主症状, 建立病案数据库, 从而获得中药配伍规律、用药与症状的关联关系, 进而寻找

症—证间的匹配规律, 建立中医病案数据挖掘系统。总之, 以证—药的规律挖掘为目的的中医文献数据挖掘方法具有良好的研究基础, 为进一步研发中医智能化诊疗决策支持系统提供了重要支持。

2 现代中医诊断技术与中医智能诊疗系统研究

现代信息技术的发展为中医诊断手段的发展带来新的契机, 随着中医传统诊断方法现代化研究的深入, 脉诊仪、舌诊仪、色诊仪、闻诊仪、经络仪等已成为新兴的现代中医诊断技术。现代中医诊断技术是传统中医诊断方法的发展和延续, 逐步实现了中医诊断技术的信息化、数字化、标准化, 也逐渐突破了中医诊断方法主观性强、缺乏客观数据的瓶颈, 为人工智能技术的应用奠定了坚实的数据基础。以现代中医诊断技术及其数据为支撑, 以中医辨证思维为核心的智能中医病证诊疗研究已逐渐展开^[21]。

2.1 国内外四诊的技术化、仪器化研究

20 世纪 70 年代国内就开始了中医脉诊、舌诊等诊法客观化、仪器化的研究, 为诊断技术信息化应用奠定了重要基础。传统的中医四诊多依赖主观感觉, 缺乏客观依据, 现代中医诊断技术正在逐渐改变传统中医诊疗的主观依赖性, 提升中医诊法客观化。将传统中医诊断方法, 尤其是脉诊、舌诊等具有中医特色的诊断方法标准化必将促进中医诊疗模式向更科学的方向发展。目前, 国内高校和科研单位已在中医诊法技术化、仪器化研究领域进行了大量富有成效的基础性研究, 内容包括: (1) 四诊信息的客观化、标准化表达。将传统中医用语言描述的表达方式归类为定量化、标准化的客观表达方式, 如脉象的“位、数、形、势”量化表达方式, 舌诊、面色中颜色量化的正确表达方式, 问诊系统症状的量化表达方式等^[22]。(2) 四诊特征信息的提取及分析方法的研究。利用现代计算机技术 (神经网络、贝叶斯网络等)、数学建模, 以及图像分析、声音频谱分析等技术研究脉象信号、舌象信息、问诊、闻诊等特征信息的获取、识别和判读方法等; 在面色、脉象、舌象等信息采集上也逐渐形成规范^[16,23-24]。(3) 仪器设备的研发与应用。利用现代科技研发适合脉象、舌象、面色诊、闻诊 (包括声音、气味) 等四诊信息检测的传感器和检测仪器, 并开展四诊信息融合的研究, 开展仪器设

备的临床观察与应用^[22,25]。目前已有中医诊断仪器设备进入临床应用,如2010年上海中医药大学与公司合作研发的四诊信息分析仪被列入俄罗斯火星-500(MARS500)研究计划,用于监测和分析模拟条件下宇航员的身体健康状态^[26-27]。此外,在国家“863”计划、“十二五”科技支撑计划、“十三五”重点研发计划的支持下,上海中医药大学研究团队对舌面诊和脉诊采集设备与技术的研究取得进一步提升和发展,并深入开展四诊技术在健康辨识和诊断领域中的应用研究^[28-31]。综上所述,基于人工智能技术的飞速发展,目前在中医诊断领域,以舌诊、脉诊、色诊为代表的四诊客观化技术逐渐成熟,形成了舌诊仪、脉诊仪、色诊仪等多种中医诊断仪器,中医现代诊疗技术在健康、疾病、中医证候等领域也取得良好进展。

2.2 四诊信息技术在病证诊断和疗效评价中的应用 现代中医诊断技术为辨证论治的疗效评价提供了技术手段,其在面色、舌质、舌苔、语音、脉搏等症候信息方面实现客观数据化,在问诊主观症状方面实现规范化和量化^[21]。以四诊信息客观量化、信息化为前提,应用中医特色客观量化指标,针对临床病证诊断、疗效分析评价等建立具有中医特色的现代诊疗和疗效评价方法已经可行,许多尝试性研究也逐渐显示出特色和优势。

2005年中国中医科学院推动了“中医优势病种临床研究专项”研究,以中医治疗有优势的疾病或疾病某一阶段的临床研究为重点开展中医治疗心血管疾病、肿瘤、糖尿病等临床研究。四诊信息化研究尤其是舌诊、脉诊在常见慢性优势病种的疾病诊断、疗效评价方面已取得一定的成果。在疾病诊断分类方面,Zhang等^[32]通过标准舌象图像提取特征参数并建立基于支持向量机算法的糖尿病诊断模型,结果显示通过机器学习的方法能得到较好的分类准确率,为糖尿病诊断提供了思路。Li等^[33]对205例冠心病患者的脉搏波信号进行了研究,脉冲信号分别使用Hilbert-Huang变换和时域进行分析和提取,发现所得脉冲信号的时域参数h1、h3、h4、h3/h1等与对照组比较差异均有统计学意义。此外,有学者发现肿瘤患者的舌脉象具有特异性表现,且患者的舌脉参数与肿瘤指标有关^[34-35]。在证型诊断分类方面,师晶丽等^[36]观察了原发性肾小球疾病患者在气虚、阳虚、阴虚、

