

中医四诊智能化研究现状及热点分析

李红岩¹, 李灿¹, 郎许锋¹, 杨涛¹, 周作建¹, 战丽彬²

(1. 南京中医药大学人工智能与信息技术学院, 江苏 南京 210023; 2. 辽宁中医药大学中医药创新工程技术中心, 辽宁 沈阳 110847)

摘要: 中医四诊作为中医诊断辨证的基本手段, 近年来在人工智能的赋能下进一步传承创新。汇总了近十年中医四诊智能化研究的中英文文献, 在此基础上分析其现状, 完成基于知识图谱的可视化分析, 并进一步对该领域的研究热点进行了深入探讨。最后, 结合已有的研究现状, 对中医四诊智能化的下一步发展提出思考和展望, 以期对该领域的研究提供参考和借鉴。

关键词: 中医四诊; 智能化; 研究现状; 研究热点; 可视化

中图分类号: R241.2 文献标志码: A 文章编号: 1672-0482(2022)02-0180-07

DOI: 10.14148/j.issn.1672-0482.2022.0180

引文格式: 李红岩, 李灿, 郎许锋, 等. 中医四诊智能化研究现状及热点分析[J]. 南京中医药大学学报, 2022, 38(2): 180-186.

Analysis of the Research Status and Hot Spot of Intelligent Four-Diagnosis in TCM

LI Hong-yan¹, LI Can¹, LANG Xu-feng¹, YANG Tao¹, ZHOU Zuo-jian¹, ZHAN Li-bin²

(1. School of Artificial Intelligence and Information Technology, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China; 2. Centre for Innovative Engineering Technology in Traditional Chinese Medicine, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110847, China)

ABSTRACT: As the basic means of traditional Chinese medicine (TCM) diagnosis and syndrome differentiation, the four-diagnosis of TCM has been further inherited and innovated under the empowerment of artificial intelligence in recent years. In this paper, we summarized the Chinese and English literature of the four-diagnosis intelligent research of TCM in the past ten years, analyzed its current research status, completed the visual analysis based on the knowledge graph, and further discussed the research hot-spots in this field. Finally, based on the existing research status, we proposed thinking and prospects for the next development of the intellectualization of the TCM four-diagnostics, in order to provide reference value and significance for the future research in this area.

KEYWORDS: the four-diagnosis of TCM; intelligence; research status; research hot-spots; visualization

中医药作为中华文明的瑰宝, 在抗击非典型性肺炎和新型冠状病毒肺炎疫情中都发挥了重要的作用, 并做出了巨大的贡献。在中医药传承发展、守正创新的背景下, 四诊作为中医诊断辨证的基础, 在人工智能等新技术的赋能下也开始加速发展。本文针对中医四诊智能化的研究现状和热点展开讨论, 以期对该领域的进一步发展和研究起到参考和借鉴。

1 人工智能赋能中医四诊的时代背景

中医四诊要求医生在获取信息的基础上利用经验进行分析并做出准确判断。然而, 这种诊断方法依赖于医生的知识水平和实践经验, 主观性很强, 并

且对医生具有极高的要求, 从而导致不同的医师针对同一病例的诊断也可能会有较大的差异。此外, 由于时空限制, 目前中医医疗资源分配不均, 大部分患者很难获取优质的医疗资源。在中医人才供给不足、诊疗负担重、经验要求高的情况下, 如何突破中医发展的困境, 促进中医的传承创新, 不仅是中医人需要思考的问题, 也是国家和人民对中医药发展的殷切期望。

与此同时, 人工智能作为计算机科学的一个分支, 被认为是 21 世纪三大尖端技术之一。近 30 年来, 人工智能发展迅速, 已广泛应用于各大学科领域, 对行业的赋能作用不断凸显, 制造业、交通业、医疗

收稿日期: 2021-10-18

基金项目: 江苏省高校哲学社会科学研究项目(2021SJA0319); 国家重点研发计划(2018YFC1704400)

