



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108461146 B

(45)授权公告日 2019.12.03

(21)申请号 201810119313.7

(22)申请日 2018.02.06

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108461146 A

(43)申请公布日 2018.08.28

(73)专利权人 北京大学深圳研究生院  
地址 518055 广东省深圳市南山区西丽深圳大学城北大园区

(72)发明人 王新安 李冉 刘彦伶 赵天夏  
李秋平 陈红英 何春舅 马浩  
孙贺

(74)专利代理机构 深圳鼎合诚知识产权代理有限公司 44281  
代理人 郭燕

(51)Int.Cl.

G16H 50/30(2018.01)

G16H 50/20(2018.01)

(56)对比文件

WO 9715227 A1,1997.05.01,说明书第5页第24-28行,第6页第13行到第11页第31行,图1-

WO 9715227 A1,1997.05.01,说明书第5页第24-28行,第6页第13行到第11页第31行,图1-

CN 105193431 A,2015.12.30,说明书第74-84段.

审查员 高瑞玲

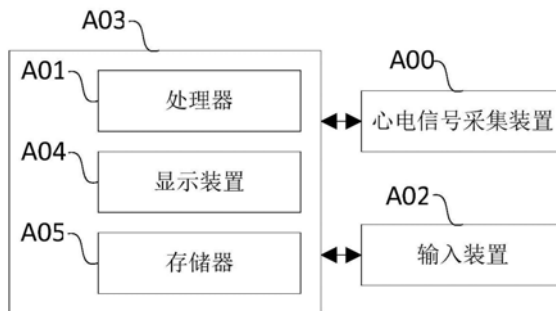
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于心电信号的糖尿病病情评估方法及系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于心电信号的糖尿病病情评估方法及系统,通过获取心电信号,及获取对应心电信号的特征指标,并得到心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数;通过获取心电信号,计算并根据心电信号的特征指标,通过所述模型函数,得到糖尿病病情评估结果。系统也可以获取多个心电信号,得到多个糖尿病病情评估结果,对这些结果进行记录和分析,获取糖尿病病情发展趋势评估结果,用于糖尿病患者的日常病情监测和控制。相比现有技术,本发明可以通过无创方法评估糖尿病病情及发展趋势,用户体验好、成本低、易操作,便于糖尿病患者实现控制病情发展,甚至于延缓病情发展的目标。



1. 一种基于心电信号的糖尿病病情评估系统,其特征在于,包括:  
心电信号采集装置,用于采集待检测者的心电信号;  
处理器,用于执行如下方法:  
获取心电信号;

根据所述心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果;其中,所述根据心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果包括:根据心电信号,计算心电信号的一个或多个特征指标,根据心电信号的特征指标,获取对应的糖尿病病情评估结果;其中,心电信号的特征指标,包括:对心电信号的pRRx序列进行线性分析以得到一个或多个线性的特征指标,和/或进行非线性分析,以得到一个或多个非线性的特征指标;其中任意一段心电信号的pRRx序列通过以下方式计算得到:计算该段心电信号中相邻RR间期之差大于阈值x毫秒的数量与全部RR间期的数量的比值,通过设置值不同的阈值x,得到每一个阈值x对应的比值,这些比值构成了所述pRRx序列。

2. 如权利要求1所述系统,其特征在于,包括:预先建立心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数,将心电信号的特征指标输入模型函数,得到对应的糖尿病病情评估结果。

3. 如权利要求1或2所述系统,其特征在于,心电信号的特征指标,还包括:

所述线性分析获得的特征指标:pRRx序列的均值AVRR、pRRx序列的标准差SDRR、pRRx序列中相邻pRRx差值的均方根rMSSD、pRRx序列中相邻pRRx差值的标准差SDSD中的至少一者;和/或,

所述非线性的特征指标包括对所述pRRx序列进行熵值分析法所得到的特征指标,包括:pRRx序列直方分布信息熵 $S_{dh}$ 、pRRx序列功率谱直方分布信息熵 $S_{ph}$ 、pRRx序列功率谱全频段分布信息熵 $S_{pf}$ 中的至少一者;和/或,所述非线性的特征指标包括所述pRRx序列进行分形维数计算分析所得到的特征指标,包括:结构函数法计算所得的分形维数 $D_{sf}$ 、相关函数法计算所得的分形维数 $D_{cf}$ 、变差法计算所得的分形维数 $D_{vm}$ 、均方根法计算所得的分形维数 $D_{rms}$ 中的至少一者。

