

## 舌体高光谱的高血压患者中合并冠心病的筛查方法

赵静<sup>1</sup>, 马贝<sup>1</sup>, 刘明<sup>2\*</sup>, 刘珍珍<sup>1</sup>, 李刚<sup>3</sup>, 李哲<sup>4</sup>, 王益民<sup>1\*</sup>

1. 天津中医药大学中药制药工程学院, 天津 300193
2. 中国医学科学院生物医学工程研究所, 天津 300192
3. 天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072
4. 北京工业大学信息学部, 北京 100124

**摘要** 高血压合并冠心病是高血压疾病的一类严重并发症。目前高血压患者对合并冠心病的情况检测不及时, 容易导致严重事件的发生, 其致残率、致死率极高, 严重影响患者的生活质量。因此对高血压患者合并冠心病的早期发现对预防更严重事件的发生显得尤为重要。舌体信息与心血管功能关系密切, 为此, 提出一种基于舌体高光谱用于高血压患者中合并冠心病筛查新方法。采集 154 例心血管科门诊患者舌体 377.8~1 049.1 nm 高光谱数据并记录临床诊断信息。对高血压患者组及高血压合并冠心病患者组舌体光谱比较发现, 在 500~600 nm 波段之间, 两组光谱存在显著性差异。基于中医舌诊分区理论, 对舌体进行区域划分, 划分为舌尖、舌左、舌中、舌右以及舌根五个区域。各舌体分区在波长 509.6 和 561.2 nm 以及 540.5 和 576.7 nm 均存在极大和极小值, 这与血红蛋白对光的吸收特征相吻合。对组间各舌体区域光谱特征进行差异性分析。T 检验分析结果显示高血压患者组与高血压合并冠心病患者组舌尖与舌中区域光谱具有显著性差异。基于高血压患者组与高血压合并冠心病患者组舌体不同区域光谱特征的差异性, 利用神经网络, 选取 500~600 nm 舌尖与舌中光谱数据进行后续高血压患者组与高血压合并冠心病患者组分类辨识模型的建立。选用准确度、灵敏度以及特异性作为模型预测能力的评价指标。最终获得模型的预测准确度、灵敏度以及特异性分别为 84.78%, 86.95% 和 82.61%。实验结果表明高血压患者与高血压合并冠心病患者舌体高光谱信息之间存在显著性差异。利用舌体高光谱所建立的分类模型能够用于高血压以及高血压合并冠心病患者的无创辨识, 为高血压患者中高血压合并冠心病的早期发现提供一种有效筛查手段。

**关键词** 中医; 舌诊; 高光谱; 分区; 高血压; 高血压合并冠心病

**中图分类号:** O433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)02-0512-05

### 引言

高血压(hypertension disease, HD)是目前最常见的慢性疾病之一。长期高血压疾病的存在, 容易导致心脑血管相关并发症的发生, 其中高血压合并冠心病(hypertension disease complicated with coronary heart disease, HD-CHD)就是一类严重并发症<sup>[1]</sup>。治疗不及时, 其致残、致死率高, 严重影响患者的生活质量。目前冠状动脉造影是诊断冠心病(coronary heart disease, CHD)的一种常用且有效的方法<sup>[2-4]</sup>。但检测费用昂贵, 通常被有症状患者所选择, 而无症状患者通常并不能及时的发现自身的病情, 只有在不良症状后才意识到心脏

可能有病, 必须进行相应临床检测。这在一定的程度上会延误病情, 错过了早期最佳治疗时间。因此, HD-CHD 的早期诊断对于预防不良事件如心衰等的发生显得尤为关键。

目前临床对早期无症状 CHD 的诊断主要通过血液动力学检查和心电图检测<sup>[5-6]</sup>。其中心电图检测, 诊断准确率不高。血液动力学检查常用的有超声心动图法以及心阻抗血流图法。超声心动图法分有创和无创两种方法。其中无创探测方法为胸外探测式超声心动图, 其检测准确率不高, 只有 80% 左右。心阻抗血流图法使用单一测量频率, 选取阻抗流量进行阻抗血流描记, 其定量性、定位性以及重复性还有待提高。

