

DOI:10.13288/j.11-2166/r.2022.12.001

学术探讨

中医四诊智能化现状及关键技术探讨

李红岩¹, 李灿¹, 郎许锋¹, 杨涛¹, 周作建[✉], 战丽彬²

1. 南京中医药大学人工智能与信息技术学院, 江苏省南京市栖霞区仙林大道 138 号, 210023; 2. 辽宁中医药大学中医药创新工程技术中心

[摘要] 中医四诊是传统中医对疾病进行辨证施治的主要手段。近年来, 伴随着人工智能技术的快速发展, 中医四诊智能化也取得了丰硕的成果。通过对“望、闻、问、切”四诊的科研进展和应用实践的智能化现状的分析, 探讨实现四诊智能化需要解决的三大技术问题, 即数据准备、特征提取和模型构建中的关键技术, 以及其在四诊中的应用方式和效果, 并对已有的相关方法进行了客观的对比与分析。并据此指出中医四诊智能化研究目前仍面临的问题, 即精准标注数据集缺失、泛化特征提取能力有限、四诊融合的智能化研究相对缺少等。认为中医智能化今后发展应注重建立标准数据库, 关注特征提取的标准化和自动化, 设备应向小型化、移动化和可穿戴化发展, 硬件和流程应标准化和规范化, “四诊合诊”应不断融合。

[关键词] 中医诊断; 望诊; 问诊; 闻诊; 脉诊; 人工智能; 研究现状; 发展趋势

中医“望、闻、问、切”四诊凝结了中国古代人民的智慧, 并沿用至今。然而, 传统四诊往往局限于医生的主观观察和感受, 对医生的经验依赖性较强, 且受限于温度、光线等外部环境的影响。近年来有学者^[1-2]借助自然语言处理、计算机视觉、知识图谱和深度学习等技术来促进中医四诊逐渐向着数据化、标准化、客观化乃至智能化的方向发展, 针对中医四诊中的单项或四诊融合, 从历史发展或临床诊断技术方面对其标准化和客观化进行了相关总结。本文在总结前人研究的基础上, 分析了中医四诊的智能化发展现状以及关键技术, 为中医四诊的智能化发展提供思路。

1 中医四诊智能化现状

1.1 望诊智能化现状

目前望诊智能化的研究相对成熟和完善。其智能化流程大致可分为图像获取, 图像预处理、图像分割、特征提取/选择和分类识别几个步骤^[3]。望

诊智能化中研究较多的为目诊、舌诊和面诊, 即基于计算机视觉与人工智能技术, 分别通过观测眼睛、舌和面部的图像来进行体质辨识和疾病诊断的方法。在目诊方面, 湖南中医药大学彭清华教授团队进行了一系列的基于眼底图像分割分类方法的中医目诊研究^[4-5]。国外多位学者则基于眼底图像的分割和疾病诊断预测提出了各种智能化解决方案^[6-7]。成都中医药大学温川飙教授^[8-10]、上海中医药大学许家佗教授^[11-13]和王忆勤教授^[14-17]、安徽中医药大学阚红星教授^[18-19]则分别带领团队开展了舌、面部的分割、特征提取与诊断分类的研究, 并致力于智能舌、面诊仪的研发。国内外也有很多学者专注于舌、面部分割与分类的算法研究^[20-26]。面诊、舌诊和目诊技术的发展使得一系列现代智能化设备应运而生。目前已有可通过对面色、面部光泽和唇色的客观化和智能化来进行体征分类的智能面诊仪, 可根据舌色、舌形和舌苔的特征来进行中医证候诊断的智能舌诊仪, 可根据眼睛巩膜部位的斑点、血脉等特征进行智能分析并完成健康评估的智能目诊仪等。

1.2 闻诊智能化现状

闻诊分为声诊和嗅诊两类, 通常通过声音或气味信号的收集、预处理、特征提取和病理诊断四个

基金项目: 国家重点研发计划“中医药现代化研究”专项(2018YFC1704400); 国家自然科学基金(82174276); 中国博士后科学基金(2021M701674); 江苏省博士后科研资助计划(2021K457C); 江苏高校哲学社会科学项目(2021SJA0319); 江苏高校“青蓝工程”