第一作者: 李红岩, 女, 讲师, E-mail: hyl@njucm.edu.cn

通信作者: 周作建, 男, 研究员, 主要从事物联网与移动医疗、中医药人工智能与大数据分析的研究, E-mail: zhouzj@njucm.edu.cn

业等各大行业都迎来了智能化进程。利用人工智能为中医四诊赋能,实现四诊智能化,让四诊发挥更好的价值,已成为近年来广大中医药和科技工作者共同的追求。

自1982年郭振球^[1]探讨如何通过人工智能模拟中医辨证思维规律以来,越来越多的学者开始关注中医药与人工智能的融合发展。伴随着人工智能的迅猛发展,中医四诊智能化的研究更是逐步吸引了中医学、自动化技术、计算机科学与技术、生物医学工程、仪器仪表以及电信技术等不同学科学者的关注,开展更为深入的技术和应用研究。

2 中医四诊智能化研究现状

我们检索并筛选了中国知网(CNKI)和Web of science(WOS)上近十年有关中医四诊智能化的中英文文献,统计发现近十年来关注中医四诊智能化问题的学者越来越多,对这一科学问题的研究也得到了国家的高度重视。自2016年以来,随着人工智

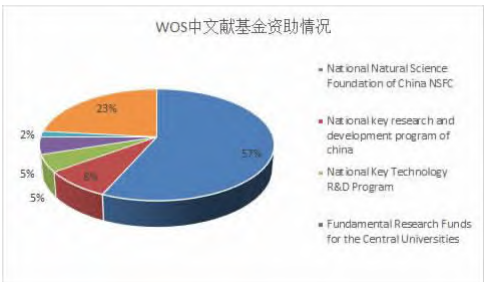
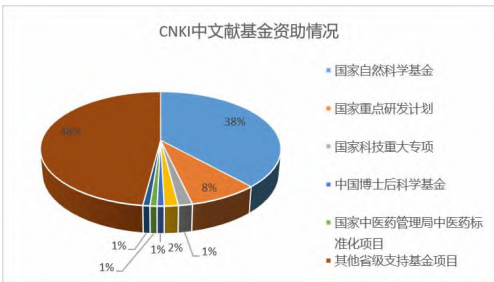
能重要分支深度学习技术的成熟,人工智能发展火热,国家和广大学者对中医四诊智能化的研究也开始高度重视。如图1(a)所示,2017年开始,无论是CNKI还是WOS上的学术文献的发文量都开始大幅增加,此后每年增长幅度平均约为前一年度的2.15倍。图1(b)的国家合作网络中则明显展示出我国大陆地区为该研究领域的主体,并与中国台湾地区、澳大利亚、德国、加拿大、美国、英国、罗马尼亚有不同程度的合作。日本、芬兰、韩国、印度等国家也已经开始开展相关研究。可见伴随着中医魅力的展现以及人工智能技术的迅猛发展,全世界范围开始有越来越多的学者关注中医四诊智能化研究。由图1(c)文献资助情况来看,我国国家级科研基金对该主题研究领域的资助已超过总体资助的一半以上,更可见我国政府对该研究领域的重视程度之深及学者们对该问题的研究兴趣之浓厚。



(a) 年度发文统计



(b) 国家合作网络



(c) 基金资助统计

图1 中医四诊智能化研究基本现状

Fig.1 The basic status of intelligent four-diagnosis in TCM

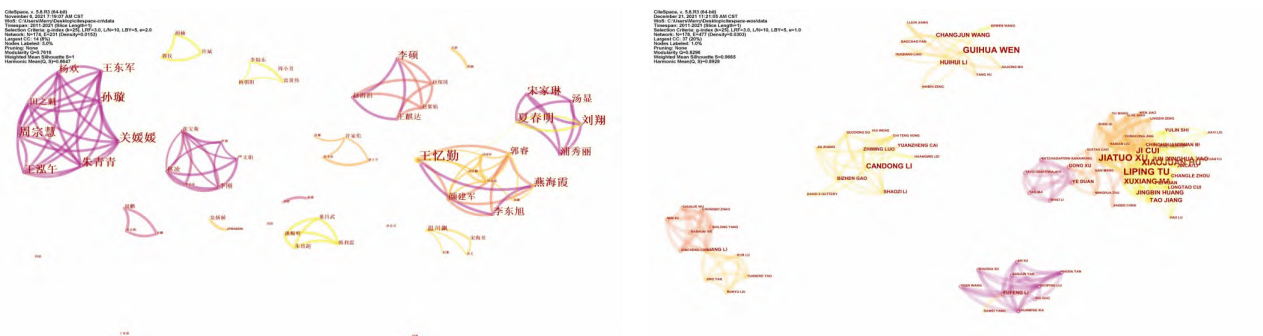
为了解该领域学者的关注点及合作情况,我们分析并绘制了文献作者合作关系网络及关键词共现网络,如图2所示。图中颜色代表了首次发表文献的时间,节点和标签的大小则对应于发文量的多少。从图2(a)来看,上海中医药大学王忆勤团队^[2-8],许家佗团队^[9-12],成都中医药大学的温川颢团队^[13-16]和天津中医药大学的王泓午团队^[17-18]在