气阴两虚4种证型下的舌苔和舌质,通过聚类得到舌象颜色的色彩空间分布,并采用最近邻聚类算法获得每个舌象的颜色分布。许文杰等^[37]采集了528例冠心病患者的中医脉图信息,基于支持向量机算法分别应用脉象信号时域特征参数和递归定量分析特征参数并结合问诊、望诊参数建立了冠心病证候诊断模型。在疗效评价方面,崔龙涛等^[38]和崔骥等^[39]观察了亚健康状态大学生不同证型在中药干预前后舌象、脉象客观量化指标的变化,为中医客观诊断和亚健康的疗效评价提供了依据。燕海霞等^[40]观察了经中西医结合治疗前后50例肺癌患者的舌脉象参数变化,结果显示治疗后患者的舌苔润燥指数升高、腐腻指数升高、厚薄指数降低、裂纹指数升高,提示舌象客观检测参数可作为中西医结合治疗肺癌临床疗效评价的参考指标之一。Chen等^[41]通过舌诊仪、脉诊仪等四诊辅助设备,判断肝癌患者与健康人群之间的舌脉差异,结果显示四诊辅助设备可以作为判断人体健康状态与疾病的仪器装置,且四诊仪器可以提升疾病诊断和中医标准化的准确性和速度。Li等^[42]采用计算机辅助分类方法提取口唇图像中的3种特征,应用支持向量机算法进行分类,为中医口唇部诊断的定量检测提供了方法与思路。

3 人工智能技术在中医诊疗领域中的应用

人工智能技术是现代信息技术领域快速发展起来的技术方法,目前其在数据分类、医学诊断、智能计算等领域已取得显著成就^[43]。中医诊疗决策支持系统是利用上述数据挖掘方法,从大量的中医四诊数据库中抽取隐含、未知、有意义的与诊断分类、证候分类有关的知识模型或分类规则。中医信息化系统在临床辅助诊断、远程医疗、个人健康管理等方面具有广阔的前景,中医智能化决策系统的需求也越来越明显。中医诊疗决策支持系统是一门集中医诊断学、计算机科学、管理科学等为一体的新兴研究方向,它的发展与相关学科发展密不可分^[44]。因此,中医临床诊断与专家系统相结合成为中医现代化发展中更具挑战性的方向。一批人工智能领域的专家已经致力于中医智能诊疗决策支持系统的研究,并与中医药领域研究人员紧密合作开展了大量辨证智能分析研究,取得了很多研究经验^[45]。以周昌乐教授为代表的学者们在人工智能

领域提出了一系列中医诊疗智能化研究和实施方案^[46],尤其是利用软计算理论辅以四诊数据化技术探索解决中医辨证逻辑形式化这一关键问题,为今后中医智能化诊疗技术发展奠定了重要基础。

4 问题与展望

尽管人工智能技术在中医诊疗领域的应用已经有很多卓有成效的探索工作,但不难发现既往研究主要以理论层面为主,计算机系统主要作为存储数据、融合信息和可视化工具,而非真正实现智能化决策支持。具体原因在于:(1)四诊辨证自身技术的规范化和数据化问题,四诊数据的支持性不够,主观性太强的四诊症状信息在数据稳定性、可重复性、纯净性上均存在很大问题,没有实现真正意义上的数据化。(2)缺乏与临床实践兼顾的理论模型指导“决策支持”;(3)缺乏设计完善、病证结合的临床大样本数据的支撑。以四诊信息技术数据化为前提,结合现代医学临床数据,在病证共性的前提下以数据融合为基础、人工智能技术为核心,有效扩大中医辨证论治的数据依据,则有望建立集诊断、治疗、疗效评价为一体的智能化辨证论治方法体系。

随着人工智能、大数据等信息技术的发展,这一新的诊疗模式探索已经可行。应用人工智能技术将中医药大量理法方药数据进行智能化处理,为中医临床诊断提供决策支持,可以最大限度发挥人机结合优势。因此,以中医辨证论治理论为核心、现代中医诊断技术为支持,借助系统科学和人工智能技术,病证诊疗结合、中西数据汇通,通过病证临床诊断、治疗、疗效评价决策方法的研究,最终建立具有辨证论治内涵的智能中医诊疗决策系统,可为中医临床诊断提供智能决策辅助支持,进一步促进中医诊疗规律的提升和总结,推动中医现代化发展。

[参考文献]

[1] 许家佗. 基于四诊信息决策支持的中医健康评价体系研究述评与展望[J]. 中国中西医结合杂志,2012,32:307-310.
 [2] 张志斌,王永炎. 辨证方法新体系的建立[J]. 北京中医药大学学报,2005,28:1-3.
 [3] 罗朝淑. 大数据:为中医药发展带来“大价值”[N]. 科技日报,2013-09-12(9).

