

连续血液净化系统中血压实时监测模块的研究

刘永峰^{1,2,3}, 钟君¹, 成贤锴¹, 于涌¹, 熊大曦¹

(1. 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所, 江苏苏州 215163; 2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:连续血液净化系统中血压值是确定患者病情的重要参数, 因此设计了一种非侵入式的血压实时监测模块。该监测模块采用气压传感器作为检测血压的测量元件, 低功耗的单片机 MSP430F449 作为处理核心, 高精度的 AD7714 作为模数转换模块, 实现了对循环管路中血压的非侵入式实时测量。实验结果表明, 该血压实时监测模块能够实现 0.12% 精度, 输入、输出具有较好的线性关系, 能准确反映血压的实时变化。

关键词:连续血液净化系统; 实时监测; 血压; 低功耗; 非侵入式

中图分类号: TP216.1

文献标识码: A

Research on the Real-time Blood Pressure Monitoring Module of the Continuous Blood Purification System

LIU Yongfeng^{1,2,3}, ZHONG Jun¹, CHENG Xiankai¹, YU Yong¹, XIONG Daxi¹

(1. Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Science, Suzhou 215163, China; 2. Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The blood pressure value is an important parameter to determine the patient's condition, thus a real-time non-invasive monitoring module for the continuous blood purification system application is designed in this work. To achieve a non-invasive real-time measurement of blood pressure in the circulation line, the monitoring module uses the gas pressure sensor as the detection of blood pressure, low-power microcontroller MSP430F449 as the processing core and high-precision AD7714 as the analog-digital converter module. The experimental results show that the real-time blood pressure monitoring module can achieve accuracy of 0.12%, the input and output has good linear relationship, and can reflect the accurate changes of blood pressure in real-time.

Key words: continuous blood purification system; real-time monitoring; blood pressure; low power consumption; non-invasive

0 引言

连续血液净化(CBP)技术是指可连续、缓慢、渗透地清除循环中的一些毒素和致病炎症介质, 有效地维护内环境平衡, 血流动力学稳定, 酸碱、水钠电解质及代谢平衡^[1]。目前, 连续血液净化系统已广泛应用于重症监护治疗中^[2]。

连续血液净化治疗过程中可能会出现由于循环血量的下降而导致低血压及心脏输出量下降的情况^[3], 对心脏功能不全患者血液循环的影响可能更明显。根据相关文献, 连续血液净化过程中低血压发生率为 47%, 高血压发生率为 33.8%^[4]。因此, 在连续血液净化系统运行过程中, 需对体外循环管

路内的血压进行测量, 实时监测人体的生理状态, 防止循环管路流通不畅或堵塞, 如果发生意外, 立即发出警报并采取相应急救措施。

目前, 血压实时测量的方法一般为介入式血压测量, 此方法需将压力传感器植入人体动静脉血管内, 可实时记录患者体内的血压值。该方法虽然抗干扰能力强, 精度较高^[5], 但传感器植入人体血管内可能会造成血液感染。因此, 本文设计了一种非侵入式的血压实时监测模块, 实时监测连续血液净化系统中的血压值。

1 血压测量原理

血压是指血液在血管内流动时对血管壁所施加

收稿日期: 2015-06-16

基金项目: 苏州市科技计划“体外循环生命支持系统关键技术与产品研发”基金资助项目(ZXY2013024)

作者简介: 刘永峰(1990-), 男, 河南信阳人, 硕士生, 主要从事光电子技术应用研究。E-mail: liuyongfeng15@126.com。于涌(1975-), 男, 吉林长春人, 副研究员, 工学博士, 主要从事机械电子、机械一体化研究。E-mail: yuyong@sibet.ac.cn。

系统上电后,首先对定时器、串口和 I/O 口进行初始化,然后检测开始键是否按下。如果按下,就调用血压测量程序,然后将检测到的血压值与系统设定的血压阈值进行比对,如果检测到的血压值在允许范围内,则执行显示,然后重复此测量与显示过程;如果检测到的血压值超出设定的允许范围,则执行报警程序,提醒医生进行检测并进行相应的急救。最后,如果开关键没有按下,则判断开关键是否按下。