CNKI上发文较多。华南理工大学文贵华团队^[19-24]在WOS上发文较多。而上海中医药大学许家佗、屠立平团队^[9-12, 25-32],福建中医药大学的李灿东团队^[33-40]在CNKI和WOS上均有较多发文。我们对这些团队在四诊智能化领域的研究兴趣及内容进行了梳理,详见表1。

表 1 中医四诊智能化主要团队及研究内容

Table 1 The main team and research contents of intelligent four-diagnosis in TCM

序号	学者及合作团队	研究内容
1	王忆勤 燕海霞 夏春明 等	舌面诊 脉图分类识别预测血压 人脸解析 智能问诊 四诊合参等
2	许家伦 屠立平 胡晓娟 等	舌像采集标准化及颜色校正 舌色特征提取 舌像质量评估 面色识别 基于舌诊的体质辨别 糖尿病预测等
3	温川飏 宋海贝 程小恩 等	舌面部特征提取 四诊诊疗信息数据库构建及中医体检服务体系构想等
4	李灿东 罗志明 李绍滋 等	舌像分割 舌像中齿痕和裂纹检测 中西医结合的代谢综合征预测 中医健康状态辨识系统构建等
5	王泓午 王东军 关媛媛 等	舌像特征客观化 中医肺癌诊疗等
6	文贵华 韦佳 江丽君 等	舌苔检测和标定 舌体结构识别 在舌像识别基础上智能问诊问卷设计 舌像、面像与中药处方的关联性等

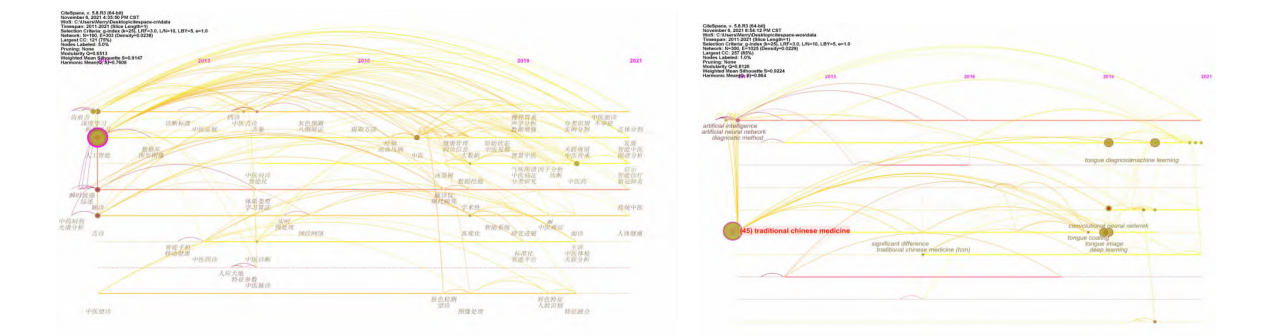


(a) 作者合作网络



CNKI 文献关键词共现聚类视图

WOS 文献术语共现聚类视图



CNKI 文献关键词时间线视图

WOS 文献术语时间线视图

(b) 关键词与术语共现网络

图 2 作者合作关系及关键词术语共现图谱

Fig. 2 Knowledge graph of author partnership and co-occurring of keywords or terms

图2(b)中关键词术语共现图谱中节点(及标签)大小表示术语出现的频次,紫色外圈表示该节点具有较高的中介中心性。由图中可以看出,CNKI文献中人工智能、机器学习和深度学习已成为三大高频关键词,分别出现44、20和19次。WOS文献汇总深度学习、舌诊舌像和机器学习成为高频术语,分别出现17、28和12次,而卷积神经网络则自2019年开始广泛出现在各研究文献中,成为中医四诊智能化的基本技术和主要手段。

