



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104840186 A

(43) 申请公布日 2015. 08. 19

(21) 申请号 201510228873. 2

(22) 申请日 2015. 05. 07

(71) 申请人 中山大学

地址 510275 广东省广州市海珠区新港西路
135 号

(72) 发明人 蒋庆 陈文卉 刘官正

(74) 专利代理机构 广东世纪专利事务所 44216

代理人 刘卉

(51) Int. Cl.

A61B 5/00(2006. 01)

A61B 5/0402(2006. 01)

A61B 5/024(2006. 01)

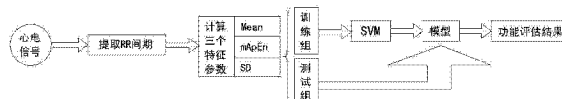
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法

(57) 摘要

一种充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,步骤包括:首先对采集到的 6 小时体表心电信号,逐拍提取心跳间期构成心率变异性序列,并对该序列进行三个特征参数的提取;然后将采集到的样本每一等级随机分成等量的两组,分别作为训练组和测试组,将训练组样本对应的三个特征参数作为分类器 SVM 的输入,建立 CHF 患者自主神经功能的评估模型;最后将测试组样本对应的三个特征参数输入评估模型,获得对于 CHF 患者自主神经功能的评估结果。本发明用无创采集的人体心电信号实现对于 CHF 患者自主神经系统功能的评估,对于 CHF 患者的状态不作严格的限制,在正常的日常生理生活状态(即无剧烈运动)下采集 6 小时数据并进行分析,即可适用于本方法。



1. 一种充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,其特征包括以下步骤:

1) 采集 CHF 患者 6 小时体表心电信号,并对采集到的体表心电信号逐拍提取心跳间期构成心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$, 并对该序列进行三个特征参数的提取;

2) 将心率变异性序列的每一等级随机分成等量的两组,分别作为训练组和测试组,并将训练组对应的三个特征参数作为分类器 SVM 的输入,建立 CHF 患者自主神经功能的评估模型;

3) 将测试组对应的三个特征参数输入评估模型,获得对于 CHF 患者自主神经系统功能的评估结果。

2. 根据权利要求 1 所述充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,其特征包括上述步骤 1) 中提取的三个特征参数如下:

第一个特征参数为:对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 计算 6 小时获得的总功率 TP;

第二个特征参数为:对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟分段后计算均值构成序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$, 计算序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$ 获得的模糊熵 fuzzyAV;

第三个特征参数为:对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟分段后计算低高频功率之比构成序列 $\{WS_ratio_i, i=1, 2, \dots, M\}$, 计算序列 $\{WS_ratio_i, i=1, 2, \dots, M\}$ 获得的模糊熵 fuzzyLH。

3. 根据权利要求 2 所述充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,其特征包括上述第二个特征参数的提取,包括以下步骤:

a_1 、对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟时间长度分段,得到分段矩阵序列 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$, 该分段矩阵序列每一行是一个 5 分钟时段内的 RR 间期值;

a_2 、计算 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ 每行的均值,构成一维序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$, 计算该一维序列的模糊熵,即为 fuzzyAV。

4. 根据权利要求 2 所述充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,其特征包括上述第三个特征参数的提取,包括以下步骤:

b_1 、对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟时间长度分段,得到分段矩阵序列 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$, 该分段矩阵序列每一行是一个 5 分钟时段内的 RR 间期值;

b_2 、计算 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ 每行的高低频小波熵之比,构成一维序列 $\{WS_ratio_i, i=1, 2, \dots, M\}$, 计算该一维序列的模糊熵,即为 fuzzyLH。

5. 根据权利要求 1 所述充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,其特征包括上述步骤 2) 中将训练组对应的三个特征参数作为分类器 SVM 的输入,其输入特征向量 $I=(TP, fuzzyAV, fuzzyLH)$ 。

