



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110767315 A

(43)申请公布日 2020.02.07

(21)申请号 201911082597.8

(22)申请日 2019.11.07

(71)申请人 山东大学

地址 250061 山东省济南市历下区经十路  
17923号

(72)发明人 李鹏

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限  
公司 37221

代理人 黄海丽

(51)Int.Cl.

G16H 50/30(2018.01)

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/04(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图9页

(54)发明名称

基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置

(57)摘要

本公开公开了基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置,包括:获取模块,获取待分析的心电信号和分析参数;相空间重构模块,将待分析的心电信号进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;偏距离映射模块,对相空间重构向量进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;频数统计模块,将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算二维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数;输出模块,计算归一化香农熵;健康状态评估模块,当归一化香农熵高于设定阈值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示不健康。

CN 110767315 A



1. 基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置,其特征是,包括:

获取模块,其被配置为:获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

相空间重构模块,其被配置为:将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

偏距离映射模块,其被配置为:对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

频数统计模块,其被配置为:将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算一维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的一维距离向量的个数;

输出模块,其被配置为:计算落入每一个子区间的一维距离向量的个数的归一化香农熵;输出偏距离映射图和距离分布频数图;

健康状态评估模块,其被配置为:当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

2. 如权利要求1所述的装置,其特征是,所述获取模块,获取待分析的心电信号  $\{x(i) | i = 1, 2, \dots, N\}$  和分析参数;其中分析参数包括:相空间重构维度  $m$ , 相空间重构延迟时间  $\tau$ , 相空间距离函数  $F$ , 向量平均作用时间  $k$ , 向量平均作用半径  $\delta$ 。

3. 如权利要求1所述的装置,其特征是,所述相空间重构模块,具体为:将待诊断的心电信号  $x(i)$  延迟  $\tau$  时间之后的信号记为  $x(i+\tau)$ , 则  $x(i)$  的  $m$  维相空间重构表示为相空间重构向量  $X(i)$ :

$$\{x(i), x(i+\tau), x(i+2\tau), \dots, x(i+(m-1)\tau)\},$$

其中  $i = 1, 2, \dots, N - (m-1)\tau$ 。

4. 如权利要求1所述的装置,其特征是,所述偏距离映射模块,具体包括:

对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量  $X(j)$ ;

基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

即:计算相空间重构向量  $X(i)$  与变异后的相空间重构向量  $X(j)$  之间的距离  $d(i, j)$ , 其中,  $j$  的取值范围为  $[i+\max(1, k-\delta), i+\min(N-i, k+\delta)]$ , 距离的计算规则由相空间距离函数决定。

5. 如权利要求1所述的装置,其特征是,所述频数统计模块,包括:将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量  $d(l)$ , 其中  $l = 1, 2, \dots, L$ ,  $L$  值由向量平均作用时间  $k$  和向量平均作用半径  $\delta$  以及心电信号的长度  $N$  决定,计算一维距离向量  $d(l)$  的极差  $[d_{\min}, d_{\max}]$ , 将极差  $[d_{\min}, d_{\max}]$  区间等分为  $B$  份子区间,统计落入每一子区间的  $d(l)$  的个数  $p(b)$ , 其中  $b = 1, 2, \dots, B$ ,  $B$  表示初始设定的区间个数。

6. 如权利要求1所述的装置,其特征是,所述输出模块,包括:

输出量化值,计算落入每一个子区间的一维距离向量  $p(b)$  的归一化香农熵:

$$D = -(p/L) \times \log_2(p/L) / \log_2(B),$$

其中,D则用于定量评估心电信号 $x(i)$ 的复杂度,常数L值由向量平均作用时间 $k$ 和向量平均作用半径 $\delta$ 以及生物信号的长度 $N$ 决定,B表示初始设定的区间个数。

7.如权利要求1所述的装置,其特征是,所所述系统还包括:

热图输出模块,其被配置为:

输出图形,在 $(i, j)$ 平面上使用热图输出距离 $d(i, j)$ ,其中 $i=1, 2, \dots, N-(m-1)\tau, j \in [i + \max(1, k-\delta), i + \min(N-i, k+\delta)]$ 。