4. 如权利要求1所述系统,其特征在于,还包括:

输入装置,与处理器信号相连,用于接收用户的输入信息;

壳体,所述壳体围合形成容纳腔,处理器和输入装置至少部分地收容于壳体的容纳腔中,所述壳体上设有一显示区域;

显示装置,与显示区域和处理器信号相连,并根据输入装置和处理器的指令将糖尿病病情和/或糖尿病病情趋势评估结果发送到显示区域进行显示;

存储器,与处理器信号相连,用于存储程序、糖尿病病情评估结果和糖尿病病情趋势评估结果。

5. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,包括程序,所述程序能够被处理器执行以实现如下方法:

获取心电信号;

根据所述心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果;其中,所述根据心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果包括:根据心电信号,计算心电信号的一个或多个特征指标,根据心电信号的特征指标,获取对应的糖尿病病情评估结果;其中,心电信号的特征指标,包

括:对心电信号的pRRx序列进行线性分析以得到一个或多个线性的特征指标,和/或进行非线性分析,以得到一个或多个非线性的特征指标;其中任意一段心电信号的pRRx序列通过以下方式计算得到:计算该段心电信号中相邻RR间期之差大于阈值x毫秒的数量与全部RR间期的数量的比值,通过设置值不同的阈值x,得到每一个阈值x对应的比值,这些比值构成了所述pRRx序列。

6.如权利要求5所述计算机可读存储介质,其特征在于,包括:预先建立心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数,将心电信号的特征指标输入模型函数,得到对应的糖尿病病情评估结果。

7.如权利要求5或6所述计算机可读存储介质,其特征在于,心电信号的特征指标,还包括:

所述线性分析获得的特征指标:pRRx序列的均值AVRR、pRRx序列的标准差SDRR、pRRx序列中相邻pRRx差值的均方根rMSSD、pRRx序列中相邻pRRx差值的标准差SDSD中的至少一者;和/或,

所述非线性的特征指标包括对所述pRRx序列进行熵值分析法所得到的特征指标,包括:pRRx序列直方分布信息熵 $S_{dh}$ 、pRRx序列功率谱直方分布信息熵 $S_{ph}$ 、pRRx序列功率谱全频段分布信息熵 $S_{pf}$ 中的至少一者;和/或,所述非线性的特征指标包括所述pRRx序列进行分形维数计算分析所得到的特征指标,包括:结构函数法计算所得的分形维数 $D_{sf}$ 、相关函数法计算所得的分形维数 $D_{cf}$ 、变差法计算所得的分形维数 $D_{vm}$ 、均方根法计算所得的分形维数 $D_{rms}$ 中的至少一者。

## 一种基于心电信号的糖尿病病情评估方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及糖尿病病情评估方法,具体涉及一种基于心电信号的糖尿病病情评估方法及系统。

### 背景技术

[0002] 糖尿病是一种可以致残、致死的慢性代谢性疾病,其病情轻重及风险评估是糖尿病患者及其家人都十分关注的一个问题。糖尿病与生活方式密切相关,目前除非病情严重,多数时间患者是在社区和家中,因此糖尿病的控制很大程度上依靠患者自我管理。除去定期入院检查糖化血红蛋白、肝肾功能、视网膜受损程度、体重、血压、心脏情况,通过监测手段了解自己的身体状况,初步进行自我评估,从而及时就医治疗,是糖尿病患者自我管理的重要环节。

[0003] 现有技术中,糖尿病患者日常的健康管理主要依赖于自测血糖。通过对自身的血糖进行监测,仅对自身的血糖调节能力进行评估,当发现血糖的调节无法在家中通过药物控制时,及时入院治疗。但是,除了血糖高外,许多糖尿病患者还同时合并高血压、高血脂、高尿酸血症等多种心血管危险因素,这些危险因素越多,糖尿病并发症的风险就越高。因为糖尿病可造成心、脑、肾、眼、神经、肢体等多器官损害,糖尿病的各种慢性并发症是导致糖尿病患者致残和死亡的主要原因。

### 发明内容

[0004] 本发明主要解决的技术问题是目前糖尿病病情评估主要是采用血糖自测方法,该方法检测参数单一、有创、用户体验差、成本高。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提出一种基于心电信号的糖尿病病情评估方法,包括:获取心电信号;根据所述心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果。

