



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110420014 A  
(43)申请公布日 2019. 11. 08

(21)申请号 201910509555.1

(22)申请日 2019.06.13

(71)申请人 东北大学

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路3号巷11号

(72)发明人 徐礼胜 杨壹程 黄彤宇 王璐  
齐林 郝丽玲

(74)专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限公司 21109

代理人 刘晓岚

(51)Int.Cl.

A61B 5/02(2006.01)

A61B 5/0225(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

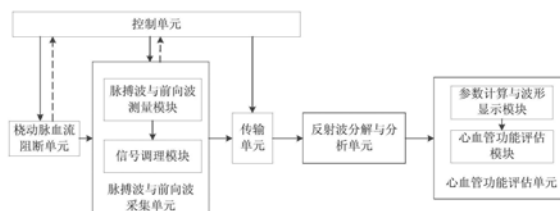
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法

(57)摘要

本发明提供一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法,涉及生物医学电子健康领域。包括桡动脉血流阻断单元、脉搏波与前向波采集单元、控制单元、传输单元、反射波计算单元和心血管功能评估单元;脉搏波与前向波采集单元采集脉搏波和前向波波形;控制单元用于控制双袖带分别达到血流阻断或前向波测量的要求;传输单元用于将采集到的数据传输到反射波计算单元;反射波计算单元通过前向波计算得到脉搏波的反射波;心血管功能评估单元根据反射波计算反映心血管功能的相关参数和波形的实时显示,并根据参数指标评估心血管功能。本发明实现对脉搏波进行分解和反射波提取,计算前向波与反射波相关指标从而对心血管功能进行有效评估。



1. 一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,其特征在于:包括桡动脉血流阻断单元、脉搏波与前向波采集单元、控制单元、传输单元、反射波计算单元和心血管功能评估单元;所述桡动脉血流阻断单元包括桡动脉阻断袖带和压力反馈传感器;所述桡动脉血流阻断袖带佩戴于桡动脉,用于阻断桡动脉血流,并通过压力反馈传感器测量反馈桡动脉处压力状态;所述脉搏波与前向波采集单元用于采集不同压力下脉搏波和前向波;所述控制单元用于控制桡动脉阻断袖带压力,当压力超过自适应阈值,或压力脉搏波波动幅值小于自适应阈值时,控制桡动脉阻断袖带停止加压,达到血流阻断或前向波测量的要求;所述传输单元用于将脉搏波与前向波采集单元采集到的数据传输到反射波计算单元和心血管功能评估单元;所述反射波计算单元用于将测得的脉搏波数据进行计算获得脉搏波的反射波形;所述心血管功能评估单元用于根据反射波计算反映心血管功能的参数及反射波形的实时显示,并根据前向波与反射波的综合分析评估心血管功能;

所述桡动脉阻断袖带,用于阻断血流和脉搏波向手臂末端传导,从而改变脉搏波终端反射的位置,在桡动脉处实现脉搏波的全反射;所述压力反馈传感器,用于精确测量袖带内部的气体压力,并将压力值实时反馈给控制单元;

所述脉搏波与前向波采集单元包括脉搏波与前向波测量模块和信号调理模块;所述脉搏波与前向波测量模块包括可调压力测量袖带和前向波测量传感器;可调压力测量袖带紧贴放在桡动脉阻断袖带的近心端,用于分时精确采集:桡动脉阻断袖带不加压时的脉搏波波形,及桡动脉阻断袖带加压后的前向波及其在桡动脉阻断袖带的全反射波形的叠加,实现不同压力下的测量;所述前向波测量传感器,用于精准测量不同脉象压力下的前向波,并将压力波形实时传输到信号调理模块;所述信号调理模块,用于将前向波测量传感器得到的前向波波形进行信号滤波与调理;

所述反射波计算单元,通过正常状态下的脉搏波信号与桡动脉阻断状态下测量的前向波及其在桡动脉阻断袖带的全反射波形的叠加,计算得到脉搏波的反射波;

所述心血管功能评估单元包括参数计算与波形显示模块和心血管功能评价模块;所述参数计算与波形显示模块,根据反射波计算单元得到的反射波计算心血管相关参数,包括动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>和动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>,并对直接采集到的脉搏波和前向波进行实时显示;所述心血管功能评价模块通过参数计算与波形显示模块得到的心血管相关参数,综合分析前向波与反射波,对心血管功能和健康程度进行评估和显示。

2. 根据权利要求1所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,其特征在于:所述桡动脉血流阻断单元和脉搏波与前向波测量模块,均包括两条充气袖带、微型气泵和电磁阀;所述充气袖带由高弹性橡胶材质制成,袖带包括充气气囊、充气口和细软管,微型气泵和电磁阀通过细软管连接充气口为充气气囊充气,保证充气气囊内压力处处相等,两条充气袖带通过魔术贴绑在桡动脉处,桡动脉血流阻断袖带在桡动脉处,脉搏波与前向波测量模块的可调压力测量袖带在紧挨桡动脉血流阻断袖带的近心端;所述微型气泵和电磁阀连接控制单元,根据控制单元设定的压力要求为充气气囊充气。

3. 根据权利要求1所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,所述信号调理模块,包括滤波电路和AD转换装置;所述滤波电路和AD转换装置均与桡动脉血流阻断单元的输出端相连,为桡动脉血流阻断单元的输出信号进行调理和AD转换,AD转换后的

信号经传输单元传输到反射波计算单元和心血管功能评估单元。

4. 根据权利要求1所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,所述控制单元采用微控制器,根据压力反馈传感器反馈的桡动脉阻断袖带内实时压力值判断是否达到阻断的要求,从而控制微型气泵是否继续充气,实现精确控制并调节加压压力稳定测量袖带内压力,并在微控制器的I/O口上连接四个三极管元件实现控制信号与供电电压隔离,加速微型气泵的充气速率;同时控制单元通过控制桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带加压时间,先后分时测量同一位置的脉搏波和阻断后的前向波。

5. 根据权利要求1所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,所述传输模块包括存储模块和蓝牙收发模块;所述存储模块保存脉搏波与前向波采集单元采集的脉搏波和前向波,并将这些波形数据通过蓝牙收发模块传输到反射波计算单元。