8.一种电子设备,其特征是,包括存储器和处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令,所述计算机指令被处理器运行时,完成如下步骤:

获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算二维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数;

计算落入每一个子区间的二维距离向量的个数的归一化香农熵;输出偏距离映射图和距离分布频数图;

当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

9.一种计算机可读存储介质,其特征是,用于存储计算机指令,所述计算机指令被处理器执行时,完成如下步骤:

获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算二维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数;

计算落入每一个子区间的二维距离向量的个数的归一化香农熵;输出偏距离映射图和距离分布频数图;

当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

## 基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置

### 技术领域

[0001] 本公开涉及健康工程和生物医学信号处理技术领域,特别是涉及基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置。

### 背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提到了与本公开相关的背景技术,并不必然构成现有技术。

[0003] 心电信号的量化分析有潜力为评估自主神经系统健康提供无创且精确的工具。然而,诸如自主神经系统等生物医学系统具有强的自组织性能,从而获得对外界刺激的自适应性。这种自组织和自适应性的直接结果是系统的输出即生物医学信号的复杂动力学和非线性特性。研究表明,从生物医学信号的复杂度变化中可以捕捉到生物医学系统的微弱变化,这些微弱变化有助于评估生物医学系统的功能状态,有助于获得有关系统状态退变的早期信号,在实现本公开的过程中,发明人发现现有自主神经系统健康状态分析技术中存在以下技术问题:

[0004] 心电信号的复杂度水平暗含了有关自主神经调控状态的信息,但心电信号的复杂度往往无法通过传统的信号分析手段中获得,导致自主神经系统健康评估结果不够准确。

### 发明内容

[0005] 为了解决现有技术的不足,本公开提供了基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置;

[0006] 第一方面,本公开提供了基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置;

[0007] 基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置,包括:

[0008] 获取模块,其被配置为:获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

[0009] 相空间重构模块,其被配置为:将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

[0010] 偏距离映射模块,其被配置为:对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

[0011] 频数统计模块,其被配置为:将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算二维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的一维距离向量的个数;

[0012] 输出模块,其被配置为:计算落入每一个子区间的一维距离向量的个数的归一化香农熵;输出偏距离映射图和距离分布频数图;

[0013] 健康状态评估模块,其被配置为:当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈

值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

[0014] 第二方面,本公开还提供了一种电子设备,包括存储器和处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令,所述计算机指令被处理器运行时,完成如下步骤:

[0015] 获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

[0016] 将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

[0017] 对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

[0018] 将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算二维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数;

[0019] 计算落入每一个子区间的二维距离向量的个数的归一化香农熵;输出偏距离映射图和距离分布频数图;

[0020] 当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

[0021] 第三方面,本公开还提供了一种计算机可读存储介质,用于存储计算机指令,所述计算机指令被处理器执行时,完成如下步骤:

[0022] 获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

[0023] 将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

[0024] 对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

[0025] 将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算二维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数;

[0026] 计算落入每一个子区间的二维距离向量的个数的归一化香农熵;输出偏距离映射图和距离分布频数图;

[0027] 当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

[0028] 与现有技术相比,本公开的有益技术效果是:

[0029] 1、为评价心电信号的复杂度提供了图形方法,该图形能够直观地展现出心电信号的相空间分布,直观地描述相态与相态之间的距离关系;为定量分析表示心电信号复杂度的图形提供了一种量化指标,该指标充分利用了心电信号的相空间中所有相态之间的距离,避免了信息丢失;在图形和定量算法中均引入了向量作用时间和作用半径的概念,为相态距计算的生理学解释提供了依据;

[0030] 2、仅通过较短的心电信号既显著提高了评估自主神经系统健康状态的敏感性和

特异性。

### 附图说明

[0031] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。

[0032] 图1为本申请的基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置。

[0033] 图2为本申请实施例一的进行信号的相空间重构和偏距离映射的模式图。

[0034] 图3为本申请实施例一的的图形输出示意图。

[0035] 图4为本申请实施例一的进行距离分布的频数统计示意图。

[0036] 图5(a)-图5(1)为使用本申请实施例一的方法对一段高斯噪声信号和一段心跳间期信号进行相空间重构和基于不同作用范围 $k$ 、 $\delta$ 组合的相态距的定量分布情况。