[0006] 另一方面,本发明还提出一种基于心电信号的糖尿病病情评估系统,包括:心电信号采集装置,用于采集待检测者的心电信号;处理器,用于执行如上所述的方法。

[0007] 另一方面,本发明还提出一种计算机可读存储介质,包括程序,所述程序能够被处理器执行以实现如上所述的方法。

[0008] 本发明采用的一种基于心电信号的糖尿病病情评估方法及系统,相比现有技术,可以无创评估糖尿病病情及发展趋势,用户体验好、成本低、易操作,便于糖尿病患者实现控制病情发展,甚至于延缓病情发展的目标。

### 附图说明

[0009] 图1为一种基于心电信号的糖尿病病情评估系统示意图;

[0010] 图2为一种基于心电信号的糖尿病病情评估方法流程图;

[0011] 图3为一种心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数建立方法流程图。

## 具体实施方式

[0012] 下面通过具体实施方式结合附图对本发明作进一步详细说明。其中不同实施方式中类似元件采用了相关联的类似的元件标号。在以下的实施方式中,很多细节描述是为了使得本申请能被更好的理解。然而,本领域技术人员可以毫不费力的认识到,其中部分特征在不同情况下是可以省略的,或者可以由其他元件、材料、方法所替代。在某些情况下,本申请相关的一些操作并没有在说明书中显示或者描述,这是为了避免本申请的核心部分被过多的描述所淹没,而对于本领域技术人员而言,详细描述这些相关操作并不是必要的,他们根据说明书中的描述以及本领域的一般技术知识即可完整了解相关操作。

[0013] 另外,说明书中所描述的特点、操作或者特征可以以任意适当的方式结合形成各种实施方式。同时,方法描述中的各步骤或者动作也可以按照本领域技术人员所能显而易见的方式进行顺序调换或调整。因此,说明书和附图中的各种顺序只是为了清楚描述某一个实施例,并不意味着是必须的顺序,除非另有说明其中某个顺序是必须遵循的。

[0014] 本文中为部件所编序号本身,例如“第一”、“第二”等,仅用于区分所描述的对象,不具有任何顺序或技术含义。而本申请所说“连接”、“联接”,如无特别说明,均包括直接和间接连接(联接)。

[0015] 本发明实施例一:请参照图1,一种基于心电信号的糖尿病病情评估系统包括:

[0016] 心电信号采集装置A00:用于采集待检测者的心电信号;

[0017] 处理器A01:用于根据获取的心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果。另一方面,处理器A01根据心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果包括:根据心电信号,计算心电信号的一个或多个特征指标,根据心电信号的特征指标,获取对应的糖尿病病情评估结果。此外,处理器A01可以预先建立心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数,将心电信号的特征指标输入模型函数,得到对应的糖尿病病情评估结果。处理器A10通过预先获取不同病情阶段糖尿病患者的生理参数,以及采集所述生理参数时对应的时间点之前的心电信号;获取这些心电信号的特征指标;将这些心电信号的特征指标,以及这些心电信号对应的生理参数作为输入,进行机器学习,得到心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数。处理器A10还可以根据获取多个时间点的心电信号,获得对应多个时间点的糖尿病病情评估结果,对这些评估结果进行记录和分析,用于评估糖尿病病情发展趋势。

[0018] 其中,处理器A10基于心电信号得到对应的糖尿病病情评估结果,主要基于心电信号的RR间隔序列,所述RR间隔是指心电信号波形中相邻的R峰和R峰之间的时间间隔,RR间隔序列包括一段心电信号中的所有RR间隔。

[0019] 在一实施例中,处理器A10通过心电信号计算特征指标,包括:对心电信号的pRRx序列进行线性分析以得到一个或多个线性的特征指标,和/或进行非线性分析,以得到一个或多个非线性的特征指标。其中任意一段心电信号的pRRx序列通过以下方式计算得到:计算该段心电信号中相邻RR间期之差大于阈值x毫秒的数量与全部RR间期的数量的比值,通过设置值不同的阈值x,得到每一个阈值x对应的比值,这些比值构成了所述pRRx序列。在本实施例中,该比值用百分比表示,如式(1)所示:

$$[0020] \quad pRRx = \frac{RRxcount}{totalRRcount} \times 100\% \quad (1)$$

[0021] 根据所述心电信号的pRRx序列进行线性分析和/或非线性分析,可以得到一个或多个特征指标。

[0022] 例如,线性分析获得的特征指标可以包括:pRRx序列的均值AVRR、pRRx序列的标准差SDRR、pRRx序列中相邻pRRx差值的均方根rMSSD、pRRx序列中相邻pRRx差值的标准差SDSD。

