

基于气体传感器阵列技术的中医电子鼻研究^{*}

□林雪娟 吴青海 李灿东^{**} 郑哲洲

(福建中医药大学中医证研究基地 福州 350122)

郑剑翔(福州大学现代教育技术中心 福州 350122)

摘 要:基于第3代薄膜型气体传感器阵列技术的中医电子鼻(WES-ENO11103-A)是福建中医药大学客座教授吴青海自主研发的新型嗅诊仪。本文对电子鼻的基本组成和工作原理、医用电子鼻技术的发展概况、薄膜型气体传感器阵列技术的特点、自主研发的中医电子鼻简况及前期实验结果进行了介绍,以期对中医临床诊断提供无创、科学、简便、快捷的嗅诊仪器,推动中医诊断技术的发展。

关键词:薄膜型气体传感器阵列 中医电子鼻 嗅诊

doi: 10.3969/j.issn.1674-3849.2012.05.010

嗅气味诊法,简称嗅诊,是中医四诊的重要组成部分,对中医病证诊断具有重要意义。然而由于受到嗅诊的主观性和操作不便性的限制,中医嗅诊在临床上难以发挥应有的作用。而电子鼻技术的发展可为嗅诊的研究和发展提供良好的技术手段。

电子鼻也称人工嗅觉系统,是模仿人类的嗅觉系统,设计研制的一种具有对气体高度交叉敏感系统的智能电子仪器。近几十年来,随着传感器技术的进步和发展,基于先进的气体传感器阵列技术的电子鼻逐渐被运用于医学嗅觉诊断,使肺癌、糖尿病等疾病的诊断变得更加简便、快捷。它不仅具有客观性强、非侵入、无损伤、操作简便快捷等优点,更重要的是它所获得的是样品气味的整体信息^[1],这与中医整体观念的思想是相符的。

本校客座教授吴青海是传感器研究专家,其研发的氢气传感器曾被正式用于美国国家航空航天局太空航行计划中火箭发射燃料(液态氢)的泄露检测。近年来,他又开展了基于第3代薄膜型气体传感器阵列技术的中医电子鼻研究,现将部分研究结果介绍如下。

一、电子鼻的基本组成和工作原理

电子鼻是由有选择性的电化学传感器阵列和适当的识别方法组成的仪器,能识别简单和复杂的气味^[2]。它主要由气体传感器阵列、信号预处理及模式识别三大部分组成。电子鼻的工作原理是模拟人的嗅觉对被测气体进行感知、分析和识别。其工作过程是利用气体传感器阵列独特的性能来探测气体/气味,产生嗅觉响应;利用信号处理技术将嗅觉响应转换为视觉响应,显示出被测气体/气味的一组

收稿日期:2012-08-07

修回日期:2012-10-19

^{*} 国家自然科学基金青年科学基金项目(30901899):基于阵列式气体传感器(电子鼻)技术的青年学生气味图谱研究,负责人:林雪娟,福建省教育厅A类项目(JA09132):运用电子鼻技术进行青年学生气味图谱的研究,负责人:林雪娟,福建省发改委产业技术开发项目:基于气体传感器阵列技术的医用电子鼻研发,负责人:李灿东。

^{**} 通讯作者:李灿东,教授,博士研究生导师,主要研究方向:中医证的研究,Tel:0591-22861513,E-mail:fjzyled@126.com。

随时间变化的曲线族;每种(单一或组分)气体/气味(含其不同的浓度)的响应曲线族都有其特征,像每个人的指纹,独一无二,称为“气味图谱”;最后通过模式识别作出判断,把提取的特征参数进行模式识别,运用一定的算法完成气味/气体的定性定量辨识。简而言之,电子鼻的工作过程可归纳为:传感器阵列→预处理电路→神经网络和各种算法→计算机识别^[3,4]。

阵列式气体传感器是电子鼻系统的核心部分。根据材料类型的不同,现有的传感器及其阵列可分为3大类^[5],分别为金属氧化物型半导体传感器及其阵列、导电高分子传感器及其阵列和质量传感器及其阵列。其中金属氧化物型半导体传感器及其阵列是目前应用最广泛的气体传感器。

二、人体气味产生的机理及特征

人体是一个气味源。免疫学和分子生物学的研究已经证实,人类具有和免疫反应相联系的独一无二的气味特征。由基因控制的人白细胞抗原(Human Leucocyte Antigens, HLA)控制着人体的气味图象^[6]。因此人体气味的变化是由遗传基因控制的。同时,人体在新陈代谢过程中产生各种各样的气味,每时每刻都在向外散发。由于每个人的代谢机能不同,体味也千差万别。不同的人种及同一人种的不同个体都有不同的气味,人体气味中包含有足够的信息特征用于识别不同的个体,具有信息素的功能^[7,8]。基于人体气味的独特性,其在捕获人体特征信息方面具有重要意义。