3 中医四诊智能化研究热点

得益于计算机视觉和语音识别技术的发展,目前中医四诊智能化研究的热点主要集中于舌诊、面诊、脉诊、问诊方面。而闻诊中声诊和嗅诊的研究由于数据采集过程中环境干扰因素交错,目前大多仍关注于采集仪器的研制和数据去噪等质量提升工作方面,智能化的诊断还相对较少。

当前研究热点中舌诊和面诊均是直接针对采集图像进行学习,早期文章多采用传统的图像处理技术,后来则逐渐采用机器学习的方法,近年来采用深度学习方法的文献显著增多。脉诊可看作是在二维脉图数据上通过信号处理或学习的方式完成分析与预测。问诊数据大多为量表化数据,在选择和推荐问诊问题时,大多数研究仍采用基于图模型、内容或邻域的传统推荐算法。在针对获取到的问诊数据进行证候分类时则多采用机器学习或深度学习建模的方式来完成。

3.1 舌诊智能化

目前中医诊断智能化研究大多集中在舌诊方面。部分学者对于舌诊客观化研究^[13,17],人工智能技术在舌诊中的应用^[4]以及基于舌像的疾病诊断^[18]方面的研究现状进行了分析和综述。在技术实现上,主要侧重于舌像的标准化采集,已获取舌像的图像质量评估^[26]、颜色校正^[31]等预处理手段,以及进行舌体分割、构建舌像数据库,为应用人工智能技术作准备。其次,主要是舌像特征学习的研究,如舌像中齿痕和裂纹的检测^[38],舌苔的检测和标定及舌体构成识别^[23-24],舌像局部及全局特征的提取^[30]等。由于医学数据的特殊性及个人隐私保护的需

要,目前相关研究均采用自己采集数据的方式,每种方法采用的评价指标也不尽相同,因此方法之间难以进行定量比较。针对舌体分割问题,一般多采用动态轮廓(Snake)模型,支持向量机(SVM)或深度学习的U-Net、Seg-Net以及改进的全卷积神经网络(FCN)模型。针对舌裂纹检测,则多采用深度学习的方法,如卷积神经网络、YoLo、Faster RCNN、DenseNet等。从近两年文献报告来看,李渊彤等^[41]采用FCN-16s模型结合单像素损失函数LCLoss进行舌体分割,分割平均像素精度达到98.51%,平均交并比达到96.32%,进而对齿痕的识别精度达到85%以上,对裂纹、芒刺、腐腻、瘀点、厚薄、苔色等纹理特征的分析平均准确率为82.07%。颜建军等^[6]采用深度学习完成舌体分割,继而利用YoLoV5检测齿痕,最后借助随机森林完成对正常、轻度和重度齿痕舌的分类,分类平均准确率为93.17%。刘佳丽等^[42]融合YoLoV3和DenseNet,提出Double-D模型实现舌裂纹的检测,检测结果召回率为92.93%,精准率为97.56%,特异性为98.75%,平均检测速度为0.029 s。基于对舌体的分析和学习,可进一步实现通过中医舌诊基于机器学习来构建糖尿病风险预测模型^[27-28]、慢性胃炎识别模型^[30]等。Wen等^[19]则构建了舌像与中医处方对应的数据库,在舌像分析的前提下利用神经网络完成了处方及药材推荐。

3.2 面诊智能化

面诊的智能化研究目前主要集中于面部分割后的面色识别。面色识别近年来多采用机器学习的K近邻(KNN)、K均值聚类(K-means)和SVM方法,以及深度学习的BP神经网络和卷积神经网络方法。2018年,陈梦竹等^[11]采用BP神经网络对面色为白色的分类准确率可达89.5%。2020年,林怡等^[9]融合多种不同面部特征对比使用BP神经网络和SVM和KNN方法对赤、黄、白、黑4种面色进行识别,识别率最高为91.03%。2021年,孙康宁等^[43]进一步将青色也加入面色识别中,并对比了K-means、支持向量机和卷积神经网络CNN3种方法的识别效果,得出CNN分类效果最佳,整体面色分类准确率为89.33%,局部面色识别准确率为95.11%。Liao等^[22]尝试使用深度学习挖掘患者的面部与中药处方之间的关系,并提出构建卷积神经网络根据患者的面部图像生成中药处方。