6. 根据权利要求 1 所述充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,其特征包括上述步骤 3) 中获得的 CHF 患者自主神经系统功能的评估结果由分类器 SVM 输出,且分类器 SVM 的输出标签值“1, 2, 3, 4”代表 CHF 患者的自主神经功能状态,且用于对应不同的 CHF 疾病程度及突发事件发生概率:“1”代表自主神经功能为 I 级,对应无 CHF 疾病,突发事件发生概率极低;“2”代表自主神经功能为 II 级,对应 CHF 疾病程度 I,突发事件发生概率低;“3”代表自主神经功能为 III 级,对应 CHF 疾病程度 II,突发事件发生概率高;“4”代表自主神经功能为 IV 级,对应 CHF 疾病程度 III-IV,突发事件发生概率较高。

一种充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于心率变异性的充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法。

背景技术

[0002] 充血性心力衰竭(congestive heart failure, 简称CHF)是一种目前较为常见的慢性心血管疾病,致死率较高。在临床及生活中,常见 CHF 患者的各种心血管突发事件(心律失常、心脏性猝死等),这与 CHF 患者心脏自主神经系统(ANS)功能受到明显损伤有关。目前,随着心率变异性研究的广泛展开,及人们对于 CHF 患者自主神经系统的更多了解,发现心率变异性(heart rate variability, 简称HRV)的差异与调节心脏的自主神经功能活动密切相关,即心率变异性指标对于评估 CHF 患者的突发事件发生概率有重要价值。建立基于心率变异性的 CHF 患者自主神经功能评估模型,对于临床上预防 CHF 患者各种突发事件提供一定的参考依据。

[0003] 在现有技术中,申请号为 201210159006.4 的中国专利申请公开了一种基于心率变异性非线性特性的充盈性心衰自动诊断方法,该方法具有如下三方面:1)其基于心率变异性序列提取的特征参数是样本熵 SE4、分布差异熵 DE4、标准差 SD;2)其目的是提供一种基于心率变异性序列的 CHF 自动诊断方法;3)其是基于 HRV 非线性特性来实现 CHF 自动诊断。该方法有如下不足:1)其基于心率变异性序列提取的特征参数不能反映在时间段内患者的自主神经功能变化状况;2)其只对心率衰竭患者做了筛查,而没有对患者的疾病严重状况(疾病严重状况对应着不同的自主神经功能等级)作分析。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对上述存在问题和不足,提供一种所采用的三种特征能够反映在一定时间段内被测试者的自主神经系统的波动性,以及旨在通过基于心率变异性特征分析的充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法。

[0005] 本发明的技术方案是这样实现的:

本发明所述的充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法,其特点是包括以下步骤:

1)采集 CHF 患者 6 小时体表心电信号,并对采集到的体表心电信号逐拍提取心跳间期构成心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$, 并对该序列进行三个特征参数的提取;

2)将心率变异性序列的每一等级随机分成等量的两组,分别作为训练组和测试组,并将训练组对应的三个特征参数作为分类器 SVM 的输入,建立 CHF 患者自主神经功能的评估模型;

3)将测试组对应的三个特征参数输入评估模型,获得对于 CHF 患者自主神经系统功能的评估结果。

[0006] 其中,上述步骤 1)中提取的三个特征参数如下:

第一个特征参数为：对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 计算 6 小时获得的总功率 TP；

第二个特征参数为：对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟分段后计算均值构成序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$ ，计算序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$ 获得的模糊熵 fuzzyAV；

第三个特征参数为：对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟分段后计算低高频功率之比构成序列 $\{WS_ratio_i, i=1, 2, \dots, M\}$ ，计算序列 $\{WS_ratio_i, i=1, 2, \dots, M\}$ 获得的模糊熵 fuzzyLH。

[0007] 上述第二个特征参数的提取，包括以下步骤：

a_1 、对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟时间长度分段，得到分段矩阵序列 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ ，该分段矩阵序列每一行是一个 5 分钟时段内的 RR 间期值；

a_2 、计算 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ 每行的均值，构成一维序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$ ，计算该一维序列的模糊熵，即为 fuzzyAV。