光谱技术以其快速、便捷、高效的特点被应用到生物医

收稿日期: 2020-12-07, 修订日期: 2021-02-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(81774148, 81973699), 国家重点研发计划项目(2017YFC1703305)资助

作者简介: 赵静, 女, 1982年生, 天津中医药大学副研究员 e-mail: cetty3190@163.com

\* 通讯作者 e-mail: liuming\_tju@163.com; ylzmyh@163.com

学领域。大量实验验证了光作为能量的载体, 经过组织体出射后携带了大量人体的生理和病理信息, 基于此, 结合数据分析算法, 即能对组织体的生理和病理状态做出辨识<sup>[7-9]</sup>。高光谱技术能够获得整个被测对象的光谱数据, 与传统单点光谱技术相比, 提供了更丰富的被测对象光谱信息<sup>[10]</sup>。故将高光谱用于 HD 及 HD-CHD 患者的分类辨识。

在测量点的选取上, 舌与心在生理和病理方面有着密切联系。《灵枢·脉度》中说: “舌为心之苗”。心血管功能的改变, 常常能够引起舌象的变化。Burmeister 和 Arnold 等<sup>[11]</sup>用

实验证明了比起指尖以及手臂等部位, 舌体布满血管并且没有脂肪组织, 舌体微循环信息能够更准确的反映人体的生理和病理状态。

考虑到舌体的特殊位置, 采用测量舌体表面高光谱的方法可以实现舌体光学信息的非接触测量。因此, 基于舌体高光谱信息, 结合 BP 神经网络, 建立 HD 与 HD-CHD 患者的分类辨识模型, 以期 HD 患者中 HD-CHD 的发生提供一种早期辨识新方法, 从而预防更严重的事件发生。整体实验流程如图 1 所示。

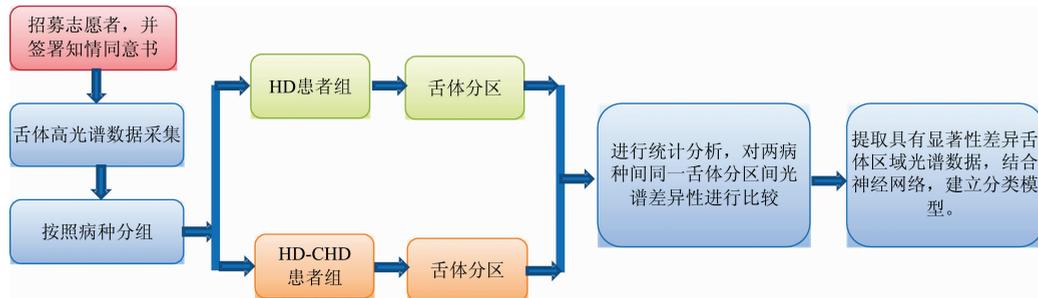


图 1 实验总体框架

Fig. 1 Experiment framework

## 1 实验部分

### 1.1 数据采集

154 例病例均来源于天津市天津中医药大学第二附属医院心血管科门诊患者。年龄集中于 50~70 岁, 平均年龄为 61.83 岁。所有志愿者均签署知情同意书, 符合赫尔辛基宣言(adhered to the principles of Declaration of Helsinki)。西医诊断标准参照《1999 年 WHO/ISH 高血压治疗指南》以及国际心脏病学会和协会及世界卫生组织临床命名标准化联合专题组报告《缺血性心脏病的命名及诊断标准》。经临床医师诊断, 对符合纳入标准的患者进行舌体高光谱数据采集。