[0037] 图6为使用本申请实施例一的方法在不同作用范围 $k$ 、 $\delta$ 组合下分析五分钟心电RR间期时间序列用于区分运动和静息状态的区分能力图。

[0038] 图7为使用本申请实施例一的方法在优选的 $k$ 、 $\delta$ 组合下分析心衰患者组和对照组的五分钟心电RR间期时间序列的结果。

### 具体实施方式

[0039] 应该指出,以下详细说明都是示例性的,旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

[0040] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0041] 熵测度被广泛应用于心电信号的复杂度分析中。熵的概念起源于热力学领域,用于表征分子热运动的无序性。这种无序性被香农引入信息论领域,从而建立了表征信息量大小的香农熵,即平均信息量概念,其中信息量的大小与事件发生的概率成反比。柯尔莫哥洛夫将香农熵的概念引入到时间序列分析中,通过考察时间序列在相空间中的演化概率建立起了表示信号复杂度的第一个熵测度——柯尔莫哥洛夫熵。柯尔莫哥洛夫熵仅具有理论意义,真正使其落脚于信号分析实践中去则要归功于其数值算法即E-R算法的建立,而使其广泛应用于有限长度且含噪声的心电信号分析中来的则是近似熵。

[0042] 近似熵的计算方法如下:

[0043] (1) 输入,包括待分析生物信号  $\{x(i) | i=1, 2, \dots, N\}$ , 表示相空间重构维度的参数  $m$ , 表示向量相似性的阈值参数  $r$ ,

[0044] (2) 将生物信号  $x(i)$  延迟单位时间之后的信号记为  $x(i+1)$ , 则  $x(i)$  的  $m$  维相空间重构可以表示为  $\{x(i), x(i+1), x(i+2), \dots, x(i+m-1)\}$ , 记该向量为  $X(i)$ , 其中  $i=1, 2, \dots, N-(m-1)$ , 对  $1 \leq j \leq N-m+1$ , 计算符合  $\|X(j)-X(i)\| \leq r$  的平均数目  $C$ , 其中  $\|\cdot\|$  表示无穷范数,

[0045] (3) 将参数  $m$  自增1, 重复(1)-(2), 获得  $C^1$ ,

[0046] (4)  $x(i)$  近似熵等于  $\log(C)$  的平均值与  $\log(C^1)$  的平均值之差。

[0047] 近似熵在数学上是一个有偏量,为克服其有偏性,研究者进一步提出了样本熵,其计算方法与近似熵非常类似,区别在于上述步骤(2)中  $1 \leq j \leq N-m+1$  范围内排除  $j=i$ ,且  $x(i)$  近似熵等于  $C$  的平均值的对数与  $C^1$  的平均值的对数之差。

[0048] 然而,无论是近似熵还是样本熵,它们关注的焦点均在与“相似向量”的概率,即上述步骤(2)符合  $\|X(j)-X(i)\| \leq r$  的平均数目,舍弃了绝大多数不符合该条件的向量对,这是一个极大的信息丢失;此外,在生物医学系统范畴下,两个相差很远的  $X(j)$  与  $X(i)$  之间范数的生理学意义并不明朗,是否有必要计算  $[1, N-m+1]$  范围内的所有  $X(j)$  向量与  $X(i)$  的范数有待商榷;第三,上述方法仅给出一个定量值,无法直观地展现出相似向量在生物信号  $x(i)$  的相空间中的分布情况。

[0049] 为克服以上问题,

[0050] 第一方面,本公开提供了基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置;

[0051] 如图1所示,基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置,包括:

[0052] 获取模块,其被配置为:获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

[0053] 相空间重构模块,其被配置为:将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

[0054] 偏距离映射模块,其被配置为:对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

[0055] 频数统计模块,其被配置为:将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量,计算二维距离向量的极差,将极差区间等分成若干个子区间,统计落入每一个子区间的一维距离向量的个数;

[0056] 输出模块,其被配置为:计算落入每一个子区间的一维距离向量的个数的归一化香农熵;输出偏距离映射图和距离分布频数图;

[0057] 健康状态评估模块,其被配置为:当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时,表示待诊断个体的自主神经系统健康;否则,表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