[0008] 上述第三个特征参数的提取，包括以下步骤：

b_1 、对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟时间长度分段，得到分段矩阵序列 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ ，该分段矩阵序列每一行是一个 5 分钟时段内的 RR 间期值；

b_2 、计算 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ 每行的高低频小波熵之比，构成一维序列 $\{WS_ratio_i, i=1, 2, \dots, M\}$ ，计算该一维序列的模糊熵，即为 fuzzyLH。

[0009] 上述步骤 2) 中将训练组对应的三个特征参数作为分类器 SVM 的输入，其输入特征向量 $I=(TP, fuzzyAV, fuzzyLH)$ 。

[0010] 上述步骤 3) 中获得的 CHF 患者自主神经系统功能的评估结果由分类器 SVM 输出，且分类器 SVM 的输出标签值“1, 2, 3, 4”代表 CHF 患者的自主神经功能状态，且用于对应不同的 CHF 疾病程度及突发事件发生概率：“1”代表自主神经功能为 I 级，对应无 CHF 疾病，突发事件发生概率极低；“2”代表自主神经功能为 II 级，对应 CHF 疾病程度 I，突发事件发生概率低；“3”代表自主神经功能为 III 级，对应 CHF 疾病程度 II，突发事件发生概率高；“4”代表自主神经功能为 IV 级，对应 CHF 疾病程度 III-IV，突发事件发生概率较高。

[0011] 本发明由于采用了分类器 SVM 用于构建基于心率变异性特征参数的心力衰竭患者自主神经功能的评估模型，对于每个样本提取的三个特征参数均构成一个三维的特征空间，用于描述该样本的心率变异性，从而确定对应的自主神经功能所在程度，由于分类器 SVM 是通过学习训练组的特征空间而建立不同自主神经功能等级的模型，且基于该模型可以将测试组区分为四个类别：自主神经功能 I 级、自主神经功能 II 级、自主神经功能 III 级及自主神经功能 IV 级，因此利用 SVM 的机器学习能力，可以构建一个复杂的模型来实现对于 CHF 患者自主神经功能的评估，达到评估准确度高的目的。同时，本发明中的三个特征参数不对 HRV 序列作平稳性假设，因此本发明不限定数据采集过程中受试者必须处于静息状态，只要是正常的日常生理生活状态（即无剧烈运动）下采集 6 小时的体表心电信号，即可应用本发明的方法。同时，由于本发明设计的运算较为简单，分类器常见，因此在实现方面较为可行。

[0012] 下面结合附图对本发明作进一步的说明。

附图说明

[0013] 图 1 是本发明的原理框图。

[0014] 图 2 是本发明的实验流程框图。

[0015] 图 3 是本发明分类器 SVM 的原理框图。

[0016] 图 4 是本发明自主神经功能 I、II、III 和 IV 级 CHF 患者的 HRV 波形图。

具体实施方式

[0017] 如图 1- 图 2 所示, 本发明所述的充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法, 包括以下步骤:

1) 通过心电采集设备采集 CHF 患者 6 小时体表心电信号 (ECG), 并对采集到的体表心电信号 (ECG) 逐拍提取 R 峰峰值计算 R-R 间期获取 HRV 序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$, 并对该序列进行三个特征参数的提取, 且提取的第一个特征参数为: 6 小时的总功率 TP; 第二个特征参数为: 均值序列的模糊熵 fuzzyAV; 第三个特征参数为: 高低频小波熵之比序列的模糊熵 fuzzyLH;

2) 将心率变异性序列的每一等级随机分成等量的两组, 分别作为训练组和测试组, 并将训练组对应的三个特征参数作为分类器 SVM 的输入, 建立 CHF 患者自主神经功能的评估模型, 其中分类器 SVM 的原理如图 3 所示;

3) 将测试组对应的三个特征参数输入评估模型, 获得对于 CHF 患者自主神经系统功能的评估结果。

[0018] 也就是说, 该方法的原理是基于正常日常生理生活状态 (不限定静息状态, 无剧烈运动) 下在患者体表采集心电信号 (ECG), 经寻找每次心跳的 R 峰位置逐拍提取心跳间期 (RR 间期) 构成 HRV 序列, 提取其特征参数构成特征向量, 然后通过分类器 SVM 由训练组建立评估模型, 实现对 CHF 患者自主神经功能的评估。