### 1.2 采集系统

高光谱数据采集系统包括光源、光源支撑架、高光谱采集模块、头部支撑架、计算机、以及数据传输线。其中, 光源采用美国产 LOWEL Pro 光源, 功率为 250 W, 色温 3 200 K, 波长范围为 250~2 500 nm。高光谱采集模块为美国 SOC 公司生产的 SOC710 高光谱成像仪。光谱范围为 377.8~1 049.1 nm, 光谱分辨率为 5.6 nm, 波段数 128。高光谱成像仪采集到的舌面高光谱数据通过数据线传输到计算机进行处理与保存。为了保证不同被测患者舌体位置的一致性, 实验设置了头部支撑架, 用于患者下颌位置的固定。

测量前, 光源预热 15 min, 使得光源达到稳定状态。对被测患者进行伸舌训练。考虑到伸舌时间对于舌体血液充盈的影响, 控制患者数据采集时间在 10 s 之内。

### 1.3 数据处理

为了提高光谱测量信噪比, 消除外界照明以及系统带来的部分误差影响, 对采集到的光谱数据进行归一化处理。由于归一化方法获得的是全波段测量数据的相对比值, 能够有

效去除测量中的系统误差, 提高测量信噪比。具体计算过程如式(1)所示。

$$I_{ij} = \frac{I_{ij} - \max(I_i)}{\max(I_i) - \min(I_i)} \quad (1)$$

式(1)中,  $I_{ij}$  为第  $i$  个患者舌体第  $j$  个波长对应位置的光强度信息;  $\max(I_i)$  为第  $i$  个患者所对应的光强度最大值;  $\min(I_i)$  为第  $i$  个患者所对应的光强度最小值。

按照中医学的舌部分区理论, 舌尖与上焦心肺的病变对应, 而中焦脾胃的病变大都在舌中有所体现, 下焦肾的病变更常显现在舌根部位, 肝胆的病变更多反映于舌两侧<sup>[12]</sup>。基于中医学的舌部分区理论进行舌体区域划分, 并对 HD 及 HD-CHD 患者组间各舌体分区感兴趣区域光谱数据进行差异性分析。首先对各组数据进行正态性检验, 如果符合正态分布, 两组数据间的比较采用独立样本 T 检验, 如果不符合正态分布, 则采用非参数检验。设定  $p < 0.05$  表示两组间具有显著性差异。选取具有显著性差异的舌体分区光谱数据用于后续辨识模型的建立。选取神经网络建立两病种的分类辨识模型。

## 2 结果与讨论

### 2.1 HD 与 HD-CHD 组间不同舌体分区光谱差异性比较

按照病种的不同, 154 例样本分为 HD 患者组和 HD-CHD 患者组。其中 HD 患者组 77 人, HD-CHD 患者组 77 人。为了探究所采集 HD 患者组及 HD-CHD 患者组样本舌象光谱特征, 对所采集的样本不同舌面区域光谱特征, 以及不同病种同一舌面区域光谱特征分别进行比较。将舌面分为舌尖、舌中、舌左、舌右以及舌根五部分。HD 和 HD-CHD 患者组各舌体分区平均归一化光谱比较如图 2 所示。

由图 2 可见, HD 及 HD-CHD 不同舌体分区之间光谱差

异主要存在于 500~600 nm 之间, 同组内各舌体分区在 500~600 nm 之间光谱特征进行比较发现, HD 患者组舌左、舌右以及舌中光谱几乎重合, 无明显差异。然而, HD-CHD 患者组舌左与舌右光谱间无明显差异, 舌中与舌左以及舌右光谱间差异明显。张剑等研究报道随着心血管类疾病的发展、病程的增加, 患者舌象舌形随之发生变化<sup>[13]</sup>。这种差异与长期心血管类疾病冠心病的存在, 造成机体气血津液不足, 久病致虚从而呈现于舌象相关。进一步对图 2 中两病种组光谱