[0058] 应理解的,所述获取模块,获取待分析的心电信号  $\{x(i) | i=1, 2, \dots, N\}$  和分析参数;其中分析参数包括:相空间重构维度  $m$ ,相空间重构延迟时间  $\tau$ ,相空间距离函数  $F$ ,向量平均作用时间  $k$ ,向量平均作用半径  $\delta$ 。

[0059] 应理解的,所述相空间重构模块,具体为:将待诊断的心电信号  $x(i)$  延迟  $\tau$  时间之后的信号记为  $x(i+\tau)$ ,则  $x(i)$  的  $m$  维相空间重构表示为相空间重构向量  $X(i)$  :

[0060]  $\{x(i), x(i+\tau), x(i+2\tau), \dots, x(i+(m-1)\tau)\}$ ,

[0061] 其中  $i=1, 2, \dots, N-(m-1)\tau$ 。

[0062] 应理解的,所述偏距离映射模块,具体包括:

[0063] 对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到

变异后的相空间重构向量 $X(j)$ ;

[0064] 基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵;

[0065] 即:计算相空间重构向量 $X(i)$ 与变异后的相空间重构向量 $X(j)$ 之间的距离 $d(i, j)$ ,其中, $j$ 的取值范围为 $[i+\max(1, k-\delta), i+\min(N-i, k+\delta)]$ ,距离的计算规则由相空间距离函数决定。

[0066] 优选的,相空间距离函数选用无穷范数,即 $F=\max|X(i)-X(j)|$ 。

[0067] 应理解的,所述频数统计模块,包括:将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量 $d(1)$ ,其中 $1=1, 2, \dots, L$ , $L$ 值由向量平均作用时间 $k$ 和向量平均作用半径 $\delta$ 以及心电信号的长度 $N$ 决定,计算一维距离向量 $d(1)$ 的极差 $[d_{\min}, d_{\max}]$ ,将极差 $[d_{\min}, d_{\max}]$ 区间等分为 $B$ 份子区间,统计落入每一子区间的 $d(1)$ 的个数 $p(b)$ ,其中 $b=1, 2, \dots, B$ , $B$ 表示初始设定的区间个数。

[0068] 应理解的,所述输出模块,包括:

[0069] 输出量化值,计算落入每一个子区间的一维距离向量 $p(b)$ 的归一化香农熵:

[0070]  $D=-\sum_{b=1}^B (p(b)/L) \times \log_2(p(b)/L) / \log_2(B)$ ,

[0071] 其中, $D$ 则用于定量评估心电信号 $x(i)$ 的复杂度,常数 $L$ 值由向量平均作用时间 $k$ 和向量平均作用半径 $\delta$ 以及生物信号的长度 $N$ 决定, $B$ 表示初始设定的区间个数。

[0072] 作为一个或多个实例,所述系统还包括:

[0073] 热图输出模块,其被配置为:

[0074] 输出图形,在 $(i, j)$ 平面上使用热图输出距离 $d(i, j)$ ,其中 $i=1, 2, \dots, N-(m-1)\tau$ , $j \in [i+\max(1, k-\delta), i+\min(N-i, k+\delta)]$ 。

[0075] 图2示意了本发明进行信号的相空间重构和偏距离映射的方法,具体为对待分析输入时间序列 $\{x(i) | i=1, 2, \dots, N\}$ ,进行维数为 $m$ 、时间延迟为 $\tau$ 的时延相空间重构,重构后,该时间序列在相空间中可以表示为向量 $X(i) = \{x(i), x(i+\tau), x(i+2\tau), \dots, x(i+(m-1)\tau)\}$ , $i=1, 2, \dots, N-(m-1)\tau$ ,在相空间内进行偏距离映射,映射范围由参数 $k$ 和参数 $\delta$ 决定,记偏距离矩阵为 $d(i, j)$ ,其中 $j$ 的取值范围为 $[i+\max(1, k-\delta), i+\min(N-i, k+\delta)]$ ,计算距离的函数为 $F$ 。