4 实验结果与分析

在连续血液净化中,实时准确地了解血压的变化可为抢救、治疗提供重要依据,让医生对患者的病情及时作出判断,有利于病情的处理,因此需要确保血压实时监测模块具有较高的精度。

仪表精度是衡量仪表品质的重要基本技术指标之一,是描述仪表测量结果准确程度的一项综合性指标。影响血压实时监测模块最终精度的主要有传感器误差、A/D 转换误差和基准电压误差 3 部分,其误差来源如表 1 所示。根据误差理论,可按概率统计方法,由各环节误差的均方根求得的误差估计系统的误差。由表 1 可知,传感器误差 $\delta_1=0.1\%$ 、A/D 转换误差 $\delta_2=0.0018\%$ 和基准电压误差 $\delta_3=0.04\%$,则校正后血压实时监测模块的精度 $\delta=\sqrt{\delta_1^2+\delta_2^2+\delta_3^2}=0.1077\%$ 。

表 1 系统误差源分布

误差源		理论误差值/ 10^{-6}
AD7714	线性误差	10
	量化误差	7.6
AD780BN	输出误差	400
NPC1220	线性误差	1 000

为了验证本文设计的血压实时监测模块的可行性和精确性,在系统硬件安装调试成功后,通过改变循环系统中的气压进行多次实验,同时,用 OMEGA 公司的 HHP352 型气压计测量值进行比对校准。循环系统中气压每次升高 1 kPa,进行 10 次实验并记录实验数据。

表 2 为实验压力测量和标定值数据。图 4 为实验中压力测量-标定曲线。由图可看出,本文设计的血压实时监测模块线性较好,随着循环系统中气压的增加而线性增长,基本与 HHP352 校准压力曲线重合。从表 2 的实验数据可得,本文设计的血压实时监测模块的精度达 0.12%。实验精度比理论精

度偏大,可能是由于实验环境波动和人为读数误差造成的。

表 2 实验压力测量和标定值数据

实时监测模块测量值/kPa			平均值/kPa	HHP352 标定值/kPa
实验 1	实验 2	实验 3		
0	0	0	0	0
0.998 0	0.996 1	0.998 6	0.998 1	1.00
1.991 9	2.000 5	2.005 4	1.999 3	2.00
3.011 0	3.002 5	3.000 0	3.004 5	3.00
4.013 0	4.004 4	4.011 8	4.009 7	4.00
5.019 8	5.011 3	5.006 3	5.012 5	5.00
6.002 1	6.000 9	6.010 7	6.004 6	6.00
7.011 4	7.000 4	6.993 0	7.001 6	7.00
8.015 8	8.009 7	8.004 8	8.010 1	8.00
9.015 3	9.014 1	9.006 8	9.012 1	9.00
9.992 7	10.006 2	10.013 6	10.004 2	10.00

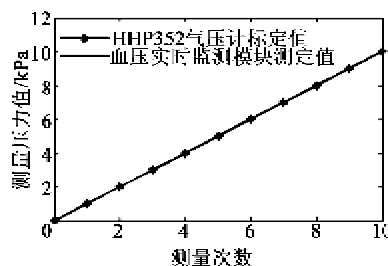


图 4 压力测量-标定曲线

5 结束语

本设计是以 MSP430F449 单片机为核心,通过电源模块、血压采集模块、A/D 转换模块、显示模块、警报模块和管路接口模块等模块电路实现了对体外循环管路中血压值的实时精确测量,确保连续血液净化系统的正常运行。血压实时监测模块采用 NPC1220 气压传感器作为血压检测元件,利用对空气压的测量实现了对循环管路中血压的非侵入式测量。在硬件电路设计中,采用低功耗元器件和较低的系统供电电压,使该模块功耗较低。模数转换采用和-差技术,通过采样和数字抽取技术提高分辨率和信噪比,可达 24 位的转换精度,为提高数据的精度提供了技术支撑。通过实验证明,本文设计的血压实时监测模块输入、输出具有良好的线性,实现了 0.12% 的精度误差。

参考文献:

- [1] 欧阳德伟,梁兰青.连续性血液净化在脏器功能衰竭中应用的研究进展[J].医学综述,2013,19(3):476-479.