人体的气味又与身体状态相关。正常人不会散发出异常的气味,但当人体处于疾病状态时,身体就会通过皮肤黏膜或呼吸道分泌物或胃肠道分泌物及排泄物散发出特殊的异常气味,这些异常气味很可能是某些疾病的特殊标志,如糖尿病患者常散发出丙酮酸的气味;伤寒患者呼气中常有烤面包的气味;肺溃疡、支气管扩张合并感染的病人呼气中常有脓臭味等。目前,国内外医学界利用气味作临床诊断的疾病不少于40种^[9]。因此,通过嗅闻异常气味辨识疾病是早期诊断疾病的有效方法之一。

祖国传统医学历来将嗅诊作为临床采集病情资料的重要方法之一,通过嗅气味可以诊病辨证,例如张仲景的《金匱要略》以吐痰“腥臭”作为诊断肺病的重要指征,而一般气味酸腐臭秽者,多属实

热;气味偏淡或微有腥臭者,多属虚寒。可见,嗅气味对中医病证诊断具有重要意义。

中医电子鼻正是通过识别和分析不同个体、不同病证患者气味的整体信息特征,对人体健康状态做出判断的。

三、医用电子鼻技术的发展概况

电子鼻在工业危险气体泄漏探测、航天航空、环境检测、食品安全、临床诊断、中药鉴别等许多行业均有着广阔的应用前景。其用于临床诊断是电子鼻发展应用中长远的目标,英国、美国、德国、法国、意大利等国家的科研机构和公司等对医用电子鼻的研究已经10余年,成果较为显著^[10,11];但其关键的气体传感器多采用导电高分子膜,存在灵敏度低和易受湿度影响等严重问题;而少数采用金属氧化物半导体膜的,也只能用厚膜技术制成第2代气体传感器,其灵敏度和稳定性都有待提高。我国对电子鼻的研究起步较晚,尤其用于临床诊断的人工嗅觉系统研究很少,虽然取得了一些成果,但与国外尚有较大差距。

四、基于薄膜型气体传感器阵列技术的中医电子鼻

1. 薄膜型气体传感器阵列技术

本校客座教授吴青海在国内及美国从事传感器技术研究长达40余年,曾是美国CWRU电子设计中心(EDC)的资深研究员(EDC是世上现代传感器的诞生地,全世界第一个现代硅压力传感器发明地,是国际传感器学术组织的发源地与组织单位)。2004年回国后他运用多种最新传感器制造技术,包括微机电系统、纳米、薄膜和硅集成电路技术,自主研发了第3代薄膜型气体传感器阵列。此类传感器阵列的特点是灵敏度高、稳定性好,受温度、湿度的影响较小。阵列内一般含有4~10个不同传感器和2~5个加热器。传感器由掺有不同物质的不同氧化物半导体薄膜组成。加热器与传感器共在一个基片上,使阵列中各个传感器达到工作温度。当传感器处于高于200℃以上的温度时,半导体传感器的电阻值会随气味产生改变,对同一气味不同传感器的电阻值变化是不同的,对不同气味其变化也不同,即每个传感器对不同气味均有特征响应。多个传感器组成阵列同时对同一气味进行探测时,各传感器

产生的不同特征响应随时间变化输出,即形成该被测气味的特征,它是被测气味整体信息的反映,为该气味的特征图谱,配合计算机软件技术,就可以区分不同气味。

2. 自主研发的中医电子鼻(WES-ENO11103-A)

吴青海教授将自主研发的第3代薄膜型气体传感器阵列技术与计算机软件技术结合又研制出一系列先进的气味智能探测电子鼻。此系列电子鼻的最主要特点是高灵敏度和高稳定性,其灵敏度高于1 PPM(百万分之一)。相关产品已在国内多个重要部门,包括反恐、刑侦、鉴酒、食品安全等领域迅速得到成功应用。

其研发的中医电子鼻(WES-ENO11103-A)(见图1)由控制主机、采样装置和计算机软件与显示3个部分组成。控制主机包含信号处理、电源管理、数据采集等核心电路,以及气味强度显示和各种接口等。采样装置包含测量气室、气体加热、进样口、流动控制装置,具有收集包括口腔、鼻腔呼气,以及尿液气味等的收集空间。其测量气室内置10个薄膜型金属氧化物气体传感器组成的传感器阵列,



图1 中医电子鼻(WES-ENO11103-A)

