

综述

光谱法的中医舌诊研究与应用概况

焦文¹, 崔骥¹, 周昌乐², 许家佗¹

1.上海中医药大学基础医学院, 上海 201203; 2.厦门大学智能科学与技术系, 福建 厦门 361005

摘要: 舌诊是中医独特的诊法之一, 文字、语言及图画等主观性、经验性的描述虽沿用至今, 但很难全面、客观表达舌象的完整信息; 现代技术的发展为中医舌诊研究提供了新的思路和方法, 如光谱法的应用, 对还原舌象信息具有重要意义。本文简要介绍光谱法, 归纳其在中医舌诊领域的研究与应用概况, 并提出存在的问题及展望, 为进一步研究提供参考。

关键词: 光谱法; 光谱成像技术; 中医; 舌诊; 应用; 综述

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5304.2018.11.032

中图分类号: R241.25 文献标识码: A 文章编号: 1005-5304(2018)11-0130-05

Study and Application Overview of Spectroscopy Method in TCM Tongue Diagnosis

JIAO Wen¹, CUI Ji¹, ZHOU Chang-le², XU Jia-tuo¹

1. School of Basic Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China;

2. Department of Intelligent Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: Tongue diagnosis is one of unique techniques of TCM diagnosis. Its subjective and empirical description of written words, spoken language and pictures have been used until now, however, which cannot express the complete information of tongue image comprehensively and objectively. The development of modern technology provides new ideas and methods for the study of tongue diagnosis in TCM. For example, the application of spectroscopy is of great significance for restoring tongue image information. This article briefly introduced the spectroscopy method, summarized its research and application in the field of TCM tongue diagnosis, and put forward the problems and prospects to provide references for further research.

Keywords: spectroscopy method; spectral imaging technique; TCM; tongue diagnosis; application; review

舌诊是中医独特的诊法之一, 舌象蕴含大量与人体生理、病理高度相关的信息。文字、语言及图画等主观性、经验性的描述虽沿用至今, 但难以全面、客观表达舌象完整的信息。随着科学技术发展, 新型设备和仪器与望舌察病相结合, 可更客观、全面还原舌象信息, 减少信息失真, 开启中医舌诊现代研究的新篇章。20世纪50年代伊始, 逐渐形成以中医理论为根源, 与数码摄像^[1-4]、红外热成像^[5-6]、光电转换等^[7]技术交叉融合, 识别舌象信息的中医舌诊现代研究。21世纪初, 光谱技术的发展, 对还原舌象信息具有重要意义, 为中医舌诊现代研究提供了新的思路。

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1703301); 国家科技支撑计划(2012BAI37B06); 国家自然科学基金(81373556、81102558)

通讯作者: 许家佗, E-mail: xjt@fudan.edu.cn

本文简要介绍光谱法, 归纳其在中医舌诊领域的研究与应用概况, 并提出问题与展望, 为进一步研究提供参考。

1 光谱法简介

光谱法是一种光学分析法, 指根据物质与电磁波的相互作用, 测量物质所辐射或吸收的电磁波的波长和强度, 或测量与物质相互作用的电磁波的波长和强度改变的分析方法^[8]。光(电磁波)与舌体相互作用时, 发生折射、反射、散射、干涉、衍射等现象, 目前中医舌诊现代研究主要利用反射现象, 故又称为反射光谱法, 是一种通过测量光谱反射率来检测舌体物理特性的方法。如图1所示, $\Phi_1(\lambda)$ 为入射光通量, $\Phi_2(\lambda)$ 为反射光通量, $\Phi_3(\lambda)$ 为吸收光通量。光谱反射率 $\rho(\lambda)$ 为波长 λ 的光照射下, 舌体反射光通量 Φ_2 与舌体入射光通量 Φ_1 的比值公式为: $\rho(\lambda)=[\Phi_2(\lambda)/\Phi_1(\lambda)] \times 100\%$ 。

