

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2016.12.008

专题:数字诊疗装备研发

新一代常温运行心磁图仪设备研发

国强,廖艳苹,郑宇

哈尔滨工程大学,黑龙江 哈尔滨 150001

【摘要】提前预知心脏疾病不再是奢求,“非接触式无创伤心脏磁图检测诊断系统”项目荣获2016年度国家重点研发计划“数字诊疗装备研发”重点专项基金支持,用于常温运行的心磁图仪有望在2018年问世。该项目研究团队通过引进国外所研制的高灵敏度常温磁性材料梯度仪,并在此基础上研制用于常温情况下运行的心磁图仪。该系统研发新一代非接触式无创伤心脏磁图检测诊断系统关键技术。该课题的研发有利于加快推进我国心脏病医疗器械领域创新链与产业链的整合,促进我国心磁图仪诊疗装备整体进入国际先进水平行列。

【关键词】心脏磁图仪;心磁信号处理;常温

【中图分类号】 TN953.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1005-202X(2016)12-1221-04

Development of magnetocardiography operating at room temperature

GUO Qiang, LIAO Yanping, ZHENG Yu

Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

Abstract: The increasing burden of cardiovascular disease has become a major public health problem. Project titled "Contactless non-invasive cardiac magnetic detection and diagnosis system" is funded by the 2016 National Key Research and Development Program "Digital Medical Equipment Research and Development". Research team of the project introduces the high sensitivity gradient instrument of room temperature developed in foreign. Based on the introduced gradient instrument, the research team will develop a magnetocardiograph operating at room temperature in 2018. A new generation of contactless non-invasive cardiac magnetic detection and diagnosis system is developed, aiming to apply magnetocardiograph for cardiac magnetic measurement at room temperature. The research and development of the program are conducive to accelerate the integration of innovation chain and industrial chain in the field of heart disease and medical device, and to promote the overall development of the medical equipment in China's core magnetocardiograph instrument to enter the ranks of the international advanced level.

Keywords: magnetocardiography instrument; cardiac magnetic signal processing; room temperature

前言

根据国家心血管病中心发布的《中国心血管病报告2015》数据显示:目前,在居民所有死亡原因中,心血管疾病的死亡率是最高的,其中,农村的比例为44.06%,城市的比例为42.51%^[1]。心血管疾病所带来的负担越来越重,已经成为严重的公共卫生问题。因此,对心血管疾病的防治工作必须加强。医学研究表明:心磁图技术是患者发病早期或出现病

状反应时检测心脏状况最有效的方法。因此,在国内医疗单位大力推广心磁图仪对于提升我国心血管疾病防治能力、改善民生具有重要意义^[2-3]。

目前为止,检测微弱的心磁信号的方法主要有磁通计(梯度仪)和超导量子干涉仪^[4-5]。目前国际上心磁图仪研究机构主要针对的方法是第二种^[6]。后者在进行心磁数据测量时由于需要利用液氦或液氮在零下269℃的低温保持器中使金属铌成为超导体^[7-8]。因而其正常工作维护费用较高,一次超导量子心脏磁图磁检查动辄上万元的花费对于很多患有心血管慢性疾病的家庭来说无疑是一笔巨大的开销,因此研制用于常温运行、维护成本低的心磁图仪具有重要的社会效益。

【收稿日期】 2016-11-08

【基金项目】 国家重点研发计划(2016YFC0101700)

【作者简介】 国强,博士,教授,博士生导师,研究方向:通信及雷达对抗领域的理论与技术实现,E-mail: guoqiang@hrbeu.edu.cn

除此之外,国内外心磁图仪的研发目前所遇到的主要问题是实际的健康人和病变后心磁数据^[9-11]很难收集,因此难以进行进一步的病理分析和研究。目前,我们购买使用国外心磁图仪设备的同时,必须为国外的研究部门提供心磁疾病的数据,并且通过该设备获得的数据均是生产厂家加密后的结果,我们并不能分析。因此我国目前急需研发应用于临床医学的新型心磁图仪和相关技术。在有能力自主研发与生产心磁图仪设备的前提下,才有可能逐步完善适应我国国民的病例数据库,逐步完善和规范我国基于心磁图仪设备诊疗的技术参数标准,进而在数据收集方面取得突破,构建心磁图信号病例对比数据库,从而突破国外的技术壁垒,走在世界前列。