6. 根据权利要求1所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,所述反射波计算单元包括第一处理模块、第二处理模块、第三处理模块和第四处理模块;所述第一处理模块读取采集的测量者脉搏波和前向波,并进行波形去噪;所述第二处理模块对脉搏波和前向波信号分别去除其基线漂移,并为了反射波波形的准确计算而将脉搏波和前向波信号对齐在同一水平;所述第三处理模块将脉搏波和前向波按照第一个采集到的有效波谷位置对齐,避免因相位差导致的反射波不准确;所述第四处理模块,按照如下公式求解反射波:

$$P_b(t) = P(t) - P_f(t)$$

其中, $P_b(t)$ 为反射波波形, $P(t)$ 和 $P_f(t)$ 分别为采集的脉搏波波形和前向波波形, $t$ 为时间。

7. 根据权利要求1所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,所述参数计算与波形显示模块,通过分解得到的反射波,提取反射波、脉搏波和前向波相关波形特征,计算心血管动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>和动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>。

8. 一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价方法,采用权利要求1所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统进行评价,包括以下步骤:

步骤1、调节可调压力测量袖带和桡动脉阻断袖带压力进行脉搏波采集和分解,得到脉搏波和前向波,具体方法为:

步骤1.1、控制单元控制脉搏波与前向波测量模块的可调压力测量袖带加压至70mmHg,脉搏波与前向波测量模块的前向波测量传感器采集70mmHg压力下的脉搏波,即为脉搏波波形,保存并传输至信号调理模块;

步骤1.2、控制单元控制桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带加压至200mmHg时,同时桡动脉血流阻断单元的压力反馈传感器将桡动脉阻断袖带中的压力波形实时反馈给控制单元,当压力波形幅值小于阈值时,停止加压,此时血流在桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带处实现完全阻断,桡动脉的前向波在此处发生完全反射,在脉搏波与前向波测量模块袖带处采集脉搏波前向波的等量叠加;

步骤1.3、脉搏波与前向波测量单元采集桡动脉血流阻断时的脉搏波和前向波等量叠加的压力波形,即两倍前向波,并进行信号调理;

步骤2、反射波计算单元对脉搏波与前向波测量模块采集到的脉搏波和两倍前向波进

行处理和计算,得到反射波,具体方法为:

步骤2.1、读取采集的测量者脉搏波和两倍前向波各十个连续周期,并进行波形去噪和去基线漂移处理,并为了反射波波形的准确计算将两路波形信号对齐在同一水平,将两路波形信号各十个周期分别进行叠加并取平均,进一步保证反射波波形精准计算;

步骤2.2、将脉搏波和两倍前向波按照波谷位置水平在时间域对齐,避免因相位差导致的反射波不准确;

步骤2.3、按照如下公式求解反射波:

$$P_b(t) = P(t) - P_f(t)$$

其中, $P_b(t)$ 为反射波波形, $P(t)$ 为采集到的脉搏波波形, $P_f(t)$ 为直接采集到的两倍前向波波形除以2,即为脉搏波的前向波;

步骤3、分解得到的反射波,通过参数计算与波形显示模块,提取反射波和脉搏波、前向波相关波形特征,计算心血管相关参数:桡动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>、动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>;

步骤4、心血管功能评价模块根据计算得到的心血管相关参数对心血管功能和健康程度进行评估和显示。

9.根据权利要求8所述的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价方法,其特征在于:

所述桡动脉反射指数RI如下公式所示:

$$RI = \frac{P_b}{P_f - P_b}$$

其中, $P_b$ 为反射波压力, $P_f$ 为前向波压力;

所述桡动脉反射强度RM如下公式所示:

$$RM = \frac{P_b}{P_f}$$

其中, $P_b$ 为反射波压力, $P_f$ 为前向波压力;

所述桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>为是桡动脉反射波和前向波叠加后波形的压力峰值 $P_2$ 与收缩早期即反射波到达前压力峰值 $P_1$ 的比值,如下公式所示:

$$AI_r = \frac{P_2}{P_1}$$

所述动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>如下公式所示:

$$AI_x = \frac{P_s - P_i}{P_s - P_d}$$

其中, $P_s$ 为脉搏波波形收缩期峰值, $P_d$ 脉搏波波形舒张期最低值, $P_i$ 为反射波波形中的反射波峰值。

## 基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及生物医学电子健康技术领域,尤其涉及一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法。

### 背景技术

[0002] 心血管疾病负担日渐加重,已成为重大的公共卫生难题,防治心血管疾病刻不容缓。采用心血管功能评价可以有效早期诊断和干预心血管疾病。动脉硬化程度、顺应性等动脉相关参数可以反映心血管系统功能,因此早期筛查动脉硬化等疾病是心血管病预防的根本途径。

[0003] 基于脉搏波波形分析的血流动力学指标检测,是一种常用的无创心血管功能评估方法,利用这种原理的医疗仪器均存在价格昂贵、操作过程烦琐、且对操作技能要求较高等应用瓶颈,难以在大众健康领域中普及推广。因此,建立适用于群体性普查和个体化动态检测的动脉硬化检测方法和技术十分必要。

[0004] 专利号为201811213852.3的发明专利提出了一种基于脉搏波特征参数对人体健康状况的检测方法,通过便携的腕式脉搏检测装置对人体脉搏波进行检测,并提取特征,对脉搏波特征进行样本训练,从而判断人体的健康状况。但这项发明专利只在时、频域对脉搏波信号进行了特征提取,并没有对脉搏波进行分解并根据反射波评估动脉硬化情况;专利号为201010558798.3的发明专利利用小波变换来提取脉搏波的起始点,计算脉搏波波速对血管硬化程度进行检测,但该专利只完成了脉搏波分解中的起始点提取没有提取出脉搏波的反射波进行深入计算;专利号201510955386.6为的发明专利提出了一种基于FMD的血管内皮功能评估检测系统及方法,采集左指尖和右指尖的血容积脉搏波,对手臂的肱动脉进行加压阻断,但该方法只可以计算血管内皮功能指数,没有对袖带加压的方式分解脉搏波这一方面进行分析。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是针对上述现有技术的不足,提供一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法,实现更有效评估动脉及心血管的功能。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明所采取的技术方案是:一方面,本发明提供一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,包括桡动脉血流阻断单元、脉搏波与前向波采集单元、控制单元、传输单元、反射波计算单元和心血管功能评估单元;所述桡动脉血流阻断单元包括桡动脉阻断袖带和压力反馈传感器;所述桡动脉血流阻断袖带佩戴于桡动脉,用于阻断桡动脉血流,并通过压力反馈传感器测量反馈桡动脉处压力状态;所述脉搏波与前向波采集单元用于采集不同压力下脉搏波和前向波;所述控制单元用于控制桡动脉阻断袖带压力,当压力超过自适应阈值,或压力脉搏波波动幅值小于自适应阈值时,控制桡动脉阻断袖带停止加压,达到血流阻断或前向波测量的要求;所述传输单元用于将脉搏波与前向波采集单元采集到的数据传输到反射波计算单元和心血管功能评估单元;所述反射波