特征比较发现, 两病种组各舌体分区在波长 509.6 和 561.2 nm 以及 540.5 和 576.7 nm 均存在极大和极小值。这与血红蛋白对光的吸收特征相吻合<sup>[14]</sup>。由生物医学光子学理论可知, 人体组织对光的吸收受到血红蛋白含量的影响, 而且在 541.0 及 576.7 nm 左右氧合血红蛋白对光的吸收具有明显的峰值, 而在 509.0 及 560.0 nm 左右对光的吸收具有明显的谷值。由此可见, 舌体组织光谱与人体血液成分血红蛋白对光的吸收息息相关。

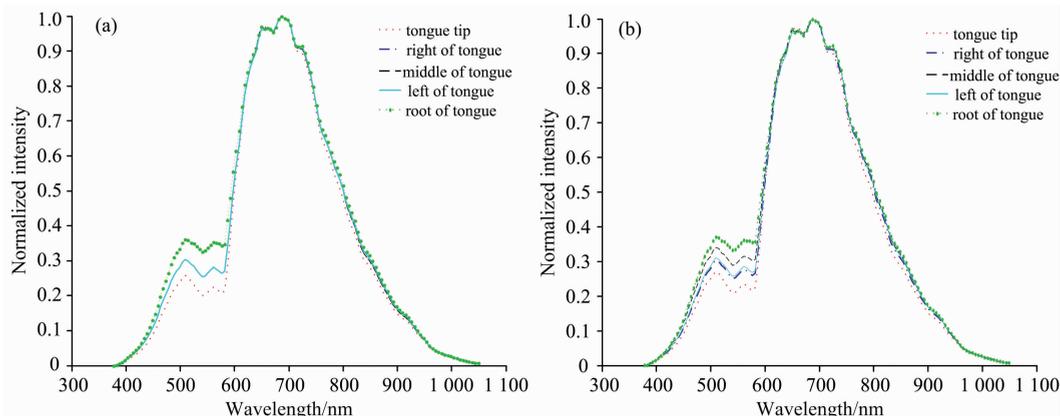


图 2 HD 患者组及 HD-CHD 患者组平均归一化光谱比较

(a): 高血压患者组; (b): 高血压合并冠心病患者组

Fig. 2 Average normalized spectra comparison of HD and HD-CHD

(a): HD patients group; (b): HD-CHD patients group

基于上述实验结果与分析, 分别选取极大值位置 509.6 和 561.2 nm 以及极小值位置 540.5 和 576.7 nm 为特征波长, 利用 spss 软件对不同病种组舌体同一部位归一化光谱数据进行差异性分析。因各组数据均符合正态分布, 故选择独立样本 T 检验进行两组数据间差异性的比较。统计分析结果分别如图 3 所示。

由图 3 可见, HD 与 HD-CHD 组舌体舌尖与舌根均值大小分布具有相同的规律, 均表现为舌根部归一化均值最大, 舌尖部最小。通过统计学分析, 得到两组 509.6 nm 处舌尖部位数据比较  $p$  值为 0.02, 小于 0.05, 表明 HD 与 HD-CHD 患者间在舌尖部位光谱数据间存在显著性差异。对 509.6, 561.2, 540.5 及 576.7 nm 四特征波长处两组归一化光谱数值进行分析, 统计结果显示 HD 与 HD-CHD 患者组间舌中部位  $p$  值均小于 0.05, 说明两组间在舌中部位光谱数据间存在显著性差异。

## 2.2 分类模型

基于 HD 与 HD-CHD 患者组舌体不同区域光谱特征的差异性, 选取 500~600 nm 舌尖与舌中光谱数据进行后续 HD 与 HD-CHD 患者组分类模型的建立。将采集的 154 例样本按照 7:3 的比例分为训练集和测试集。其中 54 例 HD 和 54 例 HD-CHD 共计 108 例样本作为训练集建立模型, 剩余 23 例 HD 和 23 例 HD-CHD 共计 46 例样本作为测试集来对模型性能进行测试。将 500~600 nm 间 21 个波长位置对应归一化光谱数据作为模型的输入, 分类结果作为输出。输出 0 代表 HD 患者, 输出 1 代表 HD-CHD 患者。建立三层 BP