[0076] 优选的,相空间距离函数选用无穷范数,即 $F=\max|X(i)-X(j)|$ 。

[0077] 偏距离矩阵可通过热图的形式显示或打印输出,如图3所示。图4示意了本发明定量统计距离分布频数的方法,具体为给定粗粒化过程区间的个数 $B$ ,统计每一个粗粒单元的频数。最后使用香农熵函数对偏距离映射进行量化输出,量化结果为 $D=-\sum_{b=1}^B (p(b)/L) \times \log_2(p(b)/L) / \log_2(B)$ 。

[0078] 图5(a)和图5(d)示意了两个具体的待分析输入时间序列:

[0079] 仿真高斯随机噪声A1和实际心跳间期序列A2,对应维数为 $m=3$ 、时间延迟 $\tau=1$ 的相空间向量模式的前20个向量分别为B1(图5(b)和图5(c))和B2(图5(e)和图5(f)),C1(图5(g)、图5(h)、图5(i))和C2(图5(j)、图5(k)、图5(l))示意了频数图,其中该定量分析基于三组不同的作用范围参数 $k$ 和参数 $\delta$ 的组合:complete相当于参数 $k=\infty$ 和参数 $\delta=\infty$ ;partial  $k=500$ 、 $\delta=10$ 和partial  $k=10$ 、 $\delta=10$ 。该实施例反映了本发明的3个具体优势:

[0080] 第一、关注的焦点为所有向量对之间的距离,避免了仅统计“相似向量”概率造成的信息丢失;

[0081] 第二,从图5(g)、图5(h)、图5(i)示意的仿真高斯噪声的三幅定量距离分布频数图而知,仿真信号的动力学演化形态类似,仅统计时间差距很远的相态之间的距离分布(即 $\text{partial } k=500, \delta=10$ )和统计时间差距很近的相态之间的距离分布(即 $\text{partial } k=10, \delta=10$ )获得的定量频数分布图类似,而实际的心跳间期序列出现明显的不同,统计时间差距很近的相态距的频数分布呈现左偏和长长的右拖尾现象(即 $\text{partial } k=10, \delta=10$ ),而时间差距较远的相态之间的距离分布相对较均匀(即 $\text{partial } k=500, \delta=10$ ),在仿真信号和实际信号中相态距频数分布的特征差异显示出在生物学系统范畴下,不能同等对待时间差距很远的 $X(j)$ 与 $X(i)$ 之间的距离统计和时间差距较近的 $X(j)$ 与 $X(i)$ 之间的距离统计,是否有必要计算 $[1, N-m+1]$ 范围内的所有 $X(j)$ 向量与 $X(i)$ 的距离仍有待商榷;

[0082] 第三,本发明直观地展现出了向量在生物信号 $x(i)$ 的相空间中的分布情况。

[0083] 进一步地,为说明本发明的有益效果,使用本发明的基于心电信号量化分析的健康状态评估系统分析如下实施例数据:

[0084] 六十例健康年轻人分别在静息坐姿状态下和在跑步机按照正常跑步速度运动状态下的五分钟心电信号,提取心电的RR间期序列,使用本发明的生物信号复杂度量化方法分析这些RR间期序列,其中重构维度 $m=3$ ,时间延迟 $\tau=1$ ,平均作用时间 $k$ 从5逐步增加至100,步长为5,平均作用半径 $\delta$ 同样从5逐步增加至100,步长为5,在每一个 $[k, \delta]$ 组合下计算本发明的定量值 $D$ 用于区分静息和运动状态的能力,使用Cohen  $d$ 统计量表示, $d$ 值越高表示区分能力越大。图6绘制了 $d$ 值在不同 $[k, \delta]$ 组合下的等高曲面图,从图6可知,作用时间 $k$ 和作用半径 $\delta$ 较小的组合对应的区分能力较优,特别是在 $k$ 取值10左右 $\delta$ 取值也是10左右时的 $d$ 值最高,区分能力最好。该实施例说明,在心跳间期序列分析这一背景下,时间差距较远的 $X(j)$ 与 $X(i)$ 之间的距离可能并不具备生理意义,在进行复杂度分析时最好仅纳入时间差距较近的向量之间的距离。