计算单元用于将测得的脉搏波数据进行计算获得脉搏波的反射波形;所述心血管功能评估单元用于根据反射波计算反映心血管功能的参数及反射波形的实时显示,并根据前向波与反射波的综合分析评估心血管功能;

[0007] 所述桡动脉阻断袖带,用于阻断血流和脉搏波向手臂末端传导,从而改变脉搏波终端反射的位置,在桡动脉处实现脉搏波的全反射;所述压力反馈传感器,用于精确测量袖带内部的气体压力,并将压力值实时反馈给控制单元;

[0008] 所述脉搏波与前向波采集单元包括脉搏波与前向波测量模块和信号调理模块;所述脉搏波与前向波测量模块包括可调压力测量袖带和前向波测量传感器;可调压力测量袖带紧贴放在桡动脉阻断袖带的近心端,用于分时精确采集:桡动脉阻断袖带不加压时的脉搏波波形,及桡动脉阻断袖带加压后的前向波及其在桡动脉阻断袖带的全反射波形的叠加,实现不同压力下的测量;所述前向波测量传感器,用于精准测量不同脉象压力下的前向波,并将压力波形实时传输到信号调理模块;所述信号调理模块,用于将前向波测量传感器得到的前向波波形进行信号滤波与调理;

[0009] 所述反射波计算单元,通过正常状态下的脉搏波信号与桡动脉阻断状态下测量的前向波及其在桡动脉阻断袖带的全反射波形的叠加,计算得到脉搏波的反射波;

[0010] 所述心血管功能评估单元包括参数计算与波形显示模块和心血管功能评价模块;所述参数计算与波形显示模块,根据反射波计算单元得到的反射波计算心血管相关参数,包括动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AIr和动脉反射波增强指数AIx,并对直接采集到的脉搏波和前向波进行实时显示;所述心血管功能评价模块通过参数计算与波形显示模块得到的心血管相关参数,综合分析前向波与反射波,对心血管功能和健康程度进行评估和显示。

[0011] 优选地,所述桡动脉血流阻断单元和脉搏波与前向波测量模块,均包括两条充气袖带、微型气泵和电磁阀;所述充气袖带由高弹性橡胶材质制成,袖带包括充气气囊、充气口和细软管,微型气泵和电磁阀通过细软管连接充气口为充气气囊充气,保证充气气囊内压力处处相等,两条充气袖带通过魔术贴绑在桡动脉处,桡动脉血流阻断袖带在桡动脉处,脉搏波与前向波测量模块的可调压力测量袖带在紧挨桡动脉血流阻断袖带的近心端;所述微型气泵和电磁阀连接控制单元,根据控制单元设定的压力要求为充气气囊充气。

[0012] 优选地,所述信号调理模块,包括滤波电路和AD转换装置;所述滤波电路和AD转换装置均与桡动脉血流阻断单元的输出端相连,为桡动脉血流阻断单元的输出信号进行调理和AD转换,AD转换后的信号经传输单元传输到反射波计算单元和心血管功能评估单元。

[0013] 优选地,所述控制单元采用微控制器,根据压力反馈传感器反馈的桡动脉阻断袖带内实时压力值判断是否达到阻断的要求,从而控制微型气泵是否继续充气,实现精确控制并调节加压压力稳定测量袖带内压力,并在微控制器的I/O口上连接四个三极管元件实现控制信号与供电电压隔离,加速微型气泵的充气速率;同时控制单元通过控制桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带加压时间,先后分时测量同一位置的脉搏波和阻断后的前向波。

[0014] 优选地,所述传输模块包括存储模块和蓝牙收发模块;所述存储模块保存脉搏波与前向波采集单元采集的脉搏波和前向波,并将这些波形数据通过蓝牙收发模块传输到反射波计算单元。

[0015] 优选地,所述反射波计算单元包括第一处理模块、第二处理模块、第三处理模块和第四处理模块;所述第一处理模块读取采集的测量者脉搏波和前向波,并进行波形去噪;所述第二处理模块对脉搏波和前向波信号分别去除其基线漂移,并为了反射波波形的准确计算而将脉搏波和前向波信号对齐在同一水平;所述第三处理模块将脉搏波和前向波按照第一个采集到的有效波谷位置对齐,避免因相位差导致的反射波不准确;所述第四处理模块,按照如下公式求解反射波:

$$[0016] \quad P_b(t) = P(t) - P_f(t)$$

[0017] 其中, $P_b(t)$  为反射波波形, $P(t)$  和  $P_f(t)$  分别为采集的脉搏波波形和前向波波形, $t$  为时间。

[0018] 优选地,所述参数计算与波形显示模块,通过分解得到的反射波,提取反射波、脉搏波和前向波相关波形特征,计算心血管动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>和动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>。

[0019] 另一方面,本发明还提供一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价方法,包括以下步骤:

[0020] 步骤1、调节可调压力测量袖带和桡动脉阻断袖带压力进行脉搏波采集和分解,得到脉搏波和前向波,具体方法为:

[0021] 步骤1.1、控制单元控制脉搏波与前向波测量模块的可调压力测量袖带加压至70mmHg,脉搏波与前向波测量模块的前向波测量传感器采集70mmHg压力下的脉搏波,即为脉搏波波形,保存并传输至信号调理模块;

[0022] 步骤1.2、控制单元控制桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带加压至200mmHg时,同时桡动脉血流阻断单元的压力反馈传感器将桡动脉阻断袖带中的压力波形实时反馈给控制单元,当压力波形幅值小于阈值时,停止加压,此时血流在桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带处实现完全阻断,桡动脉的前向波在此处发生完全反射,在脉搏波与前向波测量模块袖带处采集脉搏波前向波的等量叠加;

[0023] 步骤1.3、脉搏波与前向波测量单元采集桡动脉血流阻断时的脉搏波和前向波等量叠加的压力波形,即两倍前向波,并进行信号调理;

[0024] 步骤2、反射波计算单元对脉搏波与前向波测量模块采集到的脉搏波和两倍前向波进行处理和计算,得到反射波,具体方法为:

[0025] 步骤2.1、读取采集的测量者脉搏波和两倍前向波各十个连续周期,并进行波形去噪和去基线漂移处理,并为了反射波波形的准确计算将两路波形信号对齐在同一水平,将两路波形信号各十个周期分别进行叠加并取平均,进一步保证反射波波形精准计算;

[0026] 步骤2.2、将脉搏波和两倍前向波按照波谷位置水平在时间域对齐,避免因相位差导致的反射波不准确;

[0027] 步骤2.3、按照如下公式求解反射波:

$$[0028] \quad P_b(t) = P(t) - P_f(t)$$

[0029] 其中, $P_b(t)$  为反射波波形, $P(t)$  为采集到的脉搏波波形, $P_f(t)$  为直接采集到的两倍前向波波形除以2,即为脉搏波的前向波;