[0019] 其中, 所述步骤 1) 中各特征参数的计算方法分别如下:

1.1) 6 小时的总功率 TP 的计算:

$$TP = \int_{-T}^{+T} f^2(t) dt$$

1.2) 均值序列的模糊熵 fuzzyAV 的计算:

a_1 、对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟时间长度分段, 得到分段矩阵序列 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$, 该分段矩阵序列每一行是一个 5 分钟时段内的 RR 间期值;

a_2 、计算 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ 每行的均值, 构成一维序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$, 计算该一维序列的模糊熵, 即为 fuzzyAV。

[0020] 1.3) 高低频小波熵之比序列的模糊熵 fuzzyLH 的计算:

b_1 、对心率变异性序列 $\{RR_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 按 5 分钟时间长度分段, 得到分段矩阵序列 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$, 该分段矩阵序列每一行是一个 5 分钟时段内的 RR 间期值;

b_2 、计算 $\{RR_{i,j}, i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N\}$ 每行的高低频小波熵之比, 构成一维序列 $\{WS_ratio_i, i=1, 2, \dots, M\}$, 计算该一维序列的模糊熵, 即为 fuzzyLH。

[0021] 模糊熵的具体计算步骤如下:

对序列 $\{AVERG_i, i=1, 2, \dots, M\}$ 构建二维模板, 得到二维矢量序列:

$$X(j) = (AVERG_j, AVERG_{j+1}), j=1, 2, \dots, M-1$$

计算序列 $X(j) = (AVERG_j, AVERG_{j+1})$, $j=1, 2, \dots, M-1$ 中每两个矢量 $X(i)$ 和 $X(j)$ 之间的间距 d :

$$d = d[X(i), X(j)] = \max(X(i) - X(j))$$

设定阈值 $r = 0.2 \times \text{std}(AVERG)$, 对间距做模糊化处理 $u = \exp(-d^n/r)$, 求所得各 u 的均值 ϕ^2 , 即为矢量相同概率;

将模板维度加 1, 重复上述步骤, 求 ϕ^3 ;

最后, 计算模糊熵 $FuzzyEn = \ln(\phi^2 / \phi^3)$ 。

[0022] 所述步骤 2) 中, 将心率变异性序列的每一等级随机分为等量的两组: 训练组和测试组, 将步骤 1) 中计算得到的训练组的三个特征参数作为分类器 SVM 的输入, 构建 CHF 患者自主神经功能的评估模型。所述步骤 3) 中, 运用步骤 2) 获得的评估模型对测试组进行分类评估, 评估结果由分类器 SVM 输出, 而且分类器 SVM 的输出分类标签值“1, 2, 3, 4”的结果代表 CHF 患者自主神经功能的等级, 且用于对应不同的 CHF 疾病程度及突发事件发生概率, 其中: “1”代表自主神经功能为 I 级, 对应无 CHF 疾病, 突发事件发生概率极低; “2”代表自主神经功能为 II 级, 对应 CHF 疾病程度 I, 突发事件发生概率低, “3”代表自主神经功能为 III 级, 对应 CHF 疾病程度 II, 突发事件发生概率高, “4”代表自主神经功能为 IV 级, 对应 CHF 疾病程度 III-IV, 突发事件发生概率较高。如图 4 所示, 为自主神经功能 I、II、III 和 IV 级 CHF 患者的 HRV 波形图。

[0023] 本发明中, 特征参数提取包括总功率 TP、均值序列的模糊熵 fuzzyAV、高低频小波熵之比的模糊熵 fuzzyLH。评估 CHF 患者自主神经功能, 实际就是关注心脏动力系统。心脏动力系统是一个典型的多输入的非线性系统, 在研究心脏控制系统时, 不仅要关注其随时间的微小波动状况, 同时也要注意其非线性的复杂度的特性。在以往的研究中, 熵指标在不同等级的 CHF 患者间存在较显著差异, 在本发明中, 对数据作了分时段平均处理, 加强了差异性。传统频域 HRV 指标在区分 CHF 患者等级间具有较显著的区分度。因此, 本发明中, 将这三种指标组合在一起, 能够利于构建更好的自主神经功能评估模型。对于自主神经功能的评估结果, 可以作为 CHF 患者突发事件发生概率的辅助指标, 自主神经功能等级与突发事件发生概率正相关, 为减少 CHF 患者的致死率提供一定的参考。