[0085] 图7示意了使用本发明的生物信号复杂度量化方法分析心衰患者组和对照组的五分钟心电RR间期序列,试验数据分别来自15例心衰患者和18例心跳主要为窦性的健康人,其中重构维度 $m=3$ ,时间延迟 $\tau=1$ ,平均作用时间 $k$ 和作用半径 $\delta$ 根据图3例的结果选择 $k=10, \delta=10$ 。图7的结果表示本发明的定量值 $D$ 在15例心衰患者和18例健康人中的均值和标准误差,该结果表明本发明的生物信号复杂度量化方法能够有效区分健康人和心衰患者。

[0086] 进一步的,使用上述优选的参数,本发明的基于心电信号量化分析的健康状态评估系统使用仅5分钟的心电信号用于区分健康人和心衰患者的敏感性和特异性高达76%和78%,该数据基于3-fold交叉检验获得,而同样基于3-fold交叉检验使用传统的分析方法进行分析的敏感性和特异性均不到65%。

[0087] 实施例二,本公开还提供了一种电子设备,包括存储器和处理器以及存储在存储器上并在处理器上运行的计算机指令,所述计算机指令被处理器运行时,完成如下步骤:

[0088] 获取待分析的心电信号和分析参数;其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径;

[0089] 将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构,得到相空间重构向量;

[0090] 对相空间重构向量,使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩,得到变异后的相空间重构向量;基于相空间距离函数,计算变异后的相空间重构向量之间的二

维距离矩阵；

[0091] 将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量，计算二维距离向量的极差，将极差区间等分成若干个子区间，统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数；

[0092] 计算落入每一个子区间的二维距离向量的个数的归一化香农熵；输出偏距离映射图和距离分布频数图；

[0093] 当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时，表示待诊断个体的自主神经系统健康；否则，表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

[0094] 实施例三，本公开还提供了一种计算机可读存储介质，用于存储计算机指令，所述计算机指令被处理器执行时，完成如下步骤：

[0095] 获取待分析的心电信号和分析参数；其中分析参数包括相空间重构维度、相空间重构延迟时间、相空间距离函数、向量平均作用时间和向量平均作用半径；

[0096] 将待分析的心电信号按照相空间重构延迟时间和相空间重构维度进行时间延迟和重构，得到相空间重构向量；

[0097] 对相空间重构向量，使用向量平均作用时间和向量平均作用半径进行压缩，得到变异后的相空间重构向量；基于相空间距离函数，计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵；

[0098] 将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量，计算二维距离向量的极差，将极差区间等分成若干个子区间，统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数；

[0099] 计算落入每一个子区间的二维距离向量的个数的归一化香农熵；输出偏距离映射图和距离分布频数图；

[0100] 当待分析心电信号的归一化香农熵高于设定阈值时，表示待诊断个体的自主神经系统健康；否则，表示待诊断个体的自主神经系统不健康。

[0101] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已，并不用于限制本申请，对于本领域的技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