[0030] 步骤3、分解得到的反射波,通过参数计算与波形显示模块,提取反射波和脉搏波、前向波相关波形特征,计算心血管相关参数:桡动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动

脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>、动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>;

[0031] 所述桡动脉反射指数RI如下公式所示:

$$[0032] \quad RI = \frac{P_b}{P_f - P_b}$$

[0033] 其中, P<sub>b</sub>为反射波压力, P<sub>f</sub>为前向波压力;

[0034] 所述桡动脉反射强度RM如下公式所示:

$$[0035] \quad RM = \frac{P_b}{P_f}$$

[0036] 其中, P<sub>b</sub>为反射波压力, P<sub>f</sub>为前向波压力;

[0037] 所述桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>为是桡动脉反射波和前向波叠加后波形的压力峰值P<sub>2</sub>与收缩早期即反射波到达前压力峰值P<sub>1</sub>的比值, 如下公式所示:

$$[0038] \quad AI_r = \frac{P_2}{P_1}$$

[0039] 所述动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>如下公式所示:

$$[0040] \quad AI_x = \frac{P_s - P_i}{P_s - P_d}$$

[0041] 其中, P<sub>s</sub>为脉搏波波形收缩期峰值, P<sub>d</sub>脉搏波波形舒张期最低值, P<sub>i</sub>为反射波波形中的反射波峰值;

[0042] 步骤4、心血管功能评价模块根据计算得到的心血相关参数对心血管功能和健康程度进行评估和显示。

[0043] 采用上述技术方案所产生的有益效果在于: 本发明提供的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法, 采用袖带加压阻断桡动脉血流的物理方式分解脉搏波, 直接测量和计算人体桡动脉处的反射波波形, 提高反射波分解的准确性; 微控制器根据压力自动控制袖带充放气的时间, 并可以实现在不同压力下脉搏波波形的采集和分析, 实现全自动采集与反射波计算; 以反射波波形为依据计算相关参数, 反应动脉硬化程度, 通过前向波与反射波的综合分析, 进行个性化心血管功能智能评估与深度解析。

## 附图说明

[0044] 图1为本发明实施例提供的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统的结构框图;

[0045] 图2为本发明实施例提供的佩戴示意图;

[0046] 图3为本发明实施例提供的压力袖带结构示意图, 其中, (a) 为袖带正面结构示意图, (b) 为袖带反面结构示意图;

[0047] 图4为本发明实施例提供的压力袖带充气状态立体结构示意图;

[0048] 图5为本发明实施例提供的微控制器的电路连接图, 其中, (a) 为微控制器的电路连接, (b) 为第一个三极管与微控制器的连接, (c) 为第二个三极管与微控制器的连接, (d) 为第三个三极管与微控制器的连接, (e) 为第四个三极管与微控制器的连接;

[0049] 图6为本发明实施例提供的基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价方法的流程图;

[0050] 图7为本发明实施例提供的本发明方法分解得到的反射波与基于波形分析得到的反射波对比结果图,其中,(a)为本发明方法分解得到的反射波,(b)为基于波形分析得到的反射波。

[0051] 图中,201、可调压力充气袖带;202、细软管;203、桡动脉血流阻断模块;204、脉搏波与前向波测量模块;301、袖带充气气囊;302、魔术贴;303、袖带充/放气口。

## 具体实施方式

[0052] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0053] 本实施例中,基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统,如图1所示,包括桡动脉血流阻断单元、脉搏波与前向波采集单元、控制单元、传输单元、反射波计算单元和心血管功能评估单元;桡动脉血流阻断单元包括桡动脉阻断袖带和压力反馈传感器;桡动脉血流阻断袖带佩戴于桡动脉,用于阻断桡动脉血流,并通过压力反馈传感器测量反馈桡动脉处压力状态;脉搏波与前向波采集单元用于采集不同压力下脉搏波和前向波;控制单元用于控制桡动脉阻断袖带压力,当压力超过自适应阈值,或压力脉搏波波动幅值小于自适应阈值时,控制桡动脉阻断袖带停止加压,达到血流阻断或前向波测量的要求;传输单元用于将脉搏波与前向波采集单元采集到的数据传输到反射波计算单元和心血管功能评估单元;反射波计算单元用于将测得的脉搏波数据进行计算获得脉搏波的反射波形;心血管功能评估单元用于根据反射波计算反映心血管功能的参数及反射波形的实时显示,并根据前向波与反射波的综合分析评估心血管功能;

[0054] 桡动脉阻断袖带,用于阻断血流和脉搏波向手臂末端传导,从而改变脉搏波终端反射的位置,在桡动脉处实现脉搏波的全反射;所述压力反馈传感器,用于精确测量袖带内部的气体压力,并将压力值实时反馈给控制单元;

[0055] 脉搏波与前向波采集单元包括脉搏波与前向波测量模块和信号调理模块;脉搏波与前向波测量模块包括可调压力测量袖带和前向波测量传感器;可调压力测量袖带紧贴放在桡动脉阻断袖带的近心端,用于分时精确采集:桡动脉阻断袖带不加压时的脉搏波波形,及桡动脉阻断袖带加压后的前向波及其在桡动脉阻断袖带的全反射波形(相当于两个前向波)的叠加,实现不同压力下的测量;前向波测量传感器,用于精准测量不同脉象压力下的前向波,并将压力波形实时传输到信号调理模块;信号调理模块,用于将前向波测量传感器得到的前向波波形进行信号滤波与调理;

[0056] 反射波计算单元,通过正常状态下的脉搏波信号与桡动脉阻断状态下测量的前向波及其在桡动脉阻断袖带的全反射波形的叠加,计算得到脉搏波的反射波;

[0057] 心血管功能评估单元包括参数计算与波形显示模块和心血管功能评价模块;参数计算与波形显示模块,根据反射波计算单元得到的反射波计算心血管相关参数,包括动脉反射指数 RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>和动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>,并对直接采集到的脉搏波和前向波进行实时显示;心血管功能评价模块通过参数计算与波形显示模块得到的心血管相关参数,综合分析前向波与反射波,对心血管功能和健康程度进行评估和显示。

[0058] 桡动脉血流阻断单元和脉搏波与前向波测量模块,如图2所示,均包括两条充气袖

带201、微型气泵和电磁阀；充气袖带由高弹性橡胶材质制成，袖带包括充气气囊、充气口和细软管 202，微型气泵和电磁阀通过细软管连接充气口为充气气囊充气，保证充气气囊内压力处处相等，两条充气袖带通过魔术贴绑在桡动脉处，桡动脉血流阻断袖带在桡动脉处，脉搏波与前向波测量模块的可调压力测量袖带在紧挨桡动脉血流阻断袖带的近心端；微型气泵和电磁阀连接控制单元，根据控制单元设定的压力要求为充气气囊充气。