[0024] 本发明中, 分类器 SVM 用于构建基于心率变异性特征参数的心力衰竭患者自主神经功能评估模型。对于每个样本提取的三个特征参数均构成一个三维的特征空间, 用于描述该样本的自主神经功能状态, 确定对应的自主神经功能程度。而且, 分类器 SVM 通过学习训练组的特征空间, 可以建立不同自主神经功能等级的模型, 基于该模型可以将测试组区分为四个类别: “1”代表自主神经功能为 I 级, 对应 CHF 疾病程度 I; “2”代表自主神经功能为 II 级, 对应 CHF 疾病程度 II; “3”代表自主神经功能为 III 级, 对应 CHF 疾病程度 III; “4”代表自主神经功能为 IV 级, 对应 CHF 疾病程度 IV。因此, 利用 SVM 的机器学习能力, 可以构建一个复杂的模型来实现对于 CHF 患者自主神经功能的评估。

[0025] 本发明中的三个特征参数不对 HRV 序列作平稳性假设, 因此本发明不限定数据采集过程中受试者必须处于静息状态, 只要是正常的日常生理生活状态(即无剧烈运动)下采集 6 小时的体表心电信号, 即可应用本发明的方法。同时, 因为本发明设计的运算较为简单, 分类器常见, 所以在实现方面较为可行。

[0026] 本发明旨在通过分类器 SVM 构建基于心率变异性的心力衰竭患者自主神经功能评估模型,但是并不限于本发明。本发明所述技术领域具有通常知识者,在不脱离本发明的精神和范围内,当可作各种的更动和润饰。因此,本发明的保护范围当视权利要求书所界定者为准。