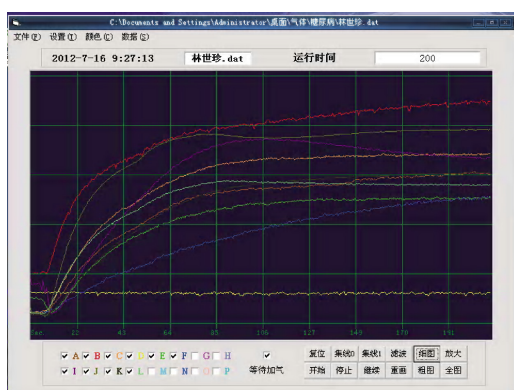


图2 口腔呼气图谱

传感器分别以A~J命名。计算机显示则呈现各传感器响应被测气味随时间变化输出的10条曲线。计算机软件提供人与机器友好界面,提供图谱响应曲线振幅、时间等信息及判断鉴别结果真或假的识别软件。

该中医电子鼻可用于人体气味及中药的检测与分析,最重要的手段是观测与利用其响应画面,即气味图谱。当气体通过传感器阵列时,10个传感器同时对同一被测气体进行探测,产生10条不同颜色的响应曲线随时间输出,形成该被测气体的特征气味图谱(见图2)。每条曲线是阵列内相应传感器对被测气味的响应,曲线的振幅是对气味反应的强度,曲线从快速上升到平稳不变所需时间称上升时间,这个时间越短表示反应越快。曲线振幅、上升快慢都是电子鼻对某种被测气味响应特性的体现。前期实验表明,在健康状态下,同一个体不同时段的气味图谱特征几乎一致,不同个体间差异显著。对表证患者口腔呼气的气味图谱特征研究显示,表证患者口腔呼气的气味较健康人浓烈,且表热证患者气味变化较表寒证患者更明显,本中医电子鼻能够较为敏感和准确地辨识表证患者口腔呼气的气味特征及其寒热病性。

电子鼻作为一种非侵入型的人体健康状态和病证诊断仪器已成为国际医疗诊断仪器研发的发展趋势。同时运用电子鼻这种高科技技术为中医诊断服务,使祖国医学发扬光大,也是中医诊断技术的发展趋势。因此,开发研制基于第3代薄膜型阵列式气体传感器技术的中医电子鼻,可为中医临床诊断提供无创、科学、简便、快捷的嗅诊仪器,对中医诊断技术的发展具有重要意义和良好的应用前景。

参考文献

- 1 Ghasemi-Varnamkhasti M, Mohtasebi SS, Siadat M, et al. Meat Quality Assessment by Electronic Nose (Machine Olfaction Technology). *Sensors*, 2009, 9(8):6058~6083.
- 2 Gardner JW, Bartlett PN. A brief history of electronic nose. *Sensors and Actuators B*, 1994, 18(19):211~220.
- 3 Gardner JW, Bartlett PN. Electronic noses principles and applications. Oxford: Oxford University Press, 1999:10~21.
- 4 于勇, 王俊, 周鸣. 电子鼻技术的研究进展及其在农产品加工中的应用. *浙江大学学报农业与生命科学版*, 2003, 29(5):579~584.
- 5 祝佳婧. 电子鼻传感器技术的研制进展. *北京生物医学工程*, 2002, 21(4):298~301.

- 6 Ferstl KF, Eygert E. MHC-related odours in humans, chemical signals in vertebrates VI. Plenum Press, 1991:205~211.
- 7 Reilly JT. Quantitative comparison of female axillary secretions as a function of the menstrual cycle phase. *Chemical Senses*, 1996, 21:661.
- 8 Chen D, Haviland-Jones J. Human olfactory communication of emotion. *Perceptual and Motor Skills*, 2000, 91(3):771~781.
- 9 吴德华, 张林. 人体气味的可变性. 警犬, 2004, 20(5):6~7.
- 10 何庆华, 王正国, 田逢春, 等. 电子鼻技术在医学中的应用. 中国医学物理学杂志, 2010, 27(5):2125~2127, 2132.
- 11 颜黄苹, 黄元庆. 人工嗅觉系统及其在临床诊断中的应用. 传感器世界, 2006, 12(9):6~9, 29.

Study on TCM Electronic Nose based on Gas Sensors Array Technology

Lin Xuejuan¹, Wu Qinghai¹, Li Candong¹, Zheng Zhezhou¹, Zheng Jianxiang²

(1. Research Base of TCM Syndrome, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, China;
2. Modern Educational Technology Center of Fuzhou University, Fuzhou 350122, China)

Abstract: TCM electronic nose (WES-ENO11103-A) based on the 3rd generation thin film of gas sensors array technology is a new kind of olfaction examination instrument which was independently researched and developed by Prof. Wu Qinghai. Professor Wu is a visiting professor at Fujian University of Traditional Chinese Medicine. This paper introduced basic components and working principle of electronic nose, the development overview of medical electronic nose technology, and technical features of thin film of gas sensors array technology. The brief overview of TCM electronic nose is the preliminary experimental result which is an independent research and development of TCM diagnostic technique.

Keywords: A thin film of gas sensors array, TCM electronic nose, olfaction examination

(责任编辑 李沙沙 张志华, 责任译审 王 晶)