[0059] 本实施例中，袖带的正反面结构如图3(a)、(b)所示，袖带的立体结构如图4所示，301为袖带充气气囊，302为魔术贴，303为袖带充/放气口，袖带上的魔术贴302将桡动脉血流阻断模块203和脉搏波与前向波测量模块204的两条袖带绑在桡动脉处，桡动脉血流阻断模块203的袖带固定在远心端；脉搏波与前向波测量模块204的袖带固定在近心端；微型气泵和电磁阀连接控制电路，根据设定压力要求为气囊充气。

[0060] 信号调理模块，包括滤波电路和AD转换装置；滤波电路和AD转换装置均与桡动脉血流阻断单元的输出端相连，为桡动脉血流阻断单元的输出信号进行调理和AD转换，AD转换后的信号经传输单元传输到反射波计算单元和心血管功能评估单元。

[0061] 控制单元采用微控制器，根据压力反馈传感器反馈的桡动脉阻断袖带内实时压力值判断是否达到阻断的要求，从而控制微型气泵是否继续充气，实现精确控制并调节加压压力并稳定测量袖带内压力，并在微控制器的I/O口上连接四个三极管元件如图5所示，实现控制信号与供电电压隔离，加速微型气泵的充气速率；同时控制单元通过控制桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带加压时间，先后分时测量同一位置的脉搏波和阻断后的前向波。

[0062] 传输模块包括存储模块和蓝牙收发模块；存储模块保存脉搏波与前向波采集单元采集的脉搏波和前向波，并将这些波形数据通过蓝牙收发模块传输到反射波计算单元。

[0063] 反射波计算单元包括第一处理模块、第二处理模块、第三处理模块和第四处理模块；第一处理模块读取采集的测量者脉搏波和前向波，并进行波形去噪；第二处理模块对脉搏波和前向波信号分别去除其基线漂移，并为了反射波波形的准确计算而将脉搏波和前向波信号对齐在同一水平；第三处理模块将脉搏波和前向波按照第一个采集到的有效波谷位置对齐，避免因相位差导致的反射波不准确；第四处理模块，按照如下公式求解反射波：

$$[0064] \quad P_b(t) = P(t) - P_f(t)$$

[0065] 其中， $P_b(t)$ 为反射波波形， $P(t)$ 和 $P_f(t)$ 分别为采集的脉搏波波形和前向波波形， $t$ 为时间。

[0066] 参数计算与波形显示模块，通过分解得到的反射波，提取反射波、脉搏波和前向波相关波形特征，计算心血管动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>和动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>。

[0067] 基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价方法，如图6所示，包括以下步骤：

[0068] 步骤1、调节可调压力测量袖带和桡动脉阻断袖带压力进行脉搏波采集和分解，得到脉搏波和前向波，具体方法为：

[0069] 步骤1.1、控制单元控制脉搏波与前向波测量模块的可调压力测量袖带加压至70mmHg，脉搏波与前向波测量模块的前向波测量传感器采集70mmHg压力下的脉搏波，即为脉搏波波形，保存并传输至信号调理模块；

[0070] 步骤1.2、控制单元控制桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带加压至200mmHg

时,同时桡动脉血流阻断单元的压力反馈传感器将桡动脉阻断袖带中的压力波形实时反馈给控制单元,当压力波形幅值小于阈值时,停止加压,此时血流在桡动脉血流阻断单元的桡动脉阻断袖带处实现完全阻断,桡动脉的前向波在此处发生完全反射,在脉搏波与前向波测量模块袖带处采集脉搏波前向波的等量叠加;

[0071] 步骤1.3、脉搏波与前向波测量单元采集桡动脉血流阻断时的脉搏波和前向波等量叠加的压力波形,即两倍前向波,并进行信号调理;

[0072] 步骤2、反射波计算单元对脉搏波与前向波测量模块采集到的脉搏波和两倍前向波进行处理和计算,得到反射波,具体方法为:

[0073] 步骤2.1、读取采集的测量者脉搏波和两倍前向波各十个连续周期,并进行波形去噪和去基线漂移处理,并为了反射波波形的准确计算将两路波形信号对齐在同一水平,将两路波形信号各十个周期分别进行叠加并取平均,进一步保证反射波波形精准计算;

[0074] 步骤2.2、将脉搏波和两倍前向波按照波谷位置水平在时间域对齐,避免因相位差导致的反射波不准确;

[0075] 步骤2.3、按照如下公式求解反射波:

$$[0076] \quad P_b(t) = P(t) - P_f(t)$$

[0077] 其中, $P_b(t)$ 为反射波波形, $P(t)$ 为采集到的脉搏波波形, $P_f(t)$ 为直接采集到的两倍前向波波形除以2,即为脉搏波的前向波;

[0078] 步骤3、分解得到的反射波,通过参数计算与波形显示模块,提取反射波和脉搏波、前向波相关波形特征,计算心血管相关参数:桡动脉反射指数RI、桡动脉反射强度RM、桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>、动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>;

[0079] 所述桡动脉反射指数RI如下公式所示:

$$[0080] \quad RI = \frac{P_b}{P_f - P_b}$$

[0081] 其中, $P_b$ 为反射波压力, $P_f$ 为前向波压力;

[0082] 所述桡动脉反射强度RM如下公式所示:

$$[0083] \quad RM = \frac{P_b}{P_f}$$

[0084] 其中, $P_b$ 为反射波压力, $P_f$ 为前向波压力;

[0085] 本实施例中,根据桡动脉反射强度RM的健康人群判断标准为RM数值小于0.5;

[0086] 所述桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>为是桡动脉反射波和前向波叠加后波形的压力峰值 $P_2$ 与收缩早期即反射波到达前压力峰值 $P_1$ 的比值,如下公式所示:

$$[0087] \quad AI_r = \frac{P_2}{P_1}$$

[0088] 本实施例中,根据桡动脉反射波增强指数AI<sub>r</sub>的健康人群判断标准如下:

[0089] 对于18岁至30岁的测试者,判断AI<sub>r</sub>数值大于31并且小于88;

[0090] 对于30岁至45岁的测试者,判断AI<sub>r</sub>数值大于50并且小于104;

[0091] 对于45岁至80岁的测试者,判断AI<sub>r</sub>数值大于58并且小于105;