- OUYANG Dewei, LIANG Lanqing. Research progress of application of continuous blood purification for patients with multiple organ dysfunction syndrome[J]. Medical Recapitulate, 2013, 19(3): 476-479.
- [2] 段素强. 连续血液净化设备(CRRT 机)关键技术-血泵驱动及漏血检测[D]. 南宁: 广西大学, 2007.
- [3] FINKEL K W, PODOLL A S. Complications of continuous renal replacement therapy [J]. Semin Dial, 2009, 22(2): 155-159.
- [4] 唐志利. 血液净化患者的心血管并发症 136 例分析[J]. 中外医疗, 2010, 29(15): 24-25.
TANG Zhili. Analysis of 136 cases of cardiovascular complications in patients with continuous blood purification[J]. China Foreign Medical Treatment, 2010, 29(15): 24-25.
- [5] 余立君, 黄振, 王兢业, 等. 有创血压测量技术的研究进展[J]. 医疗设备信息, 2015, 30(3): 67-70.
YU Lijun, HUANG Zhen, WANG Jingye, et al. Research progress on invasive blood pressure measurement technology[J]. Information of Medical Equipment, 2015, 30(3): 67-70.
- [6] 包旭鹤. 便携式电子血压计设计[J]. 现代电子技术, 2007, 30(8): 7-10.
- BAO Xuhe. Design of portable electronic blood pressure monitor [J]. Modern Electronics Technique, 2007, 30(8): 7-10.
- [7] 熊青, 戴启军, 宋亚楠. 基于 MSP430F149 单片机的低功耗电子血压计设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(14): 184-186.
- XIONG Qing, DAI Qijun, SONG Yanan. Design of low power electric sphygmomanometer based on MSP430F149[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(14): 184-186.
- [8] 邱月友. MSP430 系列超低功耗单片机及应用[J]. 国外电子测量技术, 2007, 27(12): 48-50.
- QIU Yueyou. Feature and application of the MSP430 seiral ultra-low-power MCU [J]. Foreign Electric Measurement Technology, 2007, 27(12): 48-50.
- [9] 李惠光, 薛雅丽. 基于 MSP430F449 的高精度数据采集系统[J]. 控制工程, 2008, 15(S0): 200-202.
- LI Huiguang, XUE Yali. High precision data sampling system based on MSP430F449 [J]. Control Engineering of China, 2008, 15(S0): 200-202.
-
- (上接第 230 页)
- [5] 鲜晓军, 林书玉, 杨智, 等. 2-2 型多基元压电复合陶瓷圆管研究[J]. 压电与声光, 2014, 36(6): 889-890.
XIAN Xiaojun, LIN Shuyu, YANG Zhi, et al. Study on 2-2 piezocomposite ceramic tube with more elements [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2014, 36(6): 889-890.
- [6] 张凯, 蓝宇, 李琪. 1-3 型压电复合材料宽带水声换能器研究[J]. 声学学报, 2011, 36(6): 632-637.
- [7] 徐钧, 俞宏沛, 李建成. 纵振换能器拓宽频带的方法综述[J]. 声学与电子工程, 2003, 72(4): 17-21.
- [8] 夏铁坚, 郝浩琦. 一种深水宽带换能器[J]. 声学技术, 2012, 31(1): 65-66.
- [9] 张文波, 王明洲, 郝保安. 一种多模宽带水声换能器的设计[J]. 鱼雷技术, 2008, 16(2): 31-33.
- [10] 李建成, 李红敏. 双谐振柔顺层换能器[J]. 声学电子工程, 2011(2): 33-35.
- [11] 滕舵, 陈航, 朱宁. 弯张换能器的有限元及边界元分析[J]. 压电与声光, 2011, 33(1): 53-56.
TENG Duo, CHEN Hang, ZHU Ning. Combined application of finite element method and boundary element method to analyze the flextensional underwater transducer[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2011, 33(1): 53-56.
- [12] 鲜晓军, 林书玉, 王登攀, 等. 基于 1-3-2 型压电复合宽频带水声换能器研究[J]. 压电与声光, 2014, 36(4): 492-497.
XIAN Xiaojun, LIN Shuyu, WANG Dengpan, et al. Study of broad-band underwater transducers based on 1-3-2 piezocomposite material [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2014, 36(4): 492-497.