✉ 通讯作者: zhouzj@njucm.edu.cn

方面进行研究,并进行智能化听诊仪与嗅诊仪研发。闻诊的智能化研究目前仍然主要处于学术理论研究阶段^[27-29]。中医声诊一般要求受试者在 30 分贝^[30]或 45 分贝^[31]以下的环境中进行指定的语句或音节的发声,实验人员利用专业的录音设备采集这些声音信号,对采集到的信息进行降噪、采样和音频特征的提取,最终获得具有一致性低噪音的声音信息,通过建模分析进行病理诊断。上海中医药大学王忆勤教授带领团队对语音的采集方法、语音信号的证型特征等进行了广泛的研究^[31-33]。尽管智能声诊所需硬件设备不太复杂,但由于一方面缺少智能声诊的相关标准和指导,另一方面声诊技术的研发相对现代医学仍稍落后,导致目前我国智能声诊仪较为缺乏。目前成熟的单独存在的声诊仪或声诊系统较少,声诊通常以组件方式集成在四诊仪和闻诊仪中。嗅诊则指通过模拟嗅觉并分辨患者身体气味与病室气味以诊察疾病的方法,智能嗅诊过程与人类闻气味过程近似,因此嗅诊设备也通常被称为电子鼻^[34]。现有智能嗅诊技术多分析患者的口腔呼气,其过程主要包括气体取样、气体成分分析和疾病诊断三个步骤。目前国内中医嗅诊仪和相关技术成果较少,且主要集中在福建中医药大学李灿东和林雪娟教授团队^[35-37]。国外学者则将辨识气味智能技术主要用于哮喘、癌症、肺结核等多类疾病的诊断^[38]。

1.3 问诊智能化现状

问诊系统可以提供高效、便捷的中医问诊服务,通常包含输入/输出设备和智能诊断模型两个部分,其呈现的载体包括智能手机、电脑网页等。技术实现上主要分为患者症状量化、智能诊断两个步骤,前者提取患者证候特征,后者根据特征对其病症进行识别或分类。问答方式则一般分为调查问卷和语音问答两种方式。调查问卷是指系统通过问诊证候量表对患者身体状况信息进行收集;而语音问答是指用户通过语音方式描述身体状况,通过自然语言处理获取语义信息,再进行疾病的分析和诊断。近年来,北京中医药大学、福建中医药大学、华东理工大学、江苏大学、昆明理工大学等均有相关团队针对中医问诊的某一方面进行相关研究,但系统化研究相对较少^[39-40]。目前的中医问诊系统为获取标准化的问诊答案,大多采用证候诊断量表进行问卷式问诊,一般通过浏览器或小程序方式对用户健康信息进行问答式采集。

1.4 脉诊智能化现状

脉诊的智能化主要通过对桡动脉脉搏波的研究来研制脉诊仪。脉诊仪通过采集脉象信息并进行分析、处理,得出客观定量指标,是描记脉象的主要仪器^[41]。脉诊仪的基础原理就是把合适的传感器置于被测部位,通过传感器采集脉搏搏动并将其转换成电信号,再经信号放大,用记录仪将微弱的生理病理信号进行记录,或将电信号经模数转换后用计算机处理,之后进行脉搏波分析和诊断。中山大学罗锦兴教授团队多年来致力于脉象仪与脉波影像分析的研究,完成了第一代脉诊仪设计并参与了中医脉诊标准平台的标准脉研究。福建中医药大学李灿东教授团队专注于中医脉诊的临床诊断研究。天津中医药大学陆小左教授团队多年来从事中医脉象教学考试仪、脉图描记仪、甲诊仪、脉象自动分析仪等研制工作。国内外亦有研究者结合中医学、现代医学、工程学、数学、生物力学等知识和方法,研制出了多种性能的脉诊仪。这些产品之间的区别主要在于传感器的精度及脉象识别技术。然而,作为中医诊断设备多数脉象仪还存在升级缓慢,分析方法较简单,科技含量不高等问题^[42]。

2 中医四诊智能化关键技术

结合人工智能应用的一般开发流程,下文围绕四诊智能化需要解决的三大技术问题,即数据准备、特征提取和模型构建进行探讨。

2.1 数据准备

中医四诊智能化分析依赖于高质量的数据,数据准备过程大多包括数据采集、数据预处理和数据标注等相关内容。

2.1.1 望诊智能化之数据准备 望诊智能化进程中数据采集设备较为成熟。目前应用的图像采集分析设备包括 DS01-B 舌面象仪、DKF-IIB 台车式/DKF-IIA 便携式面诊仪、MyEyeD-10 眼象健康成像仪等。有设备已采集用于进一步分析需求的高质量图像,但由于数据的私有化以及隐私保护的需要,各研究机构基本采取独立进行数据采集的方式。之后在图像预处理的去除噪声步骤中,经典的方法通常是基于高斯模型的,而高斯滤波的权值依赖于像素之间的距离,因此可能会由于过度平滑而导致边缘模糊^[6]。此外,诊断分类识别所需要的数据标注则需要中医专家乃至多方面或多位专家会诊来完成,标注代价非常昂贵。综合以上问题,望诊智能化目前缺少大规模的公开标准标注数据集,也因此导致相关方法间的完整、公平对比较少,标准化程