[0023] 对每段心电信号的pRRx序列进行非线性分析,采用熵值分析法,即:根据现有技术,对于概率分布函数 $p(x)$ 的随机变量集 $A$ ,熵的定义如式(2)所示:

$$[0024] \quad H(A) = -\sum p_A(x) \log p_A(x) \quad (2)$$

[0025] 可以获得的特征指标包括:

[0026] (1) pRRx序列直方分布信息熵 $S_{dh}$ 是对pRRx序列的数值分布信息熵;

[0027] (2) pRRx序列功率谱直方分布信息熵 $S_{ph}$ 是对pRRx序列进行离散傅里叶变换得到功率谱,然后根据功率谱序列的数值分布计算其信息熵;

[0028] (3) pRRx序列功率谱全频段分布信息熵 $S_{pf}$ 是对pRRx序列进行离散傅里叶变换得到功率谱,在全频段 $[f_s/N, f_s/2]$ (信号的采样频率为 $f_s$ ,采样点数为 $N$ )内插入 $i-1$ 个分点 $f_1, f_2, \dots, f_{m-1}$ ,将全频段分割成 $i$ 个子频段。把每个频段内的功率密度之和作为该频段的功率密度,则得到 $m$ 个功率密度。将这 $i$ 个功率密度归一化得到每个频段出现的概率 $p_i$ ,则 $\sum_i p_i = 1$ ,相应的功率谱全频段熵如式(3)所示:

$$[0029] \quad S_{pf} = -\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_i p_i \log p_i \quad (3)$$

[0030] 对每段心电信号的pRRx序列进行非线性分析,也可以采用下面四种分形维数计算方法可以得到如下的特征指标:

[0031] (1) 结构函数法计算所得的分形维数 $D_{sf}$ ,其中,结构函数法是指对于给定的序列 $z(x)$ ,定义增量方差为结构函数,其关系为:

$$[0032] \quad S(\tau) = \left\langle [z(x+\tau) - z(x)]^2 \right\rangle = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (z_{i+\tau} - z_i)^2, \quad \tau = 1, 2, 3, \dots, N-1 \quad (4)$$

[0033] 对于若干个标度 $\tau$ ,对序列 $z(x)$ 的离散值计算出相应的 $S(\tau)$ ,然后画出 $\log S(\tau) - \log \tau$ 的函数曲线,在无标度区进行线性拟合,得到斜率 $\alpha$ ,则对应分形维数 $D_{sf}$ 与斜率 $\alpha$ 的转化关系如式(5)所示:

$$[0034] \quad D_{sf} = 2 - \frac{\alpha}{2} \quad (5)$$

[0035] (2) 相关函数法计算所得的分形维数 $D_{cf}$ ,其中,相关函数法是指对于给定的序列 $z(x)$ ,相关函数 $C(\tau)$ 定义为式(6)所示:

$$[0036] \quad C(\tau) = \text{AVE}(z(x+\tau) * z(x)), \tau = 1, 2, 3, \dots, N-1 \quad (6)$$

[0037] 其中,AVE( $\cdot$ )表示平均, $\tau$ 表示两点距离。此时相关函数为幂型,由于不存在特征长度,则分布为分形,有 $C(\tau) \propto \tau^{-\alpha}$ 。这时,画出 $\log C(\tau) - \log \tau$ 的函数曲线,在无标度区进行线性拟合,得到斜率 $\alpha$ ,则对应分形维数 $D_{cf}$ 与斜率 $\alpha$ 的转化关系如式(7)所示:

$$[0038] \quad D_{cf} = 2 - \alpha \quad (7)$$

[0039] (3) 变差法计算所得的分形维数 $D_{vm}$ ,其中,变差法用宽为 $\tau$ 的矩形框首尾相接的将分形曲线覆盖起来,令第 $i$ 个框内曲线的最大值和最小值之差为 $H(i)$ ,即为矩形的高度。将

所有矩形的高和宽相乘得到总面积

[0040]  $S(\tau)$ 。改变 $\tau$ 的大小,得到一系列的 $S(\tau)$ 。如式(8)所示:

$$[0041] \quad N(\tau) = \frac{S(\tau)}{\tau^2} = \frac{\sum H_i}{\tau} \quad (8)$$

[0042] 画出 $\log N(\tau) - \log \tau$ 的函数曲线,在无标度区进行线性拟合得到斜率 $\alpha$ ,则对应分形维数 $D_{vm}$ 与斜率 $\alpha$ 的转化关系如式(7)所示。