近些年,国际上制造感应磁强计的技术有了提高,从灵敏度方面有不次于超导量子干涉仪的传感器件。同时磁感应传感器可以在常温条件下工作,也就是没有所需环境的限制,这样可以节省维护成本,在制造过程中也大大的降低了生产成本。这样的传感器现今被使用于宇航技术、地磁研究中。基于此,哈尔滨工程大学与乌克兰某研发团队将联合研发基于室温传感系统的新一代心磁图仪。该设备没有使用降低温度的恒冷装置,生产感应传感器的成本大大低于超导量子干涉仪,该设备还可以使用多个感应传感器来构成测量系统,该设备可以放置在尽量贴近患者心脏的位置。从几个通道同时获得的信息可以起到提高外部噪声过滤性作用,还可以提高心脏主动电场特性的测量精度。该新型感应传感器的心磁图仪可以免去高昂的维护费用,也可以大大降低设备的成本。因此,这种新型心磁图仪可以如同心电图仪一样将被广泛应用于医疗单位。

1 研究目标

本项目根据国家重点研发计划“数字诊疗装备研发”重点专项指南精神抢抓健康领域新一轮科技革命的契机,旨在通过对已完成研究的高灵敏度磁梯度仪的基础之上研发常温运行心磁图仪,以早期诊断、精确诊断、微创治疗、精准治疗为方向,研究心脏磁感应强度分布图可视化成像技术进而研发大型心磁诊疗设备重大战略性产品,该产品系统加强核心部件和关键技术攻关,重点突破领域内引领性前沿技术:常温环境下弱磁检测的高灵敏度磁性材料磁梯度仪、弱磁信号预处理技术和空间滤波技术、心磁信号的特征提取模型分析及心磁信号成像技术,协同推进心脏病检测技术提升、标准体系建设、应用解决方案、示范使用并进行评价综述研究等工作,以此促进我国心脏疾病方面设备的创新链和产业链的结合,促进我国心磁图仪诊疗装备整体进入国际先进行列。该项目属于本次专项指南中的数字诊疗装备研发,本项目的成功研发将填补国际该领域研究的技术空白,对指南中新型前沿成像技术的研发具有重要支撑作用。

2 研究内容

2.1 心磁信号的测量技术

心磁测量系统主要有高灵敏度磁性材料制成的磁力计、可移动无磁观测床、补偿屏蔽的线圈系统和数据采集、测试与处理系统(图1)。并配备专用计算机进行相对应的测量数据处理程序(空间噪声干扰过滤、信号平均化处理、心脏产生电流信号的重建、动态模拟、反演问题处理等方面),通过获取的诊断参数进行判断心脏是否有病变,及发生病变的确切位置和病变的严重程度等。

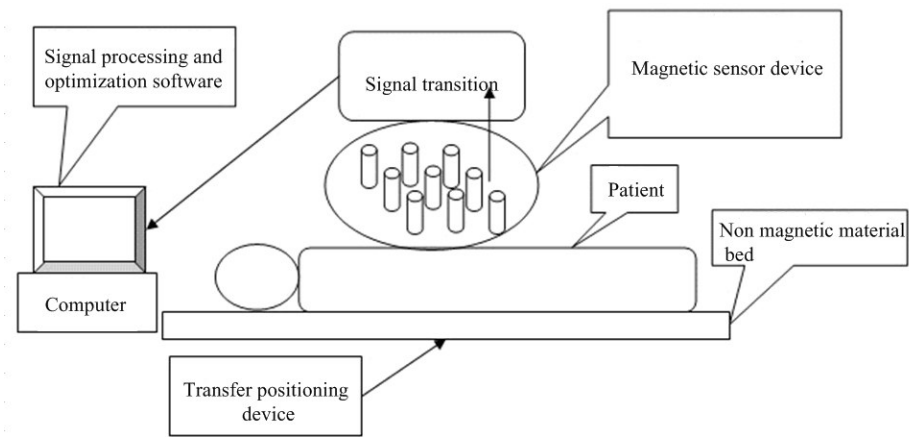


图1 心磁测量系统

Fig.1 Cardiac magnetic signal measurement system

心磁的测量技术主要有两种,一种用磁力计(梯度仪),另一种用超导量子干涉仪。本系统中采用第一种检测技术,应用哈尔滨工程大学和乌克兰某研发团队的联合研究技术即第二代心磁图仪的传感系统检测超弱的生物磁场。目前已研制成功高灵敏度磁性材料制成的磁力计,并且通过实验验证可以采集心脏磁场发出的真实信号。采集到的心磁信号来自于人体躯干上面的多个采集点,这些采集点均匀的分布于测量平面,测量平面大小为50 cm×50 cm。