度不高^[3]。

2.1.2 闻诊智能化之数据准备 闻诊中也已有部分采集设备来获取数据,如 YJ-WZY 中医闻诊仪,新加坡 Breathonix 嗅诊仪等。然而闻诊中同样存在着大规模公开标准标注数据缺少的问题。如声诊数据采集一般由中医医院等相关机构^[43]进行,而这些机构通常专注于中医专业而欠缺人工智能人才,对于怎样获得可有效进行后续分析研究的声音数据及如何对这些数据进行去噪等处理没有明确的方法与规范,从而制约了其智能化的研究发展。在嗅诊研究中,尽管当前已经存在多种类别的气敏传感器来获取和采集气味,但是所检测的有机物类别依然有限,限制了用于分析的数据采集广度。此外,由于人体气味来源多样,因此如何过滤并判断其来源也会影响最终的分析诊断结果。

2.1.3 问诊智能化之数据准备 问诊智能化基于问诊数据挖掘和确定证型与症状之间的关系,可作为望诊等技术的有效补充。为了实现这一目的,如何设计更具针对性的有效问诊问题则至关重要。目前常用的方法就是参照“十问歌”或利用推荐算法来给出中医问诊提示,因此也就需要准备问诊数据集。目前应用中常见的有 DS01-A 和 DKF-I 中医四诊仪中的问诊模块等。目前已有的真实问诊数据集涉及包括冠心病、缺血性中风病和慢性疲劳综合征等病症,并已标注了症状与证型的关联关系^[44]。然而,大规模的更加贴合中医问诊特性的数据集仍需要进一步构建,如何利用中医问诊发展历史中留存下来的宝贵数据,构建大规模的标准中医问诊数据集亦是亟待解决的问题。

2.1.4 脉诊智能化之数据准备 脉诊仪器的研究过程中,脉象信息的采集对后续分析研究至关重要。目前应用中常见的脉象采集设备有 DS01-C 脉象仪,HYMXII、ZYF-I 型脉象训练仪,SKYMM 脉象模型等。然而受研究人员跨学科知识背景的影响,研制的仪器尚不能完全准确反映中医脉象之精髓^[45]。此外,在脉搏信号采集过程中,脉搏波的振幅与宽度信息对疾病的诊断都至关重要,若测量仪器只能检测振幅,而不能获取宽度信息则可能对疾病的诊断带来较大影响。若要同时获取较为精准的振幅与宽度信息则难度较大。因此,在脉诊的智能化进程中,目前仍有很多学者主要致力于设计优化脉搏数据的自动采集系统^[46]以及可以获取脉搏信号的高性能压力传感器^[47-48]。

总的来说,中医四诊智能化需要大量数据作为

模型训练和分析的依据。目前已有很多采集方法和采集设备,但在采集广度和精度上依然有待提高。已有学者关注以中医理论为依据完善中医四诊信息客观化采集技术,如完善基于中医理论基础的数字模型,基于多中心、大样本的临床数据采集来建立中医辨证认知逻辑体系,进而为中医健康状态辨识与中医临床疗效客观化评定奠定基础^[49]。在数据预处理方面如何更好地去除环境噪声,获取更为有效的数据也有待进一步研究。在标注问题上,如何降低标注负担,既是数据准备阶段需要解决的问题,也是模型构建中需要思考的问题。

2.2 特征提取

从数据中提取富含有效信息的特征值,有利于中医四诊后续的学习和分析过程。在传统方法中,通常基于知识经验针对每种类别进行手工特征设计,此类特征往往泛化能力相对较差。近年来,四诊智能化中的特征获取已逐步开始采用机器学习的方式进行进一步的特征选择或采用深度学习的方式进行自动的特征提取。

2.2.1 望诊智能化之特征提取 望诊智能化中,常见的做法是首先进行有效的图像预处理并获取感兴趣部位的分割识别,再针对关键部位基于知识规则设计特征或利用机器学习进行特征选择。近年来设计神经网络进行自动特征提取,并以此完成疾病或体质分类诊断更是成为主流。如在目诊研究中,主要关注眼球偏斜、虹膜或巩膜的络脉分布,白睛部位的颜色和纹理^[6]等特征。然而,从中医角度来看,《灵枢·大惑论》即言“五脏六腑之精气,皆上注于目而为之精”,可见“五轮八廓”诊法可以更为全面地反映身体健康状态。如何根据中医五轮与五脏的对应关系进行眼部区域更为细致的细粒度分割,并结合中医理论探求细微区域特征所表征的健康状态,是目诊智能化发展所面临的关键问题。舌诊的研究大多集中在针对舌的某一方面或几个方面提取特征,如根据舌色、舌苔、舌形或舌下静脉进行体质分析和疾病诊断^[12,14,16-19]。而如何综合舌的信息提取更完善特征来判断疾病的性质、病势的深浅、气血的盛衰、津液的盈亏及脏腑的虚实不仅对相关研究中特征提取步骤提出了更高的要求,也需要进一步思考如何与多标签分类技术统一,从而完成更为符合中医理论的舌诊判断。从面诊的已有研究来看,大多将颜色特征作为中医面色识别分类特征,而对于面部光泽的技术特征提取则仍在探索之中,面色与其本色以及环境的关系研究