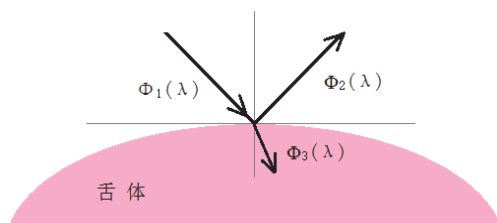


图1 光与舌体相互作用过程示意图

光谱法具有无创和快速的特点,可获得丰富而准确的舌象信息^[9];可得到特定波长的舌体光谱反射率;舌苔、舌质等部位的光谱反射率为固有属性,并可通过色度学公式,计算舌体颜色参数,如 RGB、XYZ、La*b*等;不同波长的光照射下,舌体光谱反射率不同,由此得出舌体光谱反射率与波长的曲线;有助于研究光照条件及舌色的同色异谱现象^[10],即光谱反射率不同但三刺激值相同的舌质舌苔色;此外,目前光谱及光谱成像技术已经广泛应用于生物医学领域,可获取光谱连续的图像信息,用于裂纹、齿痕、舌苔面积等纹理信息的研究。光谱及光谱成像技术不仅在生物医学领域具有极广阔的应用前景,该技术在中医舌诊现代研究中亦有重要的意义。但光谱法与中医舌诊现代研究的结合尚处于探索阶段,优势尚未充分显现,并未在中医舌诊现代研究中发挥出应有的价值和作用。

2 光谱法的中医舌诊现代研究

2.1 采集与识别

舌象采集与识别是通过光谱设备获取有价值舌象信息的过程。由于技术尚不完善,研究受光谱仪器如仪器规格、设备参数等条件的限制较大。在采集设备方面,常用设备多为美国海洋光学公司生产的微型光谱仪,如 NIR-512 近红外光谱仪(波长范围 853.59~1737.26 nm)、USB2000 光谱仪(波长范围 450~1200 nm)、USB4000 可见光光谱仪(波长范围 200~900 nm)、USB4000 型 VIS/NIR 可见近红外光谱仪(波长范围 360~1000 nm)、QE65000 型可见光谱仪(波长范围 200~1100 nm),以及上海中医药大学联合复旦大学和中国科学院上海技术物理研究所研发的 PHE201 型体表红外光谱仪(波长范围 1.5~16 μm)^[11]。与光谱法相结合的中医舌诊除涵盖可见光范围外,还扩展至红外光谱,可作为中医舌诊内容的延伸。

在光源及波长选择方面,曾常春等^[12]实验发现,标准光源 A、B、C、D65、E 照明下,正常舌尖舌色光谱反射率曲线存在明显差异,且 600~780 nm 和 380~500 nm 波段差异较大。赵静等^[13]研究发现,在

500~600 nm 波段无舌苔附着部位和有舌苔附着部位的光谱曲线差异较大,于 579.9 nm 处差异最大,可为“苔-质”分离提供参考。严文娟等^[14]研究发现,在 620~950 nm 和 1000~1150 nm 波段舌体内部的组织结构对光谱的漫反射强度较大,能更好地去除环境杂散光的干扰,反映舌体内部组织成分、微循环状态等信息。刘明等^[15]研究发现,舌苔和舌质部分光谱差异最大的波段为 525~600 nm 波段,进一步提取发现 527.548 0 nm 处最能反映舌苔情况。Yamamoto S 等^[16]采用高光谱相机(HSC1700,日本北海道 Satellite 公司)研究发现,舌质同舌苔、口唇、口周区域相比分别在 400~600 nm、650~800 nm、400~800 nm 波段光谱反射率存在差异,由此提取舌质区域。

此外,采集方式有与舌体接触式和非接触式 2 种。接触式主要用于获取舌体内部信息^[14],但因采集卫生条件要求较高等原因而研究较少;非接触式主要用于获取舌体表面信息,更加便捷、卫生而大量用于中医舌诊现代研究。

2.2 数据预处理

数据预处理是指对光谱设备输出的数据进行降噪和校正的过程,为提高数据质量的重要环节。尽管舌体的光谱反射率不会受到光源的影响,但采集过程中受其他因素影响易产生噪点,造成光谱反射率的计算误差。噪点多来源于采集环境、采集方法及采集仪器等。李刚等^[17]采用光调制技术可去除舌体反射光谱采集环境中环境杂散光的干扰,提高光谱法舌诊测量的信噪比。赵静等^[18]研究发现,将反射率归一化法用于光谱舌诊数据预处理,可降低光谱采集中操作方法对测量的干扰、提高设备灵敏度等。蔡轶珩等^[19-20]为消除光照环境和采集仪器等因素造成的噪点,从光谱反射率复原角度,采用基于有限维模型的舌象图像颜色校正方法,利用此方法复原光谱反射率曲线,计算得到更准确的颜色值。