3.3 脉诊智能化

脉诊的智能化研究大多是在获取脉搏波后,分析提取脉搏波特征来进行脉象识别,或利用脉搏变化预测血压情况,分析方法多采用机器学习的决策树、K近邻、SVM和逻辑回归,以及深度学习的概率神经网络和循环神经网络。如张嘉琪等^[44]对比循环神经网络RNN和概率神经网络PNN对脉位失

常、脉率失常、脉型失常的识别能力,证明在噪声数据为 0.1 时,RNN 的识别准确率为 95.51%,F1 度量为 98.72%。李勣等^[45]对冬至和夏至时期采集到的脉搏信号采用 K 近邻、SVM、决策树和 Bagged Tree 4 种机器学习方法进行数据分类,以验证所设计的脉诊机器人系统的有效性。其中 Bagged Tree 的分类准确率为 97.5%,ROC 为 98%。颜建军等^[3]对脉图波形进行时域特征提取,并基于随机森林等机器学习算法建立血压预测模型,预测精度已达到 AAMI 国际电子血压计的标准。Luo 等^[29]通过观察脉搏波的动态变化,评估高血压的风险。分析了脉冲波对多种机器学习模型准确性和稳定性的影响,在采用 AdaBoost 方法时评估准确率高达 86.41%,为中医药在现代疾病诊断和疗效动态评价方面提供了研究方向和基础。

3.4 问诊智能化

问诊智能化的研究主要有两种方式,一是如何通过推荐算法完成问卷设计,二是结合其他诊疗方法以提高问询效率。如迪盼祺等^[2]借鉴了物品推荐中常用的协同过滤算法和遗传算法,实现了中医智能问诊系统,达到了仅在 13 次提问的情况下,便可使证候分类器的辨证效果达到 90% 以上。Fan 等^[20]提出了一种基于机器学习技术的个性化身体素质查询方法。问卷设计首先根据患者舌苔图像的识别结果对问题进行排序,从而为患者选择个性化的问题,大大减少了患者回答问题的时间和数量。与直接采用《中医体质问卷》相比,患者回答问题减少了 68.3%,回答时间则减少了 80.3%。除了确定智能问诊中需要“问什么,怎么问”之外,也有部分研究基于问诊数据进一步实现证候分类。如迪盼祺等^[2]利用问诊数据完成心系疾病的证候分类,分类精度可达 90% 以上。颜建军等^[7]则基于慢性胃炎的问诊数据,采用深度森林算法 gcForest 并对比 DBN 和 DBM 深度学习方法以及 BSVM、ML-KNN、RankSVM、ECC 和 LIFT 5 种机器学习多标记方法的证候分类效果。实验证明 gcForest 可取得更好的证候分类效果,分类平均精度为 83.4%,覆盖距离为 16.2%,汉明损失为 13.5%。

3.5 其他

目前的研究除了针对某一种诊法如何实现智能化以外,研究热点也包括数据及系统构建和多信息融合两个方面。

数据及系统构建方面,成都中医药大学温川颢

团队^[16]采用音视频设备及传感器采集四诊信息,并对采集到的信息进行脱敏和压缩,从而建立中医四诊数据库。该团队进一步在中医四诊的基本理论指导下,通过多学科交叉构想制定中医的体检服务体系。福建中医药大学李灿东团队^[33,36]则致力于构建中医健康状态辨识系统,期待完成中医四诊信息的智能化采集和辨识。

多信息融合方面目前也有两种做法,一种是融合四诊的不同信息,另一种则是融合中西医的不同指标和方法。如 Shi 等^[25]采用智能舌诊和脉诊分析仪采集舌像和脉图数据,基于两种信息建立综合分类模型,以辨别非小细胞肺癌的气虚证和阴虚证。Fan 等^[20]在舌像识别的基础上进行中医问询,以实现将舌诊和问诊相结合的诊查方式。Xia 等^[39]则在 2020 年首次探讨了中医证候元素与 39 项理化指标之间的相关性,并基于同一患者可发生多种中医证候的特点,构建多标签学习算法获取对代谢综合征的中医诊断结果。2021 年 Xia 等^[37]进一步融合了 14 个理化指标和 6 个中医指标,包括弦脉、胸闷、自汗等预测代谢综合征。从其研究结果来看,基于融合指标构建的模型相比于单纯理化指标模型和中医指标模型特异性、准确性及敏感性更高,具有更好的预测能力。