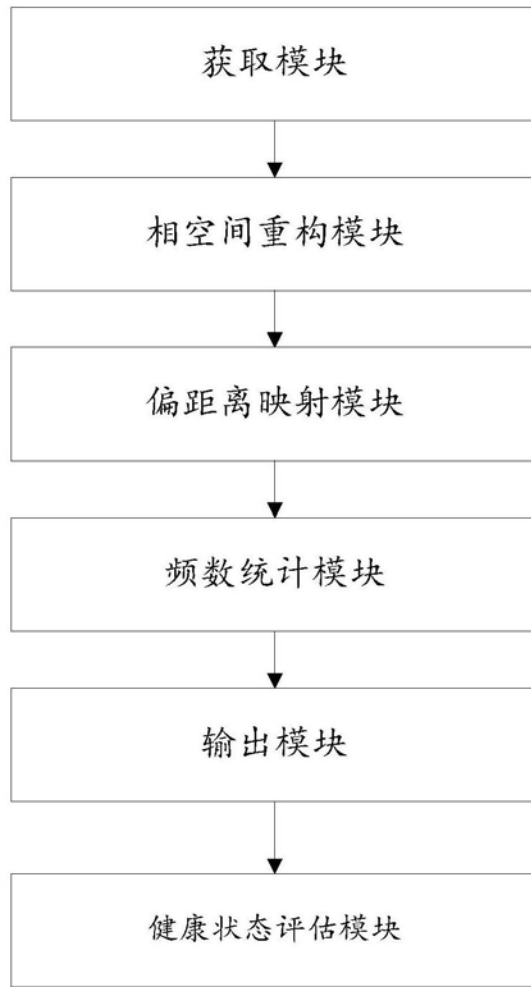


图1

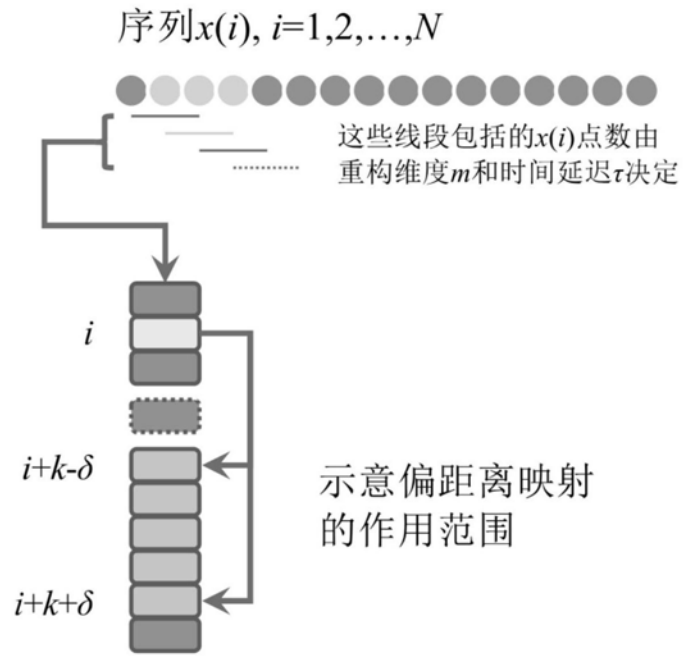


图2

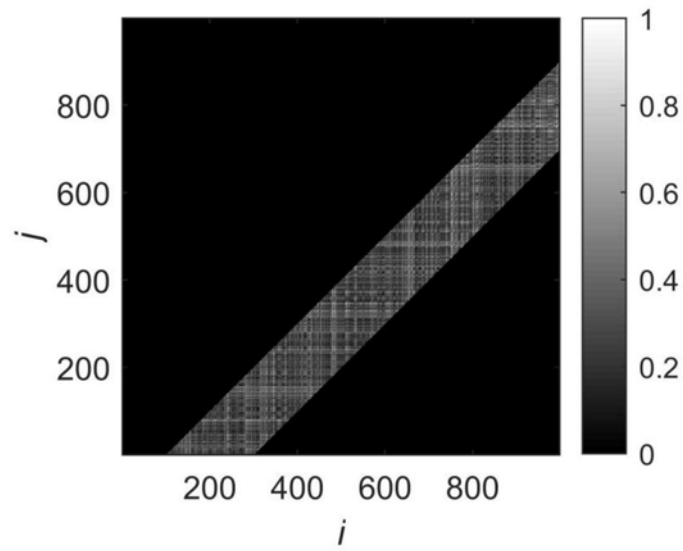


图3

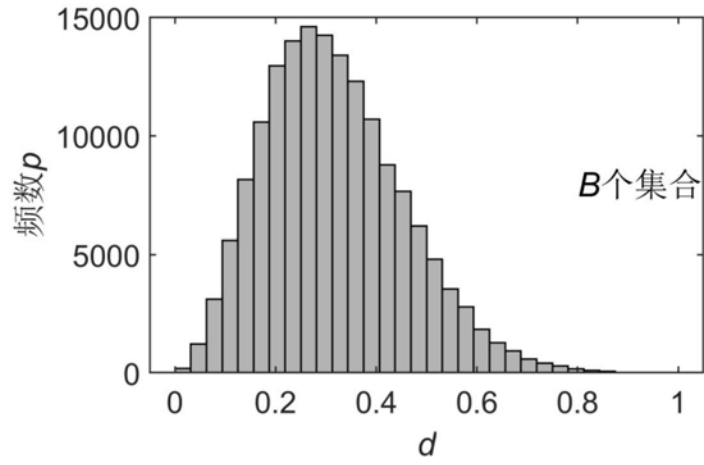


图4