神经网络模型。各层节点数分别为 21, 10 和 1。传输函数分别为 tansig, tansig, 以及 trainingda。用所建模型对测试集 46 例样本进行预测。训练集及测试集模型预测结果如图 4 所示。

为了对所建模型的预测结果进行评价。设定预测结果偏差为  $\pm 0.2$  为预测准确, 分别对模型预测准确率 (accuracy, ACC)、灵敏度 (true positive rate, TPR)、以及特异性 (false positive rate, FPR) 进行计算。设定 HD-CHD 患者为阳性患者 (positive), HD 患者为阴性患者 (negative)。TP 代表 HD-CHD 预测正确样本数, FN 代表 HD-CHD 预测错误样本数, TN 代表 HD 预测正确样本数, FP 代表 HD 预测错误样本数。ACC = (TP + TN) / (TP + FN + TN + FP); TPR = TP / (TP + FN); FPR = TN / (TN + FP); 最终获得测试集模型预测准确率、灵敏度、以及特异性分别为 84.78%, 86.95% 和 82.61%。

## 3 结论

基于中医舌诊理论, 提出一种基于舌体高光谱信息进行 HD 患者中 HD-CHD 无创、快速筛查新方法。实验发现在 500~600 nm 之间, HD 与 HD-CHD 患者间舌尖与舌中区域光谱数据存在显著性差异。选取采集样本的舌尖与舌中高光谱数据, 建立了 HD 及 HD-CHD BP 神经网络辨识模型。模型预测准确率、灵敏度以及特异性分别为 84.78%, 86.95% 和 82.61%。实验结果表明舌体高光谱信息与 HD-CHD 的发