2.3 舌象信息提取

舌象内涵丰富,涉及舌质、舌苔及舌下络脉等,其内涵包括色度及纹理。目前,光谱法用于舌象信息的研究主要集中于舌质和舌苔颜色。

舌质色度方面,曾常春等^[21]将反射光谱数据反演于 CIE-1964 色度图,得出正常舌色的色品坐标、明度、主波长、色纯度等色度学参数,分别为 $x100.341\ 3 \pm 0.008\ 5$ 和 $y100.332\ 6 \pm 0.005\ 11$ 、 17.96 ± 3.78 、 626.3 ± 51.6 、 0.083 ± 0.031 ;孔猛等^[22]采用可见光谱,通过 670 nm 光谱能量强度与 590~780 nm 红色域光谱能量比,达到舌质色的定量化的目的,并与常见舌质如

淡白舌、淡红舌、红舌、绛舌取得较好对应。

舌苔色度方面,林凌等^[23]以“薄白苔”“黄腐苔”为例,采用数学方法处理光谱特性内涵,发现“黄腐苔”“薄白苔”在光谱特征值和曲线形态特征(如一阶微分曲线主峰宽度)等方面存在较明显差异,探索一种舌象与归一化预处理的光谱曲线间的联系,进而为预测模型的建立提供参数等。

2.4 高光谱成像技术

此外,高光谱成像技术亦用于中医舌诊现代研究。高光谱成像技术起源于20世纪80年代,由一维光谱特性与二维图像技术相结合产生。高光谱成像技术补充了光谱法用于裂纹、齿痕等舌象图像纹理特征研究的不足,扩展了舌象信息的维度,是一种新型非接触式光学诊断技术^[24]。

李刚等^[25]提出一种基于X-Y振镜扫描式舌诊高光谱采集系统,包括数据采集、历史数据分析、高光谱图像显示等设计。李家星等^[26]利用高光谱成像技术采集舌象,并从整体分析舌体交叠混合的图谱信息,结合多种数据挖掘算法关联证候,提取特异光谱指标集,从生理、生化指标等角度解读证候,进而提出一种证候客观化诊断的新模式。李庆利等^[27-30]设计一种基于推帚式的高光谱成像系统,采用图谱结合算法进行舌体分割,利用高光谱图像、光谱信息,提出一种基于Gabor滤波器的舌纹分析算法,并进一步研发舌象辅助诊断系统,包含图像采集与存储、舌象特征提取、辅助诊断等功能。

3 光谱法的中医舌诊现代应用

3.1 临床指标预测

临床化验指标多数是有创检查,需要采集患者体/血液进行分析。因此,探索无创检验成为一种需求。目前,主要以血液生化指标为主进行预测研究。

赵静等^[31]采用偏最小二乘法建立模型,生化指标真实值同验证集未知样本的预测结果间的相关系数分别达到0.883、0.979,平均相对误差分别为1.88%、1.65%,提示近红外光谱分析结合偏最小二乘法或可为血细胞压积、平均血红蛋白浓度的无创检测提供一种新的方法。李家星等^[32]采用支持向量机分别建立人体血清白蛋白、球蛋白和总蛋白成分近红外光谱定量回归模型,相关系数依次为0.894、0.931、0.863,预测的均方误差依次为2.19、1.93、4.38,取得较为理想的预测效果,提示舌尖处近红外光谱特性可较客观地预测人体血清蛋白的变化。林凌等^[33]采用舌尖近红外光谱数据用于血清总蛋白含量无创检测,分别建立主成分分析结合BP神经网络模型(平均相对误差

7.35%,均方根误差3.069 1 g/L)和偏最小二乘法模型(平均相对误差4.77%,均方根误差0.130 1 g/L),提示舌诊近红外光谱可较准确地用于总蛋白含量的无创检测。李刚等^[34]建立红细胞总数与光谱数据的偏最小二乘回归模型,该模型相关系数为0.994,真实值与预测值间相关系数、平均相对误差、均方根误差分别为0.994、0.81%、0.472,提示舌尖部可无创检测红细胞。

3.2 疾病无创筛查

某些疾病的筛查是有创的,临床实际当中频繁的筛查可能会给患者造成不良的体验。本着“人文关怀”原则,探索疾病无创筛查已成为现代医学进步的一种诉求。目前光谱研究主要应用于心血管、消化、内分泌等系统疾病筛查。