4 思考与展望

从已有研究来看,目前中医四诊的智能化研究大多仍基于某一种诊断方法进行。尽管近两年来,逐渐有学者融合不同诊断方法,如将舌诊与面诊、舌诊与脉诊、舌诊与问诊相结合,但四诊合参的智能化仍处于探索阶段,尚缺少真正的技术化实现。而四诊合参才能真正体现中医诊断的整体观念,对于全面了解和辨别病情具有重要的意义。因此,如何进一步完善四诊的多信息融合,真正实现中医四诊合参的智能化将是亟待解决的重要问题。

此外,目前的中医四诊智能化技术主要以学习方法为主,即采用机器学习或深度学习挖掘采集的诊疗信息中所蕴含的规律。然而基于学习的方法,其结果极大依赖于用于训练的数据量及数据标注质量。而根据收集的四诊信息进行标注是一个非常冗繁耗时的过程,且需要经验极为丰富的中医专家完成。而当不同的专家去完成标注时,因其经验和观察侧重点不同也往往会出现意见相左的情形。因此,如何在学习过程中更好地利用标注信息,继而实现知识与学习的融合,学习结果的即时反馈也是将

来需要进一步研究和探讨的问题。

参考文献:

- [1] 郭振球. 中医辨证学与人工智能[J]. 湖南中医学院学报, 1982, 2(1): 5-8.
GUO ZQ. TCM syndrome differentiation and artificial intelligence [J]. J Tradit Chin Med Univ Hunan, 1982, 2(1): 5-8.
- [2] 迪盼祺, 夏春明, 王忆勤, 等. 基于协同过滤算法的中医智能问诊系统研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2021, 23(1): 247-255.
DI PQ, XIA CM, WANG YQ, et al. Research on intelligent Chinese medical consultation system based on collaborative filtering algorithm [J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2021, 23(1): 247-255.
- [3] 颜建军, 孙钰晨, 燕海霞, 等. 基于血压标定的中医脉图信号分析识别研究[J]. 辽宁中医杂志, 2020, 47(8): 13-17.
YAN JJ, SUN YC, YAN HX, et al. Analysis and recognition of TCM pulse signals based on blood pressure calibration [J]. Liaoning J Tradit Chin Med, 2020, 47(8): 13-17.
- [4] 陈瑞, 刘璐, 王忆勤, 等. 人工神经网络在中医舌面诊中的研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(4): 1924-1926.
CHEN R, LIU L, WANG YQ, et al. Research progress of artificial neural network in the tongue-face diagnosis of traditional Chinese medicine [J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2020, 35(4): 1924-1926.
- [5] 王忆勤. 中医诊断技术发展及四诊信息融合研究[J]. 上海中医药大学学报, 2019, 33(1): 1-7.
WANG YQ. Development of TCM diagnostic technology and fusion research for four-diagnosis information [J]. Acad J Shanghai Univ Tradit Chin Med, 2019, 33(1): 1-7.
- [6] 颜建军, 李东旭, 郭睿, 等. 基于深度学习和随机森林的齿痕舌分类研究[J/OL]. 中华中医药学刊, 2021: 1-12. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20210813.1632.016.html>.
YAN JJ, LI DX, GUO R, et al. Research on the classification of dentate tongue based on deep learning and random forest [J/OL]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2021: 1-12. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20210813.1632.016.html>.
- [7] 颜建军, 刘章鹏, 刘国萍, 等. 基于深度森林算法的慢性胃炎中医证候分类[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2019, 45(4): 593-599.
YAN JJ, LIU ZP, LIU GP, et al. Syndrome classification of chronic gastritis based on multi-grained cascade forest [J]. J East China Univ (Sci Technol), 2019, 45(4): 593-599.
- [8] WANG YQ, YAN HX, GUO R, et al. Study on intelligent syndrome differentiation in traditional Chinese medicine based on multiple information fusion methods [J]. Int J Data Min Bioinform, 2011, 5(4): 369-382.
- [9] 林怡, 王斌, 许家伦, 等. 基于面部图像特征融合的中医望诊面色分类研究[J]. 实用临床医药杂志, 2020, 24(14): 1-5.
LIN Y, WANG B, XU JT, et al. Facial color classification of traditional Chinese medicine inspection based on fusion of facial image features [J]. J Clin Med Pract, 2020, 24(14): 1-5.
- [10] 石玉琳, 胡晓娟, 许家伦. 中医病证智能化诊断与分类研究进展[J]. 中国中西医结合杂志, 2019, 39(6): 763-768.
SHI YL, HU XJ, XU JT. Intelligent diagnosis and classification research development of Chinese medical syndrome typing [J]. Chin J Integr Tradit West Med, 2019, 39(6): 763-768.