[0043] (4) 均方根法计算所得的分形维数 $D_{rms}$ ,其中,均方根法用宽为 $\tau$ 的矩形框首尾相接的将分形曲线覆盖起来,令第 $i$ 个框内曲线的最大值和最小值之差为 $H(i)$ ,即为矩形的高度。计算这些矩形高度的均方根值 $S(\tau)$ 。改变 $\tau$ 的大小,得到一系列的 $S(\tau)$ 。画出 $\log S(\tau) - \log \tau$ 的函数曲线,在无标度区进行线性拟合得到斜率 $\alpha$ ,则对应分形维数 $D_{rms}$ 与斜率 $\alpha$ 的转化关系如式(7)所示。

[0044] 用于进行糖尿病病情评估结果的心电信号特征指标是上述线性和/或非线形分析得到的特征指标中的一个、多个,或者是其中几个的集合,也可以是除本实施例所罗列之外的现有分析方法所得到的相应特征指标。

[0045] 输入装置A02:与处理器信号相连,用于接收用户的输入信息。

[0046] 壳体A03:所述壳体围合形成容纳腔,处理器A01和输入装置A02至少部分地收容于壳体A03的容纳腔中,所述壳体A03上设有一显示区域。

[0047] 显示装置A04:与显示区域和处理器A01信号相连,并根据输入装置A02和处理器A01的指令显示糖尿病病情和/或糖尿病病情趋势评估结果。

[0048] 存储器A05:与处理器A01信号相连,用于存储程序、糖尿病病情评估结果和糖尿病病情趋势评估结果。

[0049] 在一实施例中,一名糖尿病患者65岁,有2型糖尿病,空腹血糖8.5毫摩/升,早餐后2小时血糖14.2毫摩/升,糖化血红蛋白(HbA1c)8.5%;体重指数29(低于24为正常),腹型肥胖,血压为165/100毫米汞柱(血压高),三酰甘油为4.8毫摩/升,低密度脂蛋白-胆固醇为(LDL-C)4.5毫摩/升,高密度脂蛋白-胆固醇为(HDL-C)0.85毫摩/升(脂代谢紊乱),血尿酸为580毫摩/升(高尿酸血症),眼底正常,24小时尿微量白蛋白定量为210毫克/24小时(增高),肝功能正常,心电图正常。这位患者综合的糖尿病病情评估结果为2型糖尿病及早期糖尿病肾病,同时伴随心血管病的高危情况。具体在本实施例中,患者可以通过心电信号采集装置A00在不同时间采集心电信号,通过A01处理器和A05存储器,完成对应时间点的糖尿病病情评估结果和记录,从而进行患者糖尿病病情发展的趋势评估,通过输入装置A02接收患者指令,在显示装置A04的支持下,通过壳体A03上的显示区域方便准确的获取所得的糖尿病病情评估结果,以及相应的糖尿病病情发展趋势评估结果。该结果可以用于糖尿病患者进行自我健康管理,包括:与医生充分讨论个体化糖尿病病情控制目标;与医生共同回顾日常糖尿病病情监测和趋势结果;与医生一起解释和交流日常糖尿病病情;根据糖尿病病情和医生反馈积极改变日常生活行为,从而实现控制糖尿病病情发展,甚至于延缓病情发展的目标。

[0050] 在本实施例中,处理器A10采用了图2所示的基于心电信号的糖尿病病情评估方法,该方法成本低、安全有效,具体包括B00步骤~B10步骤,下面具体说明:

[0051] B00:获取多个时间段的心电信号。

[0052] B10:根据所述心电信号,获取对应的糖尿病病情评估结果。

[0053] 在一实施例中,步骤B10包括:根据心电信号,计算心电信号的一个或多个特征指标,根据心电信号的特征指标,获取对应的糖尿病病情评估结果。其中,心电信号的特征指标和糖尿病病情评估结果的计算方法如上所述。

[0054] 在一实施例中,步骤B10在根据心电信号的特征指标来获取对应糖尿病病情评估结果时,可以预先建立心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数,将心电信号的特征指标输入模型函数,得到对应糖尿病病情评估结果。例如,B10步骤可以通过机器学习,来建立心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数,请参照图3所示。