2.2 心磁信号分析前的预处理技术

测量得到的心磁信号通过测量系统时,已经完成了简单的抗噪声、干扰的过程,但该测量信号的信噪比及信号的分析精度还不够,所以需要对测量到的信号进一步降噪完成信号的匹配和基线平移处理,这些都是心磁信号分析前必须要做的的预处理工作。

2.3 心磁信号的空、频滤波技术

心磁信号是随着空间三维坐标位置(X,Y,Z)变化而变化的数值,因此通过建立心磁信号的数学模型,并对心磁信号的空、频滤波算法展开研究,并对算法进行仿真实现,通过试验仿真验证算法的有效性。通过对检测到的心磁信号进行空、频滤波后,可以有效地提高对心脏信号源的估计精度。

2.4 心脏磁感应强度分布图及可视化

通过高灵敏度磁性材料获取的心磁信号来反推人体心脏的电磁特性,利用计算机将电磁特性转换成可视化的图像,就是心磁图(Magnetocardiography, MCG)。MCG的原理是对心动周期中心脏电活动引起的微小磁场进行测定。心磁信息的转换来源于心肌周期性的收缩,细胞和容积电流在体表附近形成的周期性磁场随时间的变化曲线就称为MCG。目前用于诊断的心磁图包括心脏电流密度图和心磁等高线图两种。由该磁场可以获得三维可视化图形,通过对大量病人的病变图形分析获得病变特征。除此之外,由于心脏运动具有混沌现象,用相空间重构法对心脏的混沌特征进行分析,找到心脏病理特征,便可以通过心磁图病理特征的对比得到患者是否患病的准确信息。

2.5 心脏磁场源的分析技术

心脏作为人类身体的一个重要器官,心脏的生理结构极其复杂,到目前为止,对心脏磁场的模型建立并没有一个统一的精准描述。该系统要通过心肌细胞的周期性活动引起的电流密度分布来求取心脏

的磁场,这种心脏磁场模型的建立分析是分析心脏磁场源中的正问题的求解。

心脏磁场信息分析软件整合了多个心脏磁场模型,通过对这些模型的建立,来研究人体心脏的磁场源位置和强度,来进行心脏磁场分析,实现多维度分析,以提高精度。项目专家组已经完成了对于测量磁场的信号反演,可以根据测量磁场还原图像,通过对多例不同特征的真实病例数据采用特征提取,建立数据库,进而建立便于医生使用的第二代心磁图仪人机交互界面。

3 预期效益

心磁图仪是研究者根据人体心脏的电磁场信号研究出来的没有创伤的心脏病诊断仪器,该仪器通过测量心脏的电磁场信号来分析心脏的电磁特性,并配备专门的计算机进行数据处理及获得可视化图像。1961年,Mcfee和Banle获得了第一份心磁图,到目前为止,该项技术已经逐渐走向成熟开始进行临床应用。它具有较高的临床诊断率和较好的疾病筛选效果。与传统的心电图比较,它具有心脏信号精确度高,对心脏局部的电流高度敏感的优势,筛查疾病的几率和范围比心电图高并且广。以上分析可见,心磁图仪技术的应用将具有巨大的社会效益和可观的社会生态效益。

该项目的上马及投产将推动我国心磁图仪相关设备的供应能力,推动医疗行业的进一步前进发展,提升医疗行业的心磁图仪产品的质量和国际市场的竞争力。该设备的自主研发可以向社会提供更多的就业岗位,有效地缓解项目属地大众的就业压力,促进项目所在地的经济增长。总体而言,本项目的实施开展对地区经济发展具有明显的推进作用,具有明显的社会效益,本产品的市场应用前景也比较广阔。