相对较少^[3,11,13,22-23]。此外,《黄帝内经》中有多个篇章涉及五脏与面部官窍的关系,因此中医素有“五脏之气外应于五窍”的说法,如何通过分割和分类技术实现中医面诊脏腑分属的辨证判断将是“面诊”智能化中需要进一步考虑的问题。

2.2.2 闻诊智能化之特征提取 闻诊中的声诊技术通常采用传统的小波变换或深度学习中的卷积网络等方式进行特征提取。如宋雪阳等^[31]通过 121 例肺结节患者和 36 例正常人的声音特征研究,统计分析发现语音与肺结节之间的关联关系。江益靛等^[50]用短时傅里叶转换对采集的元音信号进行时域到谱域的转换,再使用卷积网络对频谱图进行特征提取和声音分类,用于体质虚实的判断。刘畅^[51]用声图分析软件分析患者咳嗽音得到声学参数特征,使用统计学习方法分析咳嗽声音特征和疾病部位、中医证候的相关性。福建中医药大学李灿东和林雪娟教授团队则针对嗅诊的气味图谱特征、气相色谱特征等进行了充分的研究^[36,52-53]。从已有研究来看,闻诊中特征的提取大多还是采取传统手工设计的方法,但此类特征的代表能力不如自动提取特征的深度学习方法,而深度学习算法需要众多数据进行训练,目前尚难应用于闻诊智能化研究。

2.2.3 问诊智能化之特征提取 问诊中特征提取的方式主要包括采用硬编码规则、利用统计量或设定阈值的方式进行特征筛选,及采用机器学习的特征降维方法或神经网络方法进行特征选择。如陈其跃^[54]使用特征权重算法(ReliefF)和粗糙集对中医问诊中的特征进行选择。王艺平^[55]使用门限卷积变分自编码器对中医病例文本进行特征表示。佟旭^[56]使用复杂网络重叠社区发现构建糖尿病肾病的多标签特征数据集。曹彬^[57]构建中医问答语料库,利用将单词转为向量的方法(Word2Vec)构建词向量模型、利用长短期记忆网络(LSTM)提取句子特征向量并用于问题-答案检索。当前诊断量表的研发存在的局限性包括诊断量表多针对单病,缺乏对复杂性疾病的诊断;条目池构建多采用文献研究法,结果全面但不够准确,如果配合德尔菲法、临床研究和统计学方法则能够进一步提高准确度^[58]。

2.2.4 脉诊智能化之特征提取 脉诊对采集到的脉冲信号进行预处理后,用最小二乘法对每个样本的平均波形进行离散傅里叶级数拟合,可以获得更好的波形建模性能,为区分不同的心理状态提供更多的潜在信息^[59]。如 Paiva 等^[60]利用形态学、时

域统计、互相关、小波等 39 种脉象特征信号进行了参数化测量。当前的脉诊仪多采用机械加压方式,利用压力传感器获取脉搏波,如何探寻中医“位数形势”的多维特征亦是未来亟需解决的问题。

综上,中医四诊提取特征在各自应用领域采用的方法和面临的问题略有差异。而在智能化应用的今天,若在四诊中采用神经网络进行自动特征提取,大量高质量的数据必不可少,神经网络的可解释性^[3]亦具有尤为重要的意义,因此大量高质量的数据及神经网络的可解释性也是四诊特征提取所面临的共同问题,仍有待进一步研究。

2.3 模型构建

在提取有效特征后,实现四诊智能化需根据特征来构建模型,从而完成中医体质、证候等的分类辨别。

2.3.1 望诊智能化之模型构建 望诊研究中构建的模型主要包括分割和分类模型。分割模型用于获取采集图像中的感兴趣区域;分类模型则根据提取的特征完成分类诊断。近年来大多数方法采用设计神经网络的方式完成模型构建。如目诊中常采用全卷积神经网络作为分割模型以实现眼睛区域的分割,并在此之前采用集成块匹配三维散斑滤波器(BM3D)去除不必要的噪声或卷积编解码器来提高算法的健壮性,以应对任务中所涉及的低分辨率、模糊、照明等挑战^[6-7]。舌诊中则常分别采用增强型全卷积网络、重建增强概率模型、基于轻量级编解码结构的神经网络和多尺度的生成对抗网络用于舌体或舌下静脉的不同分割模型的构建^[25-26]。探索舌部特征与中医体质之间关联的分类模型则多采用 InceptionV 网络、MobileNets 网络、单/双卷积通道的神经网络框架来构建^[18-24]。面诊中多采用支持向量机 SVM 模型或神经网络实现分类模型的构建,当面部特征采取深度神经网络自动提取时,则通常用 softmax 实现最终的分类识别^[13,22]。当训练数据不充分时,多采用无监督方法或迁移学习以在小型数据集上得到较好的体质识别效果^[6,23]。