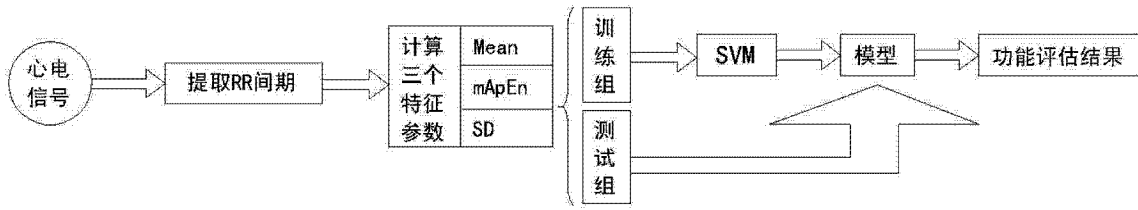


图 1

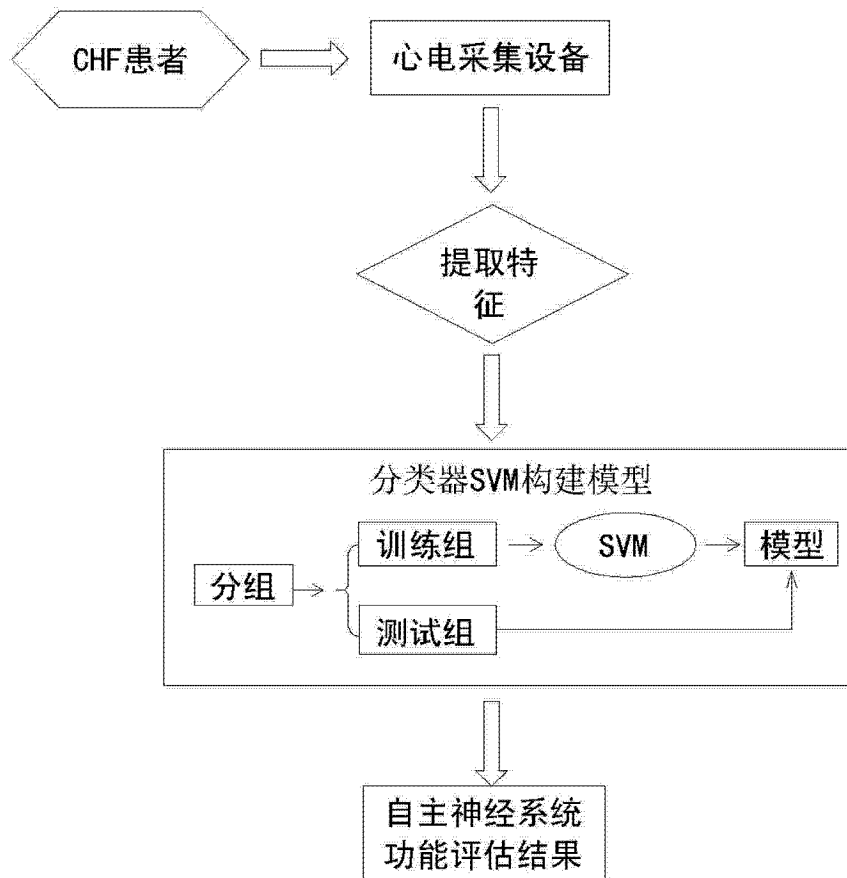


图 2

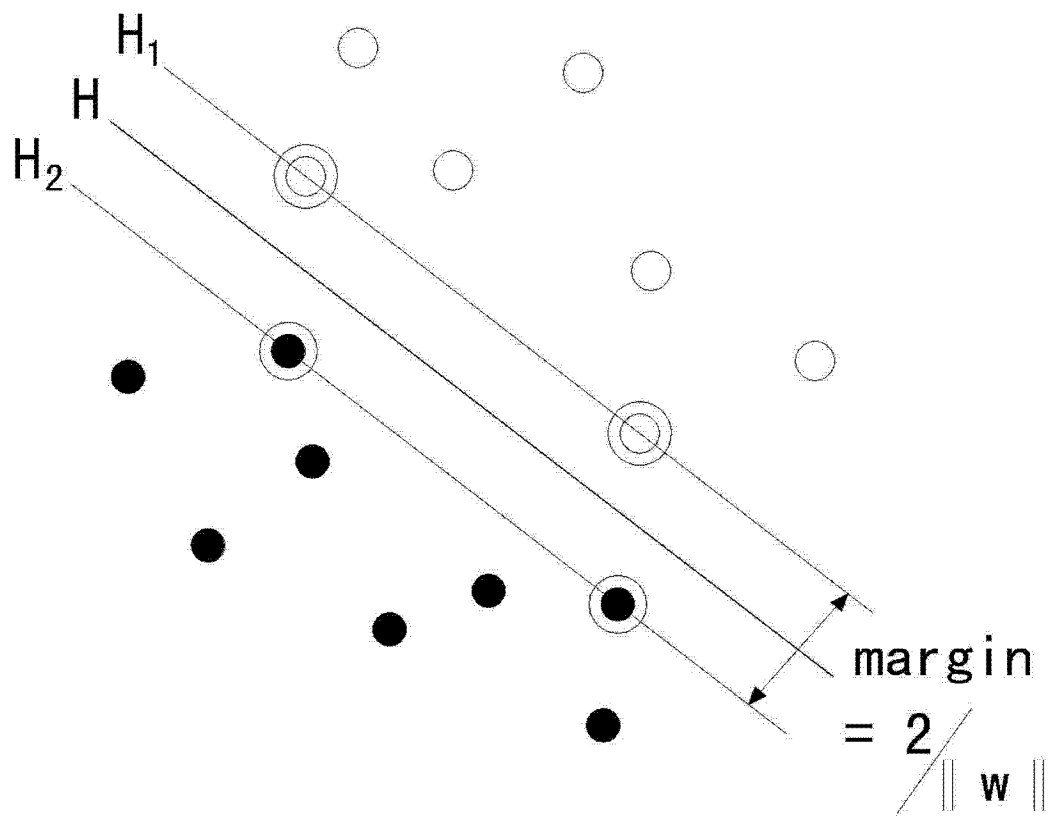
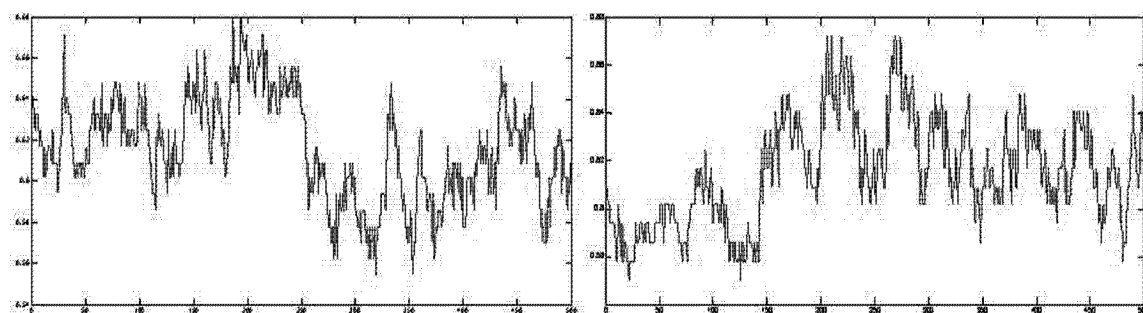
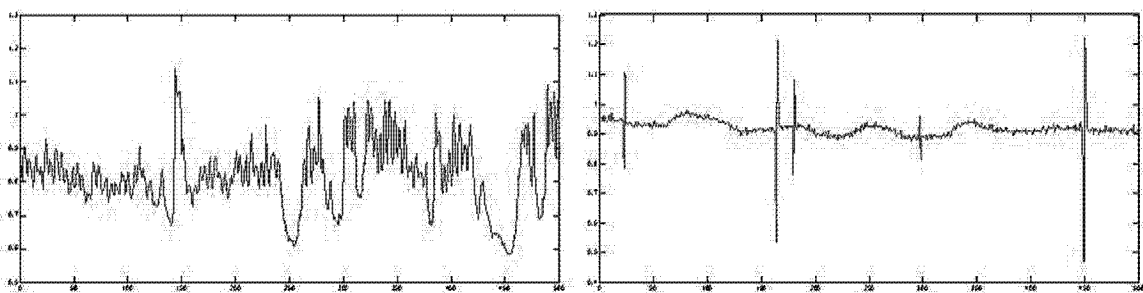