- [11] 陈梦竹, 岑翼刚, 许家伦, 等. 基于图像处理的望诊面色自动识别研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2018, 25(12): 97-101.
CHEN MZ, CEN YG, XU JT, et al. Study on observation diagnosis automatic complexion recognition based on image processing [J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2018, 25(12): 97-101.
- [12] 崔骥, 许家伦. 人工智能背景下中医诊疗技术的应用与展望[J]. 第二军医大学学报, 2018, 39(8): 846-851.
CUI J, XU JT. Diagnosis and treatment technologies of traditional Chinese medicine: Application and prospect in context of artificial intelligence [J]. Acad J Second Mil Med Univ, 2018, 39(8): 846-851.
- [13] 徐熊, 宋海贝, 温川飙, 等. 基于智能信息处理的舌诊客观化研究[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(22): 182-184, 197.
XU X, SONG HB, WEN CB, et al. Progress in objectification of tongue diagnosis based on intelligent information processing [J]. Comput Knowl Technol, 2020, 16(22): 182-184, 197.
- [14] 宋海贝, 温川飙, 程小恩. 基于AI的中医舌象面象辅助诊疗系统构建[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(2): 502-505.
SONG HB, WEN CB, CHENG XE. Construction of an AI-based TCM tongue and facial aided diagnosis and treatment system [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2020, 31(2): 502-505.
- [15] 何黎, 曹悦, 胡远樟, 等. 基于中医“治未病”理论的中医四诊在中医体检中的应用及意义[J]. 科学技术创新, 2020(3): 4-6.
HE L, CAO Y, HU YZ, et al. Application and significance of four diagnoses in TCM physical examination based on the theory of TCM "preventing diseases" [J]. Sci Technol Innov, 2020(3): 4-6.
- [16] 谢天宇, 曹继忠, 温川飙. 名老中医传承四诊信息“后结构化”的关键技术探讨[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(62): 211-212.
XIE TY, CAO JZ, WEN CB. Discussion on the key technology of four diagnostic information "post-structured" of inheritance of old Chinese medicine [J]. World Latest Med Inf, 2018, 18(62): 211-212.
- [17] 王东军, 杨欢, 田之魁, 等. 中医舌象特征客观化研究领域科学知识图谱与可视化分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2021, 23(9): 3032-3040.
WANG DJ, YANG H, TIAN ZK, et al. Scientific knowledge map and visualization analysis in the field of research on the objectification of tongue features in Chinese medicine [J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2021, 23(9): 3032-3040.
- [18] 王东军, 孙璇, 田之魁, 等. 肺癌的舌象研究现状[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(7): 1718-1719.
WANG DJ, SUN X, TIAN ZK, et al. Tongue image research status of lung cancer [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2021, 32(7): 1718-1719.
- [19] WEN GH, WANG KW, LI HH, et al. Recommending prescription via tongue image to assist clinician [J]. Multimed Tools Appl, 2021, 80(9): 14283-14304.
- [20] FAN BC, LI YH, WEN GH, et al. Personalized body constitution inquiry based on machine learning [J]. J Healthc Eng, 2020, 2020: 8834465.
- [21] WEN GH, MA JJ, HU Y, et al. Grouping attributes zero-shot learning for tongue constitution recognition [J]. Artif Intell Med, 2020, 109: 101951.
- [22] LIAO HQ, WEN GH, HU Y, et al. Convolutional herbal prescription building method from multi-scale facial features [J]. Multimed Tools Appl, 2019, 78(24): 35665-35688.
- [23] MA JJ, WEN GH, WANG CJ, et al. Complexity perception classification method for tongue constitution recognition [J]. Artif Intell Med, 2019, 96: 123-133.