[4] 张德政,哈爽,刘欣,谢永红. 中医药领域人工智能的研究与发展[J]. 情报工程,2018,4:13-23.
 [5] 周昌乐,张志枫. 智能中医诊断信息处理技术研究进展与展望[J]. 中西医结合学报,2006,4:560-566.
 [6] 曾毅,刘成林,谭铁牛. 类脑智能研究的回顾与展望[J]. 计算机学报,2016,39:212-222.
 [7] 于观贞,刘西洋,张彦春,杨晶东,田建辉,朱明华. 人工智能在临床医学中的应用与思考[J]. 第二军医大学学报,2018,39:358-365.
 YU G Z, LIU X Y, ZHANG Y C, YANG J D, TIAN J H, ZHU M H. Artificial intelligence in clinical medicine: application and thinking[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2018, 39: 358-365.
 [8] 孔祥溢,王任直. 人工智能及在医疗领域的应用[J]. 医学信息杂志,2016,37:2-5.
 [9] LANEY D. 3-D data management: controlling data volume, velocity and variety[J/OL]. META Group Res, 2001, 6. <https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>.
 [10] GANTZ J, REINSEL D. Extracting value from chaos[J]. IDC iView, 2011: 1-12.
 [11] 陈全福,叶焕文,杨荣源,周赫. 基于案例库构建中医临床决策支持系统[J]. 广州中医药大学学报,2016, 33:585-587.
 [12] 郭燕周,马建伟. 数据挖掘技术在糖尿病中医证候及方药中的应用[J]. 解放军医药杂志,2015,27:34-38.
 [13] YAO L, ZHANG Y, WEI B, ZHANG W, JIN Z. A topic modeling approach for traditional Chinese medicine prescriptions[J]. IEEE Trans Knowl Data Eng, 2018, 30: 1007-1021.
 [14] 汤尔群,任廷革,陈明,刘晓峰,张帆,孙燕. 基于数据挖掘方法的《伤寒论》方证知识挖掘研究[J]. 中国中医药信息杂志,2012,19:31-34.
 [15] 汤伟昌. 双探头复合式中医脉象传感器的研究[J]. 中国医疗器械杂志,2000,24:16-19.
 [16] 许家佗,张志枫,费兆馥,宋贤杰,严竹娟,刘晓谷. 舌象数字图像采集条件的实验观测[J]. 中国中医基础医学杂志,2007,13:23-27.
 [17] ZHOU X, CHEN S, LIU B, ZHANG R, WANG Y, LI P, et al. Development of traditional Chinese medicine clinical data warehouse for medical knowledge discovery and decision support[J]. Artif Intell Med, 2010, 48(2/3): 139-152.
 [18] WANG H, LIU X, LÜ B, YANG F, HONG Y. Reliable multi-label learning via conformal predictor and random forest for syndrome differentiation of chronic fatigue in traditional Chinese medicine[J/OL]. PLoS One, 2014, 9: e99565. doi: 10.1371/journal.pone.0099565.
 [19] WAN H, MOENS M F, LUYTEN W, ZHOU X, MEI Q, LIU L, et al. Extracting relations from traditional Chinese medicine literature via heterogeneous entity networks[J].