2.3.2 闻诊智能化之模型构建 闻诊研究中主要采用统计学习、机器学习或深度学习方法进行声音分类或语音识别的模型构建。近年来常见的做法就是采用卷积网络、统计学习、支持向量机、Ada-Boost、随机森林和 J48 决策树等算法进行声音分类或实现声音和疾病部位、中医证候的相关性分析,并辅以不同的降噪技术以提高诊断准确率^[27-29,50-51,61-63]。此外,还有很多学者通过人工智能

技术实现全自动化诊断,提升听诊准确率^[43,64]。需要注意的是尽管中医声诊和西医听诊的疾病诊断逻辑差异较大,但是西医听诊^[29]中声音信号的捕获、分析和模型建立经验是可以借鉴的。嗅诊方面则多采用逻辑回归、支持向量机、卷积网络或迁移学习构建模型进行气味辨别、证候辨识^[35,37,52-53]。

2.3.3 问诊智能化之模型构建 问诊研究中,分类诊断模型多见采用极限学习机、症状关联网络、深度森林进行建模^[44,54,65-66]。相关研究表明深度森林算法相对于深层置信网络(DBN)、ML-KNN、支持向量机(BSVM)、椭圆加密算法(ECC)、LIFT等算法,在多标记评价指标和单个证型的分类准确率方面占有优势,能够有效解决慢性胃炎的中医问诊证候分类问题^[65]。在此基础上还可以同时给出问诊提示推荐算法,便于高效地进行问诊。针对问诊中经常出现的多标签数据,佟旭^[56]采用支持向量机、AdaBoost、ANN、kNN算法对多标签数据进行分类,完善了糖尿病肾病的多证型以及兼夹证型的诊断问题;辛基梁^[67]分别用经典人工智能算法和多标记分类算法对1146例中医健康状况数据进行了分析和对比。

2.3.4 脉诊智能化之模型构建 脉诊研究中通常采用支持向量机和人工神经网络两种方法进行模型构建^[59]。支持向量机在区分健康、病理和噪声三种重要信号结果方面具有潜力,并减少了主肺动脉窗APW在心血管疾病临床诊断中的偏差。如有研究者^[68]从金氏脉诊的角度出发,提出了一种迭代滑动窗算法,用三次支持向量机对健康人和肺癌患者的脉搏波形进行了分类,为肺癌患者提供方便的居家护理服务。针对传统脉象测量仪中小波阈值算法去噪效果差的问题,Kandee等^[69]提出了一种基于增强现实(AR)和触觉装置的虚拟脉搏仿真方法,用于各种情况下的脉搏诊断研究。脉冲模拟产生基于正弦和高斯函数的动脉脉冲波形。通过设定特定的参数,可以产生类似人体脉搏的脉搏波。进一步改变数学模型和脉率、脉压等参数,可以产生代表不同疾病种类和状态的脉搏波形。此外,亦可以结合微观研究的西医成果,以症为研究单位进行数据挖掘,找出适合中医理论和规律的机器学习方法,让智能化诊断系统具有自主学习、获取新知识的能力^[70]。

综上,如何有效实现并解决中医理论在各个环节的标准化和规范化问题,并有针对性地突破各个环节中的技术难点从而实现智能化还有待进一步探

索。此外,由于数据量有限和标注缺乏,很多方法采用了无监督方法,但无监督方法缺乏有效的目标指导,容易产生噪声。未来如何建立有效的标注数据集,或通过自监督、迁移学习等方式将无监督方法与监督方法相结合来改善分割效果亦有待进一步研究。健康状态辨识实质上是一个分类问题,多标记分类方法在中医健康状态辨识方面的应用可以一定程度上解决状态相兼错杂的问题。目前,针对感兴趣区域的分割技术已经进行了相对广泛的研究,但基于深度学习的自动分类以及多标签分类方法仍需进一步研究。

3 总结与展望

伴随着人工智能、生物工程、互联网、云平台、物联网和区块链等技术的快速发展,中医智能化必将得到进一步的发展,其发展趋势与展望总结主要有以下5个方面:1)标准数据库的建立。在人工智能技术迅速发展的大力助推下,海量精准标注的图像、声音、气味、脉象等数据有助于研究符合中医理论的诊断分析。在研究中可借助云平台技术完成相关数据收集,满足不同层次不同需求的健康诊疗机构及个人的需要,以促进相关智能设备的成功研发。2)特征提取的标准化和自动化。中医四诊的智能化分析离不开相关特征的表达能力。利用机器学习和深度学习等技术实现具有泛化能力的完善特征的自动提取,将有助于智能诊断的进一步精准化和智能化。3)设备的小型化、移动化和可穿戴化。进一步研究“望诊”“闻诊”和“脉诊”在开放环境下的光照、颜色、噪声的校正,发展小型移动便携的智能终端设备,以适用于日常生活的健康状态管理。4)硬件和流程的标准化和规范化。中医智能化强调在中医理论指导下进行智能化研究,以中医为主,利用人工智能技术实现中医的临床诊断评价与日常养生保健。在研究过程中硬件和流程的规范化设计,智能化设备生产和使用的标准化要求都需要进一步发展健全。5)四诊的不断融合。“望、闻、问、切”是中医辨证诊治的基本方法,四种方式相互联系、互为补充,四诊合参方可全面了解病情。因此,智能设备研发中如何将中医理论、人工智能、传感技术、生物工程、信息工程等不同学科进行交叉研究,用中医理论指导智能化进程,用现代科学解释中医原理,从而创建四诊融合的多维信息诊断方法亦有待进一步关注。