图 3



自主神经功能I级CHF 患者的HRV波形

自主神经功能II级CHF 患者的HRV波形



自主神经功能III级CHF 患者的HRV波形

自主神经功能IV级CHF 患者的HRV波形

图 4

专利名称(译)	一种充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法		
公开(公告)号	CN104840186A	公开(公告)日	2015-08-19
申请号	CN201510228873.2	申请日	2015-05-07
[标]申请(专利权)人(译)	中山大学		
申请(专利权)人(译)	中山大学		
当前申请(专利权)人(译)	中山大学		
[标]发明人	蒋庆 陈文卉 刘官正		
发明人	蒋庆 陈文卉 刘官正		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/0402 A61B5/024		
代理人(译)	刘卉		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种充血性心力衰竭患者自主神经功能的评估方法，步骤包括：首先对采集到的6小时体表心电信号，逐拍提取心跳间期构成心率变异性序列，并对该序列进行三个特征参数的提取；然后将采集到的样本每一等级随机分成等量的两组，分别作为训练组和测试组，将训练组样本对应的三个特征参数作为分类器SVM的输入，建立CHF患者自主神经功能的评估模型；最后将测试组样本对应的三个特征参数输入评估模型，获得对于CHF患者自主神经功能的评估结果。本发明用无创采集的人体心电信号实现对于CHF患者自主神经系统功能的评估，对于CHF患者的状态不作严格的限制，在正常的日常生理生活状态（即无剧烈运动）下采集6小时数据并进行分析，即可适用于本方法。