- J Am Med Inform Assoc, 2016, 23: 356-365.
- [20] 董国华. 基于数据挖掘的中医诊断智能信息化技术研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2015.
- [21] 许家佗,屠立平,费兆馥. 现代中医诊断技术对亚健康评价的分析与展望[J]. 上海中医药杂志,2008,42:74-76.
- [22] 牛欣,杨学智,朱庆文,李海燕,马良宵,牛婷立,等. 中医四诊合参辅助诊断关键技术的数字化、量化研究[J]. 世界科学技术(中医药现代化),2011,13:64-69.
- [23] 许家佗,屠立平,邸智,陈园,陈清光,张利,等. 亚健康状态的四诊信息分析与辨证分类研究[J]. 北京中医药大学学报,2011,11:741-745.
- [24] CUI J, TU L P, ZHANG J F, ZHANG S L, ZHANG Z F, XU J T. Analysis of pulse signals based on array pulse volume[J/OL]. Chin J Integr Med, 2018. doi: 10.1007/s11655-018-2776-y. [Epub ahead of print].
- [25] 蔡轶珩,沈兰荪,刘长江. 新型中医舌象分析仪关键技术研究[J]. 电子学报,2006,34:713-716.
- [26] LI Y Z, LI G Z, GAO J Y, ZHANG Z F, FAN Q C, XU J T, et al. Syndrome differentiation analysis on Mars500 data of traditional Chinese medicine[J/OL]. ScientificWorldJournal, 2015, 2015: 125736. doi: 10.1155/2015/125736.
- [27] 李勇枝,李国正,高建义,张志枫,范全春,许家佗,等. Mars500 志愿者健康状态中医监测数据分析[J]. 计算机工程,2014,40:13-18.
- [28] QI Z, TU L P, CHEN J B, HU X J, XU J T, ZHANG Z F. The classification of tongue colors with standardized acquisition and ICC profile correction in traditional Chinese medicine[J/OL]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 3510807. doi: 10.1155/2016/3510807.
- [29] 张绍良,张建峰,许家佗,张志枫,屠立平,崔骥. 乳腺增生病的舌脉客观化研究(英文)[J]. 中华中医药杂志,2016,31:1684-1688.
- [30] TU L, XU J, ZHANG Z, YU B, BAO Y, CUI J, et al. A Shiatsu pulse sensor calibration method and application to three-part pulse wave collection[C]//2013 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM). IEEE, 2013: 254-255.
- [31] 崔骥,屠立平,张建峰,胡晓娟,黄景斌,王广丽,等. 1 720 例不同健康状态及年龄梯度人群脉图特征研究[J]. 上海中医药杂志,2018,52:15-23.
- [32] ZHANG J, XU J, HU X, CHEN Q, TU L, HUANG J, et al. Diagnostic method of diabetes based on support vector machine and tongue images[J/OL]. BioMed Res Int, 2017, 2017: 7961494. doi: 10.1155/2017/7961494.
- [33] LI F F, SUN R, XUE S, QIAN P, YAN H X, ZHANG W F, et al. Pulse signal analysis of patients with coronary heart diseases using Hilbert-Huang transformation and time-domain method[J]. Chin J Integr Med, 2015, 21: 355-360.
- [34] 徐刚,魏红,李凤珠,依秋霞. 90 例肿瘤患者中医脉诊信息特征研究[J]. 北京中医药大学学报,2016,39:259-264.
- [35] 程悦蕾,朱惠蓉. 大肠癌患者舌象的研究进展[J]. 时珍国医国药,2012,23:445-448.
- [36] 师晶丽,沈祥立,张大成,吴伟康,吴劲松. 舌诊客观化图像识别在原发性肾小球疾病辨证分型的研究[J]. 中国中医基础医学杂志,2009,15:120-122.
- [37] 许文杰,刘攀,燕海霞,郭睿,徐璘,夏春明,等. 528 例冠心病患者中医脉象非线性动力学特征在证候诊断模型中的应用[J]. 中华中医药杂志,2014,29:1661-1665.
- [38] 崔龙涛,邸智,于波,张敏,屠立平,张志枫,等. 大学生亚健康状态中药干预前后舌象分析[J]. 中国中医基础医学杂志,2012,18:1044-1046.
- [39] 崔骥,许家佗,邸智,屠立平,崔龙涛,陈清光,等. 大学生亚健康状态中药干预前后脉图分析[J]. 中华中医药杂志,2013,28:1564-1567.
- [40] 燕海霞,王忆勤,朱惠蓉,赵丽红,林慈斌,龚其森,等. 50 例肺癌患者中西医结合治疗后舌脉象参数的变化[J]. 中西医结合学报,2009,7:218-222.
- [41] CHEN T Y, NIU T L, NIU X, SI Y C, YANG X Z, MA L X. Application of traditional Chinese medicine four-diagnostic auxiliary apparatus in evaluation of health status and clinical treatment[J]. J Tradit Chin Med, 2018, 38: 447-451.
- [42] LI F, ZHAO C, XIA Z, WANG Y, ZHOU X, LI G Z. Computer-assisted lip diagnosis on traditional Chinese medicine using multi-class support vector machines[J]. BMC Complement Altern Med, 2012, 12: 127.
- [43] SALZBERG S L. Book review: C4. 5: programs for machine learning by J. Ross Quinlan Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1993[J]. Machine Learning, 1994, 16: 235-240.
- [44] 周昌乐,张志枫. 智能中医诊断信息处理技术研究进展与展望[J]. 中西医结合学报,2006,4:560-566.
- [45] 陈颖,马利庄,许家佗. 浅析中医辨证信息化研究现状[J]. 辽宁中医杂志,2009,36:486-488.
- [46] 周昌乐. 中医辨证的机器推演[M]. 北京:科学出版社,2009:306-317.