参考文献

[1]张钰莹,周华,詹松华,等.中医四诊新技术的应用及研

- 究进展[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2021, 27(1): 83-86.
- [2] 赵文, 张佳, 徐佳君, 等. 四诊合参智能化发展现状及实现路径[J]. 中医杂志, 2020, 61(1): 58-62, 67.
- [3] 林怡. 基于计算机视觉的中医望诊面色分类研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2020.
- [4] 李翔, 邓颖, 蒋鹏飞, 等. 基于眼底图像视网膜血管分割、分类方法的中医目诊研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2021, 41(3): 406-411.
- [5] 李书楠, 刘培, 蒋鹏飞, 等. 基于整体观念的中医眼科望诊体系的构建[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(9): 4413-4416.
- [6] NAVEED K, ABDULLAH F, MADNI HA, et al. Towards automated eye diagnosis: an improved retinal vessel segmentation framework using ensemble block matching 3D filter[J]. Diagnostics, 2021, 11(114): 1-27.
- [7] KANSAL P, DEVANATHAN S. EyeNet: attention based convolutional encoder-decoder network for eye region segmentation [EB/OL]. (2019-10-08) [2021-10-07]. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1910/1910.03274.pdf>.
- [8] 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.
- [9] 宋海贝, 温川飙, 程小恩. 基于知识图谱的我国中医四诊研究热点与前沿分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2020, 22(5): 1587-1594.
- [10] 宋海贝, 温川飙. 中医面诊信息自动识别方法研究进展[J]. 成都中医药大学学报, 2018, 41(1): 5-8.
- [11] 林怡, 王斌, 许家佗, 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.
- [12] 宋超, 王斌, 许家佗. 基于深度迁移学习的舌象特征分类方法研究[J]. 计算机工程与科学, 2021, 43(8): 1488-1496.
- [13] 陈梦竹, 岑翼刚, 许家佗, 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.
- [14] 王寺晶, 宋雪阳, 冯路, 等. 不同影像学性质肺结节患者的舌象参数特征分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2021, 23(1): 276-282.
- [15] 李福凤, 邸丹, 王忆勤, 等. 基于计算机技术的中医面色诊信息采集与识别研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2008, 10(6): 71-76.
- [16] 徐艺峰, 王忆勤, 郝一鸣. 2型糖尿病患者中医主证舌诊客观参数分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2021, 23(2): 402-409.
- [17] 房雨晨, 冯依伊, 王忆勤, 等. 基于舌图信息及舌苔物质分析的慢性胃炎舌诊客观化研究概述[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2020, 22(9): 3306-3310.
- [18] 胡继礼, 阚红星. 基于卷积神经网络的舌象分类[J]. 安庆师范大学学报(自然科学版), 2018, 24(4): 44-49.
- [19] 胡继礼, 丁亚涛, 阚红星. 基于机器学习的舌象体质分类[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2018, 36(5): 709-713.
- [20] 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.
- [21] HU Y, WEN G, LIAO H, et al. Automatic construction of Chinese herbal prescriptions from tongue images using CNNs and auxiliary latent therapy topics[J]. IEEE Trans Cybern, 2019, 51(2): 708-721.
- [22] HUAN E, WEN G, ZHANG S, et al. Deep convolutional neural networks for classifying body constitution based on face image[J]. Comput Math Methods Med, 2017: 1-9. doi:10.1155/2017/9846707.
- [23] HUAN E, WEN G. Transfer learning with deep convolutional neural network for constitution classification with face image[J]. MTAP, 2020, 79(4): 11905-11919.
- [24] MA J, WEN G, WANG C, et al. Complexity perception classification method for tongue constitution recognition [J]. ARTIF INTELL MED, 2019, 96: 123-133. doi: 10.1016/j.artmed.2019.03.008.
- [25] HUANG X, ZHANG H, ZHUO L, et al. TISNet-enhanced fully convolutional network with encoder-decoder structure for tongue image segmentation in traditional Chinese medicine[J]. Comput Math Method Med, 2020: 1-13. doi:10.1155/2020/6029258.
- [26] ZHOU C, FAN H, ZHAO W, et al. Reconstruction enhanced probabilistic model for semisupervised tongue image segmentation [J]. Concurr Comput Pract Exp, 2020, 32(22): 1-10.
- [27] MORO-VELAZQUEZ L, GOMEZ-GARCIA JA, ARIAS-LONDONO JD, et al. Advances in Parkinson's Disease detection and assessment using voice and speech: a review of the articulatory and phonatory aspects [J]. Biomed Signal Proces, 2021, 66, doi: 10.1016/j.bspc.2021.102418.
- [28] MA Z, BULLEN C, CHU J T W, et al. Towards the objective speech assessment of smoking status based on voice features: a review of the literature [J]. J Voice, 2021, 1-10, doi:10.1016/j.jvoice.2020.12.014.
- [29] RUSZ J, TYKALOVA T, RAMIG LO, et al. Guidelines for speech recording and acoustic analyses in dysarthrias of movement disorders[J]. Movement Disord, 2021, 36(4): 803-814.