[0092] 所述动脉反射波增强指数AI<sub>x</sub>如下公式所示:

$$[0093] \quad \text{Alx} = \frac{P_s - P_i}{P_s - P_d}$$

[0094] 其中,  $P_s$ 为脉搏波波形收缩期峰值,  $P_d$ 脉搏波波形舒张期最低值,  $P_i$ 为反射波波形中的反射波峰值;

[0095] 步骤4、心血管功能评价模块根据计算得到的心血相关参数对心血管功能和健康程度进行评估和显示。

[0096] 本实施例还根据采集得到的脉搏波波形,通过波形分析的方法,将脉搏波分解为前向波与反射波,并将反射波计算单元通过调节袖带压力方法分解的反射波与基于波形分析得到的反射波进行比对分析;

[0097] 首先读取脉搏波并对脉搏波进行平滑去噪及去除基线漂移预处理,增强脉搏波信号的质量;然后进行脉搏波特征点的识别与提取;脉搏波特征点包括脉搏波每个周期的起始点、主波峰值、切迹点和反射点;脉搏波每个周期的起始点与主波峰值通过识别脉搏波曲线的波峰波谷得到,脉搏波的切迹点与反射点通过计算脉搏波的二阶微分极值点来定位,每周期脉搏波的二阶微分第一个极大值为反射点,第二个极大值为切迹点,根据以上算法实现了脉搏波主要特征点的识别定位。最后通过得到的脉搏波特征点构造三角形以拟合血液流速波,三角形的底边长为起始点至切迹点的长度,在反射点定位成功的情况下,三角形顶点横坐标位于反射点处,在反射点找不准的情况下,三角形顶点位于底边长30%处,三角形幅值无需校准,建立三角形流速波后,根据以下公式:

$$[0098] \quad P_f(t) = [P(t) + Z_c \times F(t)] / 2$$

$$[0099] \quad P_b(t) = [P(t) - Z_c \times F(t)] / 2$$

[0100] 分别计算出前向波与反射波的波形;

[0101] 其中,  $F(t)$ 为构造的拟合血液流速波的三角形,  $Z_c$ 为动脉特征阻抗;

[0102] 动脉特征阻抗的计算如下公式所示:

$$[0103] \quad Z_c = (P_i - P_d) / \text{Peakflow}$$

[0104] 其中,  $P_d$ 为舒张末期压力值,  $P_i$ 为压力曲线反射点压力值即流速波峰值对应位置,在程序中取为三角形顶点横坐标,  $\text{Peakflow}$ 为三角形的高(幅值)。

[0105] 对比公式可以得知,  $Z_c$ 是压力增量与流速增量的比值因而使用三角形拟合血流速波形时幅值无需校准,在本实施例中默认构造高为100的三角形;

[0106] 本实施例中,通过本发明的反射波计算单元的调节袖带压力方法分解得到的反射波与基于波形分析得到的反射波的结果如图7所示。

[0107] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明权利要求所限定的范围。

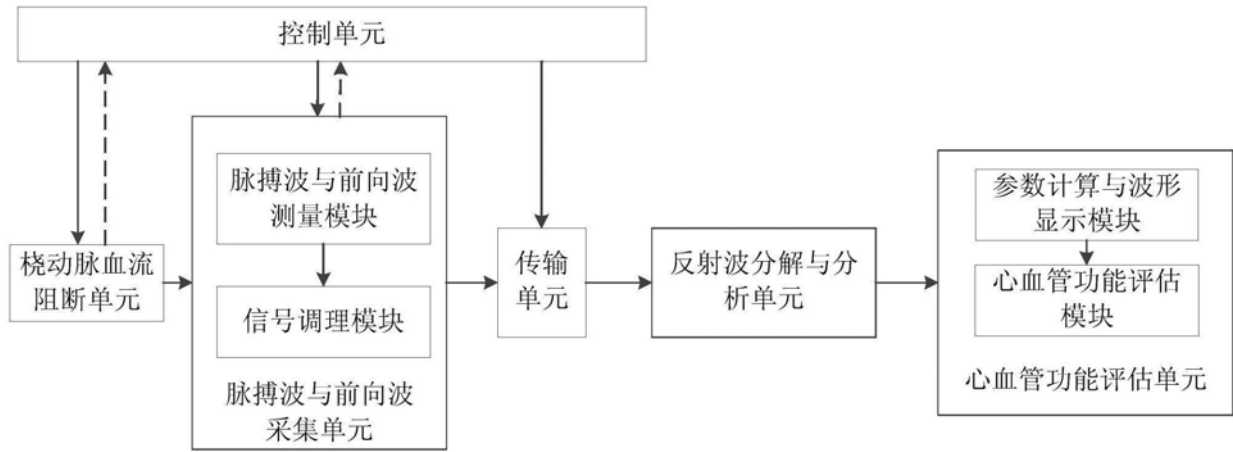


图1

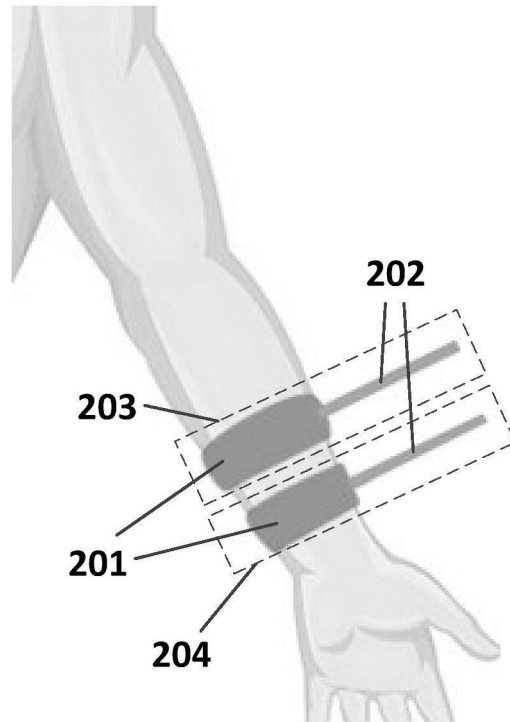
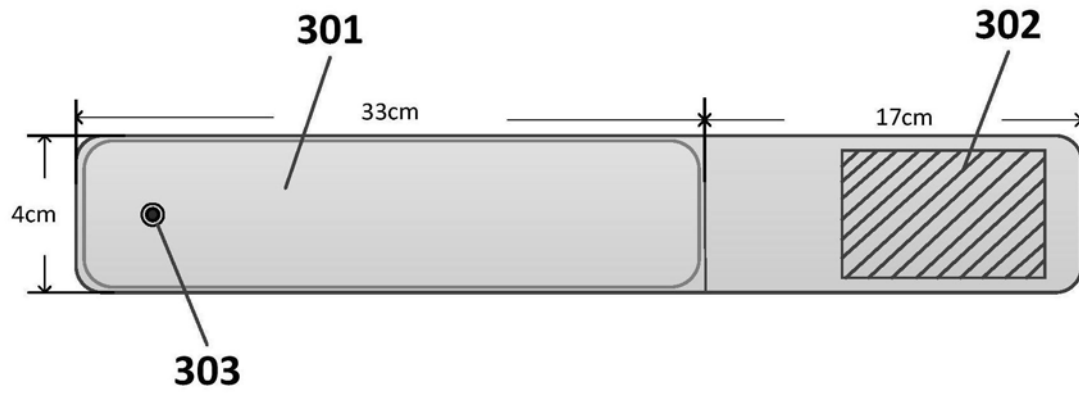
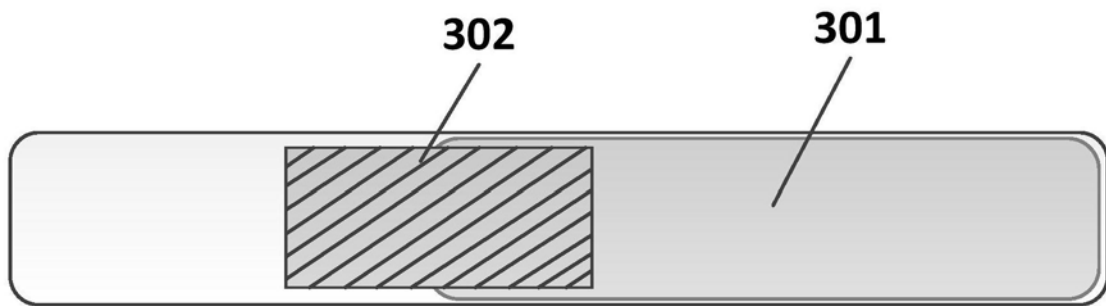