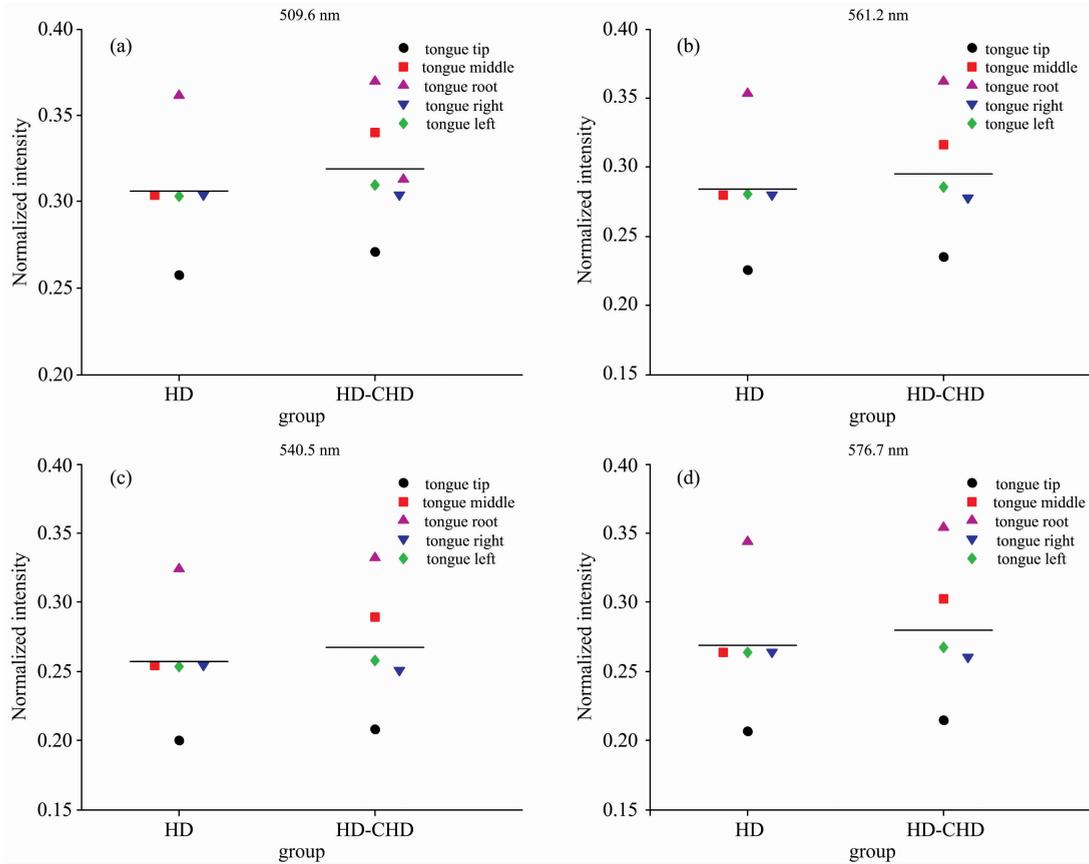


图 3 HD 和 HD-CHD 舌面各区域光谱差异性分析

(a) : 509.6 nm ; (b) : 561.2 nm ; (c) : 540.5 nm ; (d) : 576.7 nm

Fig. 3 Spectral difference analysis of the tongue parts between HD and HD-CHD

(a) : 509.6 nm ; (b) : 561.2 nm ; (c) : 540.5 nm ; (d) : 576.7 nm

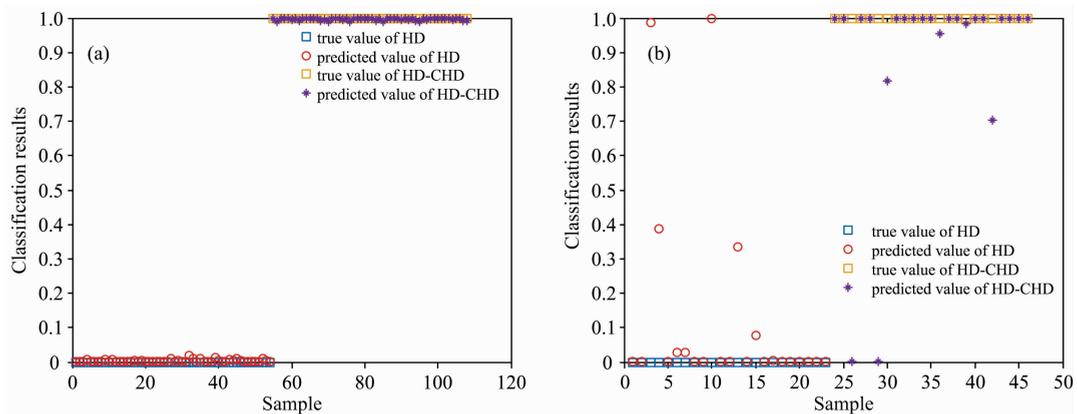


图 4 模型预测结果

(a) : 训练集 ; (b) : 测试集

Fig. 4 Predicted results of model

(a) : Training set ; (b) : Test set

生具有相关性，基于舌体高光谱的 BP 辨识模型能够为 HD 患者中 HD-CHD 患者的发现提供一种新途径，同时也为 HD

患者 HD-CHD 疾病的发生提供早期预警。

## References

- [ 1 ] Escobar E. *Journal of Clinical Hypertension*, 2002, 16(S1): S61.
- [ 2 ] Yamanaka O, Hobbs R E. *Cathet Cardiovasc Diagn*, 2010, 21(1): 28.
- [ 3 ] Jegere S, Narbutė I, Erglis A, et al. *World Journal of Cardiology*, 2014, 6(6): 393.
- [ 4 ] Pontone G, Andreini D, Baggiano A, et al. *Biomed Research International*, 2015, 2015: 297696.
- [ 5 ] Hoit, B. D. *Circulation Cardiovascular Imaging*, 2011, 4(2): 179.
- [ 6 ] Jill J. *JAMA*, 2018, 319(22): 2346.
- [ 7 ] Peters J, Van Wageningen B, Hoogerwerf N, et al. *Prehospital & Disaster Medicine*, 2017, 32(4): 1.
- [ 8 ] Kondepati V R, Heise H M, Backhaus J. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2008, 390(1): 125.
- [ 9 ] Quaresima V, Ferrari M. *Organizational Research Methods*, 2016, 22(1): 46.
- [10] Wehner E, Douglass M R, Oden P I, et al. *Proc. SPIE*, 2011, 7932: 793204.
- [11] Burmeister J J, Arnold M A, Small G W. *Diabetes Technology & Therapeutics*, 2000, 2(1): 5.
- [12] HUANG Jing-bin, XU Jia-tuo, ZHANG Zhi-feng, et al(黄景斌, 许家佗, 张志枫, 等). *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy(中华中医药杂志)*, 2017, 32(3): 1148.
- [13] ZHANG Jian, CHEN Zhi-hui, ZHANG Zhe, et al(张 剑, 陈智慧, 张 哲, 等). *Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine(辽宁中医药大学学报)*, 2013, 15(6): 61.
- [14] LIU Ming, ZHAO Jing, WU Tai-xia, et al(刘 明, 赵 静, 吴太夏, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2018, 38(6): 144.

## Study on Screening of Hypertension Complicated With Coronary Heart Disease Based on Tongue Hyperspectral Imaging

ZHAO Jing<sup>1</sup>, MA Bei<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>2\*</sup>, LIU Zhen-zhen<sup>1</sup>, LI Gang<sup>3</sup>, LI Zhe<sup>4</sup>, WANG Yi-min<sup>1\*</sup>

1. College of Pharmaceutical Engineering of Traditional Chinese Medicine, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300193, China