- [30]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.
- [31]宋雪阳, 许朝霞, 王寺晶, 等. 121 例肺结节患者的语音共振峰初探[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2019, 21(12): 371-375.
- [32]宋雪阳, 许朝霞, 王寺晶, 等. 中医闻诊客观化临床应用研究概述[J]. 中国中医药信息杂志, 2019, 26(3): 141-144.
- [33]宋雪阳. 不同证候肺结节患者的中医声诊特征初步观察[D]. 上海: 上海中医药大学, 2019.
- [34]HU W, WAN L, JIAN Y, et al. Electronic noses: from advanced materials to sensors aided with data processing [J]. Adv Mater Technol, 2019, 4(2): 1-38.
- [35]吴敏, 林雪娟, 连梨梨, 等. 基于电子鼻的热证患者口腔呼气的气味图谱特征分析[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(1): 133-136.
- [36]林雪娟, 郑哲洲, 吴青海, 等. 基于电子鼻的 2 型糖尿病虚实病性间的气味识别分析[J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(8): 2687-2691.
- [37]郭森仁, 梁丽丽, 林雪娟, 等. 基于电子鼻的慢性胃炎常见病性证素间的气味图谱特征研究[J]. 中华中医药杂志, 2016, 31(6): 2263-2266.
- [38]KARAKAYA D, ULUCAN O, TURKAN M. Electronic nose and its applications: a survey[J]. IJAC, 2020, 17(2): 179-209.
- [39]李先涛, 周旋, 方格, 等. 中医证候诊断量表研究现状[J]. 辽宁中医杂志, 2020, 47(1): 18-21.
- [40]何雯青, 赵虎雷, 谢洋. 近 20 年中医证候测评工具研究现状的可视化分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2021, 23(1): 176-183.
- [41]李甜, 刘雪梅, 刘媛, 等. 从脉诊仪谈中医脉诊客观化[J]. 河南中医, 2017, 37(1): 37-40.
- [42]叶青, 胡军, 刘莉君, 等. 脉象仪研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2021, 36(5): 2834-2838.
- [43]LV J, DONG B, LEI H, et al. Artificial intelligence-assisted auscultation in detecting congenital heart disease [J]. Eur Heart J Digit Health, 2021, 2(1): 119-124.
- [44]曹静. 基于复杂网络的推荐算法在中医辅助问诊中的应用研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- [45]CHEN C, LI Z, ZHANG Y, et al. A 3D wrist pulse signal acquisition system for width information of pulse wave [J]. Sensors, 2020, 20(11): 1-16.
- [46]WANG E, ZHAO X, CHEN Y, et al. Design of pulse diagnostic robot for traditional Chinese medicine [C]//ICRAE. 2020 5th International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE), Dalian: IEEE Robotics and Automation Society, 2020: 87-92.
- [47]LIN Q, HUANG J, YANG J, et al. Highly sensitive flexible iontronic pressure sensor for fingertip pulse monitoring[J]. Adv Healthc Mater, 2020, 9(17): 1-11.
- [48]YUE Z, YE X, LIU S, et al. Towards ultra-wide operation range and high sensitivity: graphene film based pressure sensors for fingertips [J]. Biosens Bioelectron, 2019, 139. doi:10.1016/j.bios.2019.05.001.
- [49]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.
- [50]JIANG YL, ZHANG XL, DENG J, et al. Data augmentation based convolutional neural network for auscultation [J]. J Fudan Univer (Natural Science), 2019, 58(3): 328-334.
- [51]刘畅. 感染性咳嗽的感染部位及中医证候与咳声特征的相关性研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2018.
- [52]林雪娟, 吴敏, 连梨梨, 等. 基于电子鼻的热证常见病位的口腔呼气气味图谱特征[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(12): 6294-6297.
- [53]林雪娟, 梁丽丽, 刘丽桑, 等. 基于电子鼻的慢性胃炎寒热病性间的气味图谱特征研究[J]. 中华中医药杂志, 2016, 31(4): 1193-1197.
- [54]陈其跃. 基于极限学习机的慢性胃炎中医问诊证候研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2015.
- [55]王艺平. 面向中医骨科问诊的相似病例推荐方法研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.
- [56]佟旭. 基于复杂网络理论的糖尿病肾病辨证建模研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2016.
- [57]曹彬. 基于深度学习的智能中医问答系统的设计[D]. 广州: 广东工业大学, 2019.
- [58]郑昊, 黄嘉华, 潘美均, 等. 近 5 年中医诊断量表文献分析[J]. 河南中医, 2020, 40(11): 1703-1708.
- [59]JIANG Z, ZHANG D, LU G. Radial artery pulse waveform analysis based on curve fitting using discrete Fourier series [J]. Comput Meth Prog Bio, 2019, 174: 25-31. doi:10.1016/j.cmpb.2018.04.019.
- [60]PAIVA J S, CARDOSO J, PEREIRA T. Supervised learning methods for pathological arterial pulse wave differentiation: a SVM and neural networks approach [J]. Int J Med Inform, 2018, 109: 30-38. doi:10.1016/j.ijmedinf.2017.10.011.
- [61]GRADOLEWSKI D, MAGENES G, JOHANSSON S, et al. A wavelet transform-based neural network denoising algorithm for mobile phonocardiography [J]. Sensors, 2019, 19(4): 1-18.
- [62]GOKCEN A. Computer-aided diagnosis system for chronic obstructive pulmonary disease using empirical