4 结束语

该项目受资助于2016年度国家重点研发计划“数字诊疗装备研发”重点专项。该项目的研发必将促进社会医疗装备的发展,能在医院临床环境下进行数据采集,发展与医学界、生理学界的合作,将对我国的医学事业有重大意义。本项目的研发将解决研制实用化心磁图仪中的关键技术问题,制作常温心磁图仪样机,同时能够实现有效的操控心磁图仪、对心磁数据进行合理采集、处理的系统软件,能够辅助医生有效收集病理心磁信号并作出相应诊断。

【参考文献】

- [1] 陈伟伟, 高润霖, 刘力生, 等. 《中国心血管病报告2015》概要[J]. 中国循环杂志, 2016, 31(6): 521-528.
CHEN W W, GAO R L, LIU L S, et al. Outline on 《China cardiovascular disease report 2015》[J]. Chinese Circulation Journal, 2016, 31(6): 521-528.
- [2] 孙慧娜, 唐发宽, 黄骁, 等. 心磁图的主要临床应用及研究进展[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2014, 10(4): 499-500.
SUN H N, TANG F K, HUANG X, et al. The main clinical application and research progress of cardiac magnetic map [J]. Chinese Journal of Evidence-Based Cardiovascular, 2014, 10(4): 499-500.
- [3] 赵丹, 陈元禄, 刘芳, 等. 心磁图在冠心病诊断中的临床应用[J]. 天津医科大学学报, 2010, 16(2): 242-251.
ZHAO D, CHEN Y L, LIU F, et al. The clinical application of magnetocardiography in diagnosis of coronary heart disease [J]. Journal of Tianjin Medical University, 2010, 16(2): 242-251.
- [4] KWONG J S, LEITHÄUSER B, PARK J W, et al. Diagnostic value of magnetocardiography in coronary artery disease and cardiac arrhythmias: areview of clinical data[J]. Int J Cardiol, 2013, 167(5): 1835-1842.
- [5] KWON H, KIM K, LEE Y H. Non-invasive magnetocardiography for the early diagnosis of coronary artery disease in patients presenting with acute chest pain [J]. Circ J, 2010, 74(7): 1424-1430.
- [6] 刘亚军, 黄华, 刘睿, 等. 超导心磁图仪原理及应用[J]. 中国医疗设备, 2009, 24(4): 1-4.
LIU Y J, HUANG H, LIU R, et al. Theory and application of superconducting magnetocardiography [J]. China Medical Devices, 2010, 24(4): 1-4.
- [7] 邱春霞, 华宁, 谢甲琦, 等. 高温超导心磁图仪在糖尿病患者冠脉介入治疗中的应用[J]. 中国医疗设备, 2014, 29(4): 6-9.
DI C X, HUA N, XIE J Q, et al. Value of high temperature superconductor magnetocardiography in percutaneous coronary intervention in patients with type II diabetes [J]. China Medical Devices, 2014, 29(4): 6-9.
- [8] AGARWAL R, SAINI A, ALYOUSEF T. Magnetocardiography for the diagnosis of coronary artery disease-a systematic review and meta-analysis[J]. Ann Noninvasive Electrocardiol, 2012, 17(4): 291-298.
- [9] HA T, KIM K, LIM S, et al. Three-dimensional reconstruction of a cardiac outline by magnetocardiography [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2014, 62(1): 60-69.
- [10] WU Y W, LEE C M, LIU Y B, et al. Usefulness of magnetocardiography to detect coronary artery disease and cardiac allograft vasculopathy[J]. Circ J, 2013, 77: 1783-1790.
- [11] ITO Y, SHIGA K, YOSHIDA K. Development of a magnetocardiography-based algorithm for discrimination between ventricular arrhythmias originating from the right ventricular outflow tract and those originating from the aortic sinus cusp: a pilot study[J]. Heart Rhythm, 2014, 11(9): 1605-1612.

(编辑:薛泽玲)



廖艳苹 (1980-), 女, 副教授, 硕士生导师。主要从事阵列信号处理相关的研究, 如近场、远场信号的自适应波束形成、低旁瓣性能优化及抗噪声干扰技术, 卫星导航的空时自适应处理抗单音、宽带噪声干扰研究, LTEA 背景的低信噪比、小快拍数、小阵元数目下的 DOA 估计问题的研究, 以及相控阵雷达的单波束、多波束扫描及多目标跟踪问题的研究及其实现。教学方面主要从事《微波技术》、《数字信号处理》、《信号检测与估计》的理论和实验教学工作。