2. Institute of Biomedical Engineering, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China
3. State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072, China
4. Faculty of Information Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

**Abstract** Coronary heart disease (CHD) is a serious complication of hypertension disease (HD). But this complication can not get timely detected, which is likely to cause serious events and result in extremely high disability rates and mortality. Therefore, early screening is important to provide early intervention to prevent the occurrence of serious events. Tongue manifestation can reflect the condition of the heart. In this paper, we applied tongue hyperspectral imaging to the early screen of the HD complicated with CHD patients. Hyperspectral data of 154 samples were collected from the department of cardiology. The wavelength range of hyperspectral data is 377.38 ~ 1 049.1 nm. The correlated clinical diagnosis was also recorded. Hyperspectral data of the tongue was separated into five parts according to the Chinese medicine theory, which included tongue tip, tongue left, tongue middle, tongue right and tongue root. There are maximum and minimum values at 509.6, 561.2, 540.5 and 576.7 nm. Moreover, this is consistent with the light absorption characteristics of hemoglobin. Then different tongue parts of the two groups were compared. The T-test results showed that there were significant differences between tongue tip and tongue middle in the wavelength region of 500~600 nm. Backpropagation artificial neural network (BPANN) was employed as an identification method for the screening whether or not complicated with CHD. The optimal results of screening model are obtained with an accuracy of 84.78%, sensitivity of 86.95%, and specificity of 82.61%, respectively. Experiment results showed that there were significant differences between HD and HD-CHD hyperspectral data, and hyperspectral imaging of the tongue provides a possible way for screening HD complicated with CHD among HD patients.

**Keywords** Chinese medicine; Tongue; Hyperspectral imaging; Partition; Hypertension disease (HD); Coronary heart disease (CHD)

\* Corresponding authors

(Received Dec. 7, 2020; accepted Feb. 4, 2021)