[0055] 如图3所示,B10步骤建立上述模型函数,可以包括B11~B13步骤,下面具体说明。

[0056] B11:预先获取不同病情阶段糖尿病患者的生理参数,以及采集所述生理参数时对应的时间点之前的心电信号。其中,所述预先获取不同病情阶段糖尿病患者的生理参数,例如:血糖值、体重指数、血压值、胆固醇、尿酸、疾病类型、阶段、并发症数量及严重程度等;这个步骤中所述获取生理参数的方法可以采用现有技术中常用的、精准确度高的方法,同时,对应每个患者生理参数的获取,需要采集生理参数时间点之前对应的心电信号,由于个体新陈代谢情况存在差异,每个采样者所需的心电信号时间长度并不相同,以实际建模效果为准,本实施例选取1~30分钟不同时间长度的心电信号。

[0057] B12:获取这些心电信号的特征指标。

[0058] B13:将这些心电信号的特征指标,以及这些心电信号对应的生理参数作为输入,进行机器学习,得到心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数。

[0059] 根据上述步骤得到心电信号的特征指标与糖尿病病情对应关系的模型函数后,再将B00步骤所获取待检测者的心电信号输入该模型函数,即可得到糖尿病病情评估结果。

[0060] 在一实施例中,还可以根据上述方法得到同一患者在多个时间点的糖尿病病情评估结果,可以进行表格记录以及进一步分析,获得患者糖尿病病情发展趋势的评估结果。

[0061] 本领域技术人员可以理解,上述实施方式中各种方法的全部或部分功能可以通过硬件的方式实现,也可以通过计算机程序的方式实现。当上述实施方式中全部或部分功能通过计算机程序的方式实现时,该程序可以存储于一计算机可读存储介质中,存储介质可以包括:只读存储器、随机存储器、磁盘、光盘、硬盘等,通过计算机执行该程序以实现上述功能。例如,将程序存储在设备的存储器中,当通过处理器执行存储器中程序,即可实现上述全部或部分功能。另外,当上述实施方式中全部或部分功能通过计算机程序的方式实现时,该程序也可以存储在服务器、另一计算机、磁盘、光盘、闪存盘或移动硬盘等存储介质中,通过下载或复制保存到本地设备的存储器中,或对本地设备的系统进行版本更新,当通过处理器执行存储器中的程序时,即可实现上述实施方式中全部或部分功能。

[0062] 以上应用了具体个例对本发明进行阐述,只是用于帮助理解本发明,并不用以限制本发明。对于本发明所属技术领域的技术人员,依据本发明的思想,还可以做出若干简单推演、变形或替换。



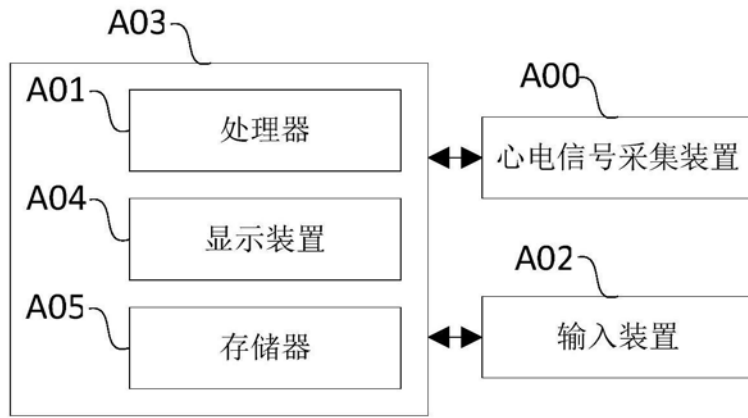


图1

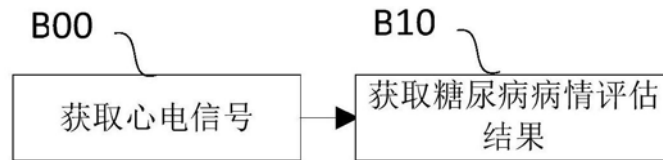


图2

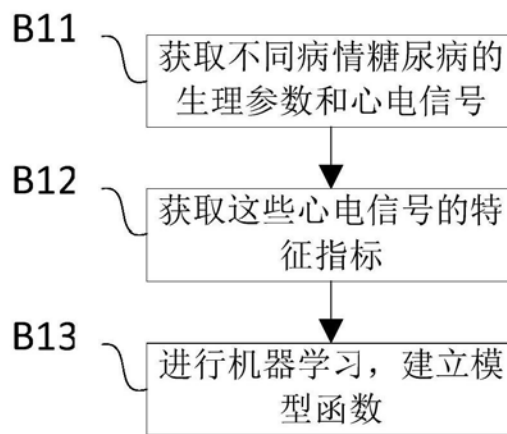


图3