- [24] LI HH, WEN GH, ZENG HB. Natural tongue physique identification using hybrid deep learning methods[J]. *Multimed Tools Appl*, 2019, 78(6): 6847-6868.
- [25] SHI YL, LIU JY, HU XJ, et al. A new method for syndrome classification of non-small-cell lung cancer based on data of tongue and pulse with machine learning[J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021: 1337558.
- [26] JIANG T, HU XJ, YAO XH, et al. Tongue image quality assessment based on a deep convolutional neural network[J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2021, 21(1): 147.
- [27] LI J, CHEN QG, HU XJ, et al. Establishment of noninvasive diabetes risk prediction model based on tongue features and machine learning techniques[J]. *Int J Med Inform*, 2021, 149: 104429.
- [28] LI J, YUAN P, HU XJ, et al. A tongue features fusion approach to predicting prediabetes and diabetes with machine learning[J]. *J Biomed Inform*, 2021, 115: 103693.
- [29] LUO ZY, CUI J, HU XJ, et al. A study of machine-learning classifiers for hypertension based on radial pulse wave[J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 2964816.
- [30] MENG D, CAO GT, DUAN Y, et al. Tongue images classification based on constrained high dispersal network[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2017, 2017: 7452427.
- [31] QI Z, TU LP, CHEN JB, et al. The classification of tongue colors with standardized acquisition and ICC profile correction in traditional Chinese medicine[J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016: 3510807.
- [32] FAN SY, CHEN B, ZHANG XR, et al. Machine learning algorithms in classifying TCM tongue features in diabetes mellitus and symptoms of gastric disease[J]. *Eur J Integr Med*, 2021, 43: 101288.
- [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] 徐佳君, 雷黄伟, 高新皓, 等. 人工智能与中医诊断技术[J]. *天津中医药*, 2021, 38(5): 560-564.
- XU JJ, LEI HW, GAO XH, et al. Artificial intelligence and traditional Chinese medicine diagnostic technology[J]. *Tianjin J Tradit Chin Med*, 2021, 38(5): 560-564.
- [35] 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 CD, XIN JL, LEI HW, et al. Health management of traditional Chinese medicine and artificial intelligence[J]. *China J Tradit Chin Med Pharm*, 2019, 34(8): 3586-3588.
- [36] 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.
- [37] XIA SJ, GAO BZ, WANG SH, et al. Modeling of diagnosis for metabolic syndrome by integrating symptoms into physiochemical indexes[J]. *Biomed Pharmacother*, 2021, 137: 111367.
- [38] WENG H, LI L, LEI HW, et al. A weakly supervised tooth-mark and crack detection method in tongue image[J]. *Concurr Comput Pract Exp*, 2021, 33(16): e6262.
- [39] XIA SJ, ZHANG J, DU GD, et al. A microcosmic syndrome differentiation model for metabolic syndrome with multilabel learning[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, 2020: 9081641.
- [40] LI L, LUO ZM, ZHANG MT, et al. An iterative transfer learning framework for cross-domain tongue segmentation[J]. *Concurr Comput Pract Exp*, 2020, 32(14): e5714.
- [41] 李渊彤, 罗裕升, 朱珍民. 基于深度学习的舌象特征分析[J]. *计算机科学*, 2020, 47(11): 148-158.
- LI YT, LUO YS, ZHU ZM. Tongue image analysis in traditional Chinese medicine based on deep learning[J]. *Comput Sci*, 2020, 47(11): 148-158.
- [42] 刘佳丽, 孙自强. 基于 Double-D 算法的舌像检测[J]. *计算机工程与设计*, 2020, 41(7): 2025-2030.
- LIU JL, SUN ZQ. Tongue image detection based on Double-D algorithm[J]. *Comput Eng Des*, 2020, 41(7): 2025-2030.
- [43] 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 KN, SUN Q, LI XX, et al. Research on TCM color extraction and recognition based on the convolutional neural network[J]. *China J Tradit Chin Med Pharm*, 2021, 36(7): 4286-4290.
- [44] 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 JQ, ZHANG YQ, CHEN J. Pulse condition recognition method based on optimized reinforcement learning path feature classification[J]. *J Comput Appl*, 2021, 41(11): 3402-3408.
- [45] 李勐, 湛月, 袁柳, 等. 三点位同步测量中医脉诊机器人系统设计实现[J]. *科学技术与工程*, 2021, 21(26): 11220-11225.
- LI M, ZHAN Y, YUAN L, et al. Design and implementation of a three-point simultaneous pulse examination robotic system[J]. *Sci Technol Eng*, 2021, 21(26): 11220-11225.

(编辑: 叶亮)