- wavelet transform on auscultation sounds[J]. Comput J, 2021, 64(11):1775-1783.
- [63] ALTAN G, KUTLU Y, GARBI Y, et al. Multimedia Respiratory Database (RespiratoryDatabase@TR): Auscultation Sounds and Chest X-rays[J]. Nat Eng Sci, 2017, 2(3): 59-72.
- [64] THOENES M, AGARWAL A, GRUNDMANN D, et al. Narrative review of the role of artificial intelligence to improve aortic valve disease management [J]. J Thorac Dis, 2021, 13(1): 1-9.
- [65] 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.
- [66] 徐玮斐, 顾巍杰, 刘国萍, 等. 基于随机森林和多标记学习算法的慢性胃炎实证特征选择和证候分类识别研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2016, 23(8): 18-23.
- [67] 辛基梁. 基于中医状态学理论的健康状态辨识算法研究[D]. 厦门: 福建中医药大学, 2020.
- [68] ZHANG Z, ZHANG Y, YAO L, et al. A sensor-based wrist pulse signal processing and lung cancer recognition [J]. J Biomed Inform, 2018, 79: 107-116. doi: 10.1016/j.jbi. 2018. 01. 009.
- [69] KANDEE M, BOONBRAHM P, TANTAYOTAI V. Development of virtual pulse simulation for pulse diagnosis studies[J]. iJIM, 2018, 12(7): 31-42.
- [70] 林景峰. 基于多种生理信息与症状体征的抑郁症中医人工智能辨证方案建立[D]. 北京: 北京中医药大学, 2021.

The Current Status and Key Techniques of Intelligentization of the Four Examinations in Traditional Chinese Medicine

LI Hongyan¹, LI Can¹, LANG Xufeng¹, YANG Tao¹, ZHOU Zuojian¹, ZHAN Libin²

1. School of Artificial Intelligence and Information Technology, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing, 210023;

2. Chinese Medicine Innovation Engineering Technology Center, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine

ABSTRACT Syndrome Differentiation and treatment in traditional Chinese medicine (TCM) is mainly based on the four examinations in ancient times. With the rapid development of artificial intelligence in recent years, the intelligentization of the TCM four examinations has achieved fruitful results. By analyzing the intelligence progress of the four examinations (inspection, listening and smelling, inquiry, and palpitation) in the related scientific researches and clinical application, this paper summarized three to-be-solved technical problems in the intelligentization of the four examinations, namely the key techniques in data preparation, feature extraction and model construction, and discussed the related application mode and effect after comparing and analyzing the current methods objectively. It is pointed out that there are still problems in the intelligentization of the four examinations, such as lack of accurate database labeling, limited ability to extract the generalized features, and scarce researches on intelligentization of fusing the four examinations. In the future development of intelligentization in TCM, focus should be put on establishing a standard database, promoting standardization and automation of feature extraction, pushing forward miniaturized, mobile and wearable devices, prompting standardization and normalization of the hardware and procedure, and encouraging the fusion of the four examinations to obtain comprehensive analysis.

Keywords diagnosis in traditional Chinese medicine; inspection diagnosis; listening and smelling diagnosis, inquiry diagnosis; palpitation diagnosis; artificial intelligence; research status; development trend

(收稿日期: 2021-10-22; 修回日期: 2022-02-01)

[编辑: 侯建春]