图2



(a)



(b)

图3

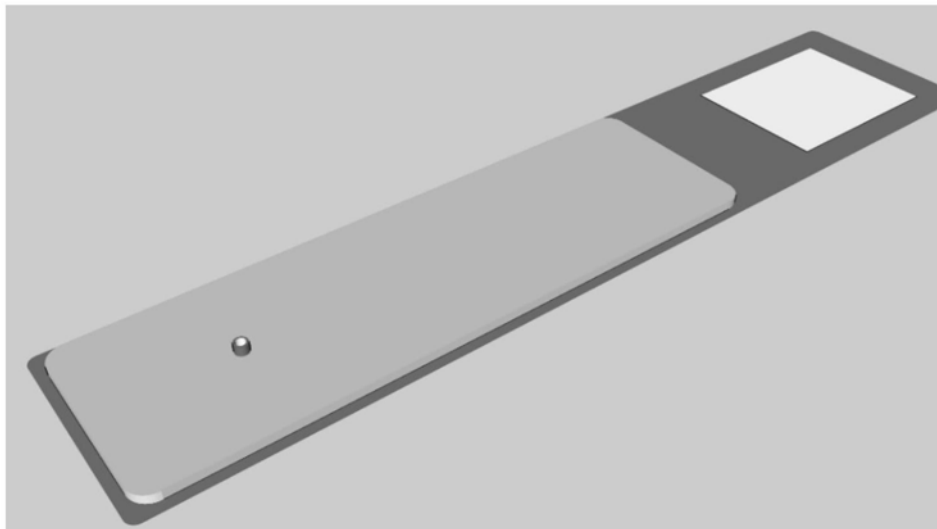
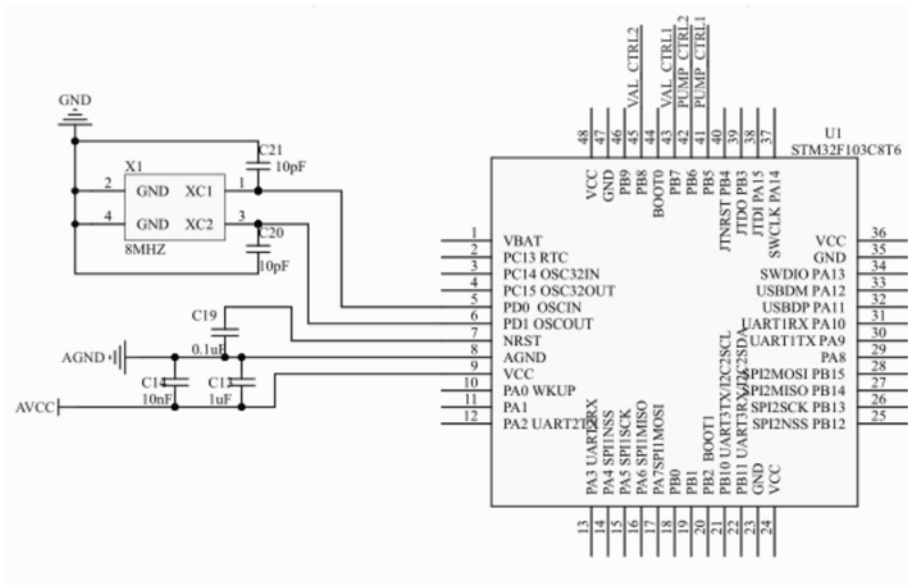
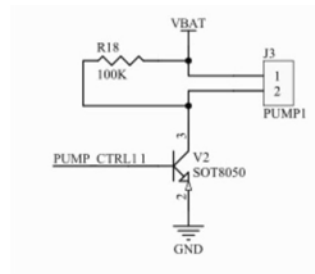


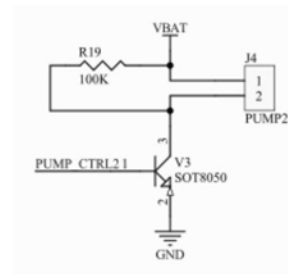
图4



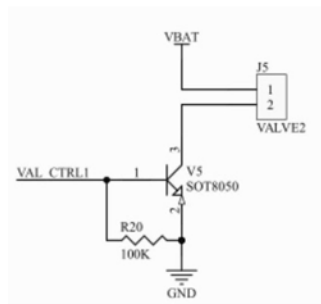
(a)



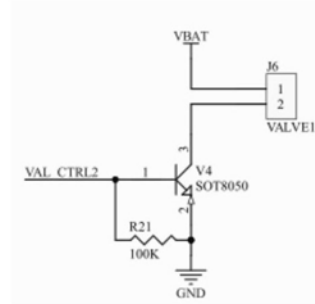
(b)



(c)



(d)



(e)