李刚等^[35-36]采用光谱法用于健康组、高黏血症倾向组、脂肪肝组、冠心病组预测,其中间隔偏最小二乘法模型预测准确率高达85%,与可见光波段相比,近红外波段含有更多与疾病分类相关的信息,并提出一种基于光谱法的脂肪肝无创、快速诊断新方法,通过建立3层BP网络模型,用于健康人和脂肪肝患者样本分类预测,正确率达89.7%。应荐等^[37]采用自主研发的PHE201体表红外光谱仪检测乳腺增生病患者舌体各部的红外辐射光谱,发现乳腺增生病患者舌前、舌中、舌边5个部位红外辐射光谱具有相似的形态,其中有17个波长检测点乳腺增生病患者舌前与其他部位红外辐射强度比较有明显差异,初步探索舌面各部红外辐射光谱的临床意义。严文娟等^[38-42]采集舌尖等部位近红外光谱数据,建立诊断模型,用于:①健康人、脂肪肝患者、肝炎患者的预测;②健康人、糖尿病患者的预测;③健康人、冠心病患者、糖尿病患者和肝炎患者4类人群快速、无损的识别;④健康人和肝炎患者快速、无创筛查;⑤病毒性肝炎患者与健康人快速、精确分类筛查。

3.3 中医证候研究

中医舌象便于观察,能直接反映脏腑状况,是临床辨证施治不可或缺的重要依据。目前,光谱法主要涉及肝癌、高血压等疾病不同中医证候的研究以及健康人与不同疾病证候之间的差异性。

徐颖等^[43]采用一种光谱测色法采集133名原发性肝癌患者的舌色光谱数据,发现肝郁脾虚证、湿热蕴结证、肝肾阴虚证、气滞血瘀证4种舌色之间有明显色差,与临床特点相符。程南方^[44]使用可见-近红外光谱仪采集舌尖部舌色信息,发现高血压病痰湿壅盛型、肝火亢盛型与正常人群组及其两者之间的舌色

差异在光谱色度学指标 Dominant Wavelength、Purity 等方面存在不同程度上的反映。林凌等^[45-46]用可见光谱数据,对表寒里热证患者、健康人、风寒患者舌象数据进行分类和预测,其中支持向量机模型用于健康人与表寒里热证患者的预测,准确率达 100%,预测误差平方均值为 0.077 34。

4 问题与展望

上述研究为光谱法在中医舌诊现代研究奠定了一定基础。但仍存在以下问题:①传统中医或现代医学理论指导不足。如中医理论以整体观念为主要特点,单纯通过光谱舌象数据预测疾病及其证候等,相关指标的特异性及敏感性有待进一步探索。②研究深度和广度不足。由于研究的样本量不足,涉及疾病较少,尚有许多疾病如癌症舌象等有待研究;在疾病诊断与预测方面,虽然取得一定成果,但与临床相结合仍有很长的路程。③由于中医舌诊现代研究具有自身的特点,对光谱技术提出了新的需求和挑战,如仪器设备昂贵、光源波长范围等问题制约光谱数据的色度学参数计算等。④目前光谱法用于中医舌诊现代研究的基础尚未完善,存在一些重复性研究,减缓了光谱法应用于中医舌诊现代研究的步伐。这些问题导致现阶段光谱法并未在中医舌诊现代研究中发挥应有的优势和作用。

目前,光谱法与中医舌诊现代研究的结合尚处于探索阶段,但该技术在中医学面色诊现代研究中已取得了一系列有意义的成果,提示光谱法应用现代中医诊断技术研究的可行性及优势。许家佗、吴宏进等^[47-49]观测 400~550 nm 波段,发现健康组、亚健康组及疾病组面部光谱反射率存在规律:亚健康组>健康组>疾病组,其中亚健康组在 400~560 nm 段光谱反射率明显偏高。通过对亚健康组中不同脏腑辨证组间光谱反射率比较,发现肺型在 400~520 nm 明显低于其他脏型、脾型在 420~600 nm 明显高于其他脏型,提示光谱特性可作为亚健康状态、疾病状态诊断的参考指标。从现代中医理论和光谱技术等角度来看,面色诊与舌诊同属中医望诊范畴,其研究方法和内容存在诸多共同点,故面色诊的研究成果及经验可适当借鉴到中医舌诊现代研究中。同时,光谱及光谱成像技术在生物医学等领域已开展较多方面的应用,如荧光多标记共定位、染色体核型分析、眼底病变检测、光谱成像癌变检测、生物芯片检测、无损血糖监测及拉曼癌变检测等^[50],上述领域的应用经验可为中医舌诊现代研究提供借鉴。

综上,以光谱法为代表的光谱技术具有巨大的研

究价值和广阔的发展前景,与数码摄像、红外热成像、光电转换等技术同为中医舌诊现代研究的重要内容。光谱法提升了中医舌诊现代研究的维度,为该领域研究提供了新的思路和方法。但光谱法的应用尚未发展成熟,亟待进一步探索和挖掘。在已有成果基础上,将光谱技术与中医理论相融合,才能发挥光谱法在中医舌诊现代研究中的应用价值,促进学科快速发展。

参考文献:

- [1] 许家佗,包怡敏,王志国,等. 166 例慢性胃炎患者舌象特征与证型关系的初步观察[J]. 上海中医药大学学报, 2003, 17(2): 34-37.
- [2] 许家佗,孙扬,张志枫,等. 基于差统计方法的舌象纹理特征的分析与识别[J]. 上海中医药大学学报, 2003, 17(3): 55-58.
- [3] 许家佗,周昌乐,方肇勤,等. 舌像颜色特征的计算机分析与识别研究[J]. 上海中医药大学学报, 2004, 18(3): 43-47.
- [4] 许家佗,张志枫,孙扬,等. 舌象图像分析中点刺与瘀点特征的识别[J]. 上海中医药大学学报, 2004, 18(4): 38-40.
- [5] 诸凯,魏璠,何坚,等. 不同人群舌红外热象观察及动物舌血液灌注率测定[J]. 中医杂志, 2004, 45(1): 49-50.
- [6] 武哲丽,陈群,徐志伟,等. 肝病瘀血舌象与血瘀证舌温临床研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2008, 15(7): 22-24.
- [7] 任重,刘国栋,黄振. 基于平场全息凹面光栅的舌诊用光谱仪的研制[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(9): 2586-2590.
- [8] 郭德济. 光谱分析法[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1994: 1.
- [9] 林凌,解鑫,李刚. 基于光谱的中医舌色客观化方法初探[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(3): 707-710.
- [10] 孔猛,曾常春,刘友章,等. 应用可见反射光谱法对中医舌诊舌色的色度学研究[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2011, 13(6): 982-987.
- [11] 冯鑫鑫,葛林宝,应荐. PHE201 体表红外光谱仪应用进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2011, 13(4): 46-47.
- [12] 曾常春,杨利,许颖,等. 不同标准照明体光源对正常舌尖舌色色度学参数的影响[J]. 北京中医药大学学报, 2012, 35(1): 33-37.
- [13] 赵静,刘明,陆小左,等. 人体舌苔的反射光谱特征分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(8): 2208-2211.
- [14] 严文娟,贺国权,谭勇,等. 基于漫反射舌体光谱信息的实验方法研究[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(3): 40-42.
- [15] 刘明,赵静,李刚,等. 高光谱成像用于中医舌诊舌苔信息提取[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(1): 162-165.
- [16] YAMAMOTO S, TSUMURA N, NAKAGUCHI T, et al. Regional image analysis of the tongue color spectrum[J]. International Journal of Computer Assisted Radiology & Surgery, 2011, 6(1): 143-152.
- [17] 李刚,赵静,林凌,等. 光调制技术用于提高光谱法舌诊的测量信噪比[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(1): 192-195.
- [18] 赵静,李哲,李刚,等. 反射率归一化用于提高光谱法舌诊信噪比[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(6): 1624-1627.

- [19] 蔡铁珩, 曹美玲, 张新峰, 等. 基于有限维模型的舌图像颜色校正方法可行性研究[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2007, 9(5): 116-121.
- [20] 蔡铁珩, 曹美玲, 张新峰, 等. 舌色有限维模型分析的初步研究[J]. 北京生物医学工程, 2007, 26(6): 579-583.
- [21] 曾常春, 杨利, 许颖, 等. 516 例正常人舌色与唇色的可见反射光谱色度学调查[J]. 中西医结合学报, 2011, 9(9): 948-954.
- [22] 孔猛, 曾常春, 刘友章, 等. 基于可见反射光谱法的中医舌诊定量与归类分析研究[J]. 中西医结合学报, 2011, 9(1): 29-35.
- [23] 林凌, 张晶, 解鑫, 等. 人体舌苔的光谱学研究[J]. 纳米技术与精密工程, 2010, 8(1): 54-58.
- [24] 龚小进, 王刚, 欧中华, 等. 高光谱成像技术在生物医学中的应用[J]. 激光生物学报, 2016, 25(4): 289-294, 314.
- [25] 李刚, 赵静, 林凌, 等. X-Y 振镜扫描式舌诊高光谱采集系统[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(12): 3347-3351.
- [26] 李家星, 吴红杰, 李刚, 等. 高光谱成像技术在中医证候客观诊断中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(11): 3072-3075.
- [27] 李庆利, 薛永祺, 王建宇, 等. 高光谱成像系统在中医舌诊中的应用研究[J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25(6): 465-468.
- [28] 李庆利, 薛永祺, 王建宇, 等. 基于超光谱图像的舌体分割算法[J]. 红外与毫米波学报, 2007, 26(1): 77-80.
- [29] 李庆利, 薛永祺, 刘治, 等. 基于高光谱成像技术的中医舌纹分析算法[J]. 光电工程, 2007, 34(4): 60-64.
- [30] 李庆利, 薛永祺, 刘治. 基于高光谱成像技术的中医舌象辅助诊断系统[J]. 生物医学工程学报, 2008, 25(2): 368-371.
- [31] 赵静, 林凌, 陆小左, 等. 血细胞压积与平均血红蛋白浓度的可见-近红外光谱无创检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(3): 652-655.
- [32] 李家星, 林凌, 李哲, 等. 基于舌近红外反射光谱的人体血清多种蛋白含量无创测量[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(11): 2992-2996.
- [33] 林凌, 李哲, 李晓霞, 等. 基于舌诊 NIR 反射光谱血清总蛋白含量的无创测量[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(8): 2110-2116.
- [34] 李刚, 赵静, 李家星, 等. 舌诊归一化反射光谱用于红细胞数无创测量[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(5): 1328-1331.
- [35] 李刚, 赵静, 李家星, 等. 可见-近红外反射光谱用于疾病快速筛查[J]. 光学学报, 2011, 31(3): 183-188.
- [36] 李刚, 赵静, 张晶, 等. 基于光谱法舌诊的脂肪肝快速诊断[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(10): 2748-2751.
- [37] 应荐, 沈雪勇, 张志枫, 等. 乳腺增生病患者舌面各部红外辐射光谱比较[J]. 上海中医药大学学报, 2006, 20(1): 38-41.
- [38] 严文娟, 林凌, 赵静, 等. 概率神经网络用于舌诊的近红外光谱分类[J]. 激光与红外, 2010, 40(11): 1201-1204.
- [39] 严文娟, 李刚, 林凌, 等. 人工神经网络在舌诊近红外光谱中的应用研究[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(27): 132-135.
- [40] 严文娟, 李刚, 林凌. 基于近红外光谱的舌诊疾病识别的研究[J]. 红外技术, 2010, 32(8): 487-490, 494.
- [41] 严文娟, 张晶, 胡广芹, 等. BP 神经网络用于肝炎患者舌诊近红外光谱的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(10): 2628-2631.
- [42] 严文娟, 张晶, 赵静, 等. 基于 PCA-BP 肝炎患者舌诊的光谱识别[J]. 天津大学学报: 自然科学与工程技术版, 2011, 44(4): 287-290.
- [43] 许颖, 曾常春, 蔡修宇, 等. 原发性肝癌不同中医证型患者舌色的光谱测色及其色度学比较研究[J]. 中西医结合学报, 2012, 10(11): 1263-1271.
- [44] 程南方. 基于光谱技术对高血压病两证舌象的定量研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2012.
- [45] 林凌, 李哲, 张晶, 等. 可见光光谱用于表寒里热证舌诊的快速分类[J]. 中华中医药杂志, 2012, 27(1): 169-172.
- [46] 林凌, 张晶, 赵静, 等. 基于光谱法的中医证型快速诊断[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(3): 677-680.
- [47] 许家佗, 吴宏进, 陆璐明, 等. 不同健康状态的面部光谱色度特征分析[J]. 生物医学工程学报, 2012, 29(6): 1062-1067.
- [48] 吴宏进, 许家佗, 陆璐明, 等. 亚健康状态的面部光谱与五脏色度特征[J]. 中西医结合学报, 2012, 10(1): 59-66.
- [49] 吴宏进, 许家佗, 张志枫, 等. 疾病状态五脏病面色光谱色度特征研究[J]. 中华中医药杂志, 2012, 27(4): 1029-1033.
- [50] 于翠荣, 王新全, 齐敏璐, 等. 光谱及光谱成像技术在生物医学领域的应用[J]. 量子电子学报, 2015, 32(6): 641-647.

(收稿日期: 2017-11-07)

(修回日期: 2017-12-06; 编辑: 向宇雁)

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

内含全文 PDF 和增强文件