图5

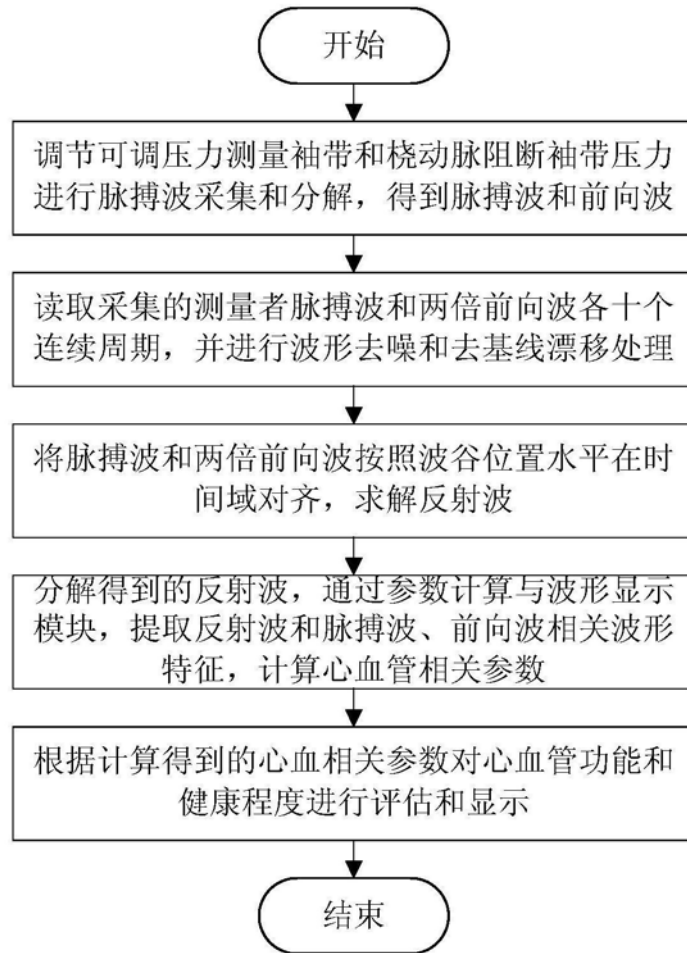
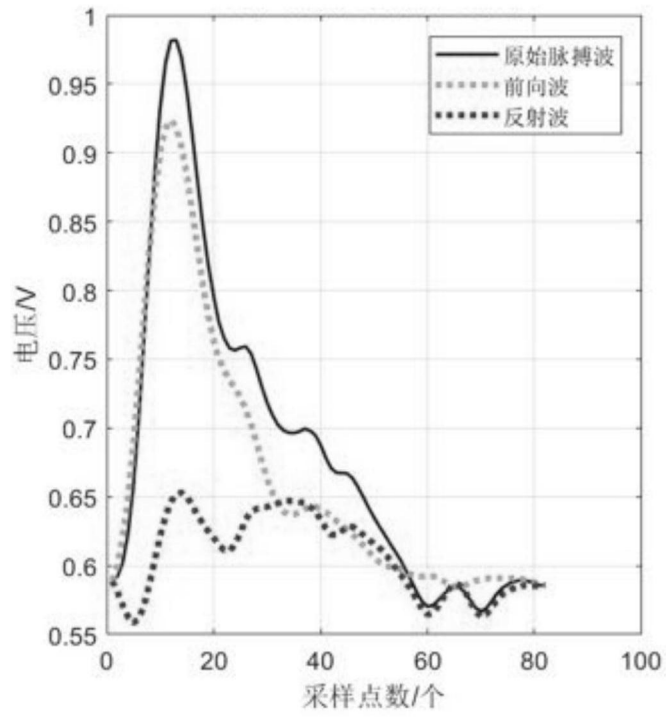
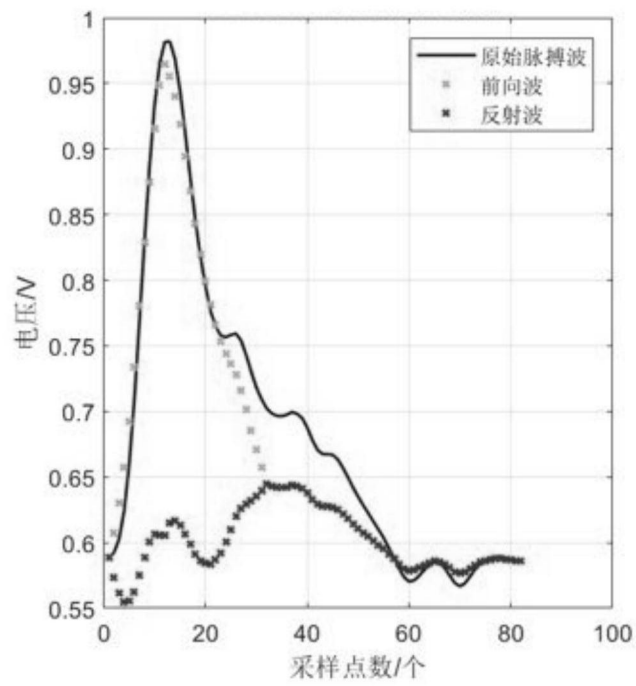


图6



(a)



(b)

图7

专利名称(译)	基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN110420014A</a>	公开(公告)日	2019-11-08
申请号	CN201910509555.1	申请日	2019-06-13
[标]申请(专利权)人(译)	东北大学		
申请(专利权)人(译)	东北大学		
当前申请(专利权)人(译)	东北大学		
[标]发明人	徐礼胜 杨壹程 黄彤宇 王璐 齐林 郝丽玲		
发明人	徐礼胜 杨壹程 黄彤宇 王璐 齐林 郝丽玲		
IPC分类号	A61B5/02 A61B5/0225 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/02007 A61B5/02108 A61B5/0225 A61B5/6802 A61B5/6824 A61B5/6831 A61B5/7203 A61B5/7225		
代理人(译)	刘晓岚		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明提供一种基于脉搏波智能分解的可穿戴心血管功能评价系统及方法，涉及生物医学电子健康领域。包括桡动脉血流阻断单元、脉搏波与前向波采集单元、控制单元、传输单元、反射波计算单元和心血管功能评估单元；脉搏波与前向波采集单元采集脉搏波和前向波波形；控制单元用于控制双袖带分别达到血流阻断或前向波测量的要求；传输单元用于将采集到的数据传输到反射波计算单元；反射波计算单元通过前向波计算得到脉搏波的反射波；心血管功能评估单元根据反射波计算反映心血管功能的相关参数和波形的实时显示，并根据参数指标评估心血管功能。本发明实现对脉搏波进行分解和反射波提取，计算前向波与反射波相关指标从而对心血管功能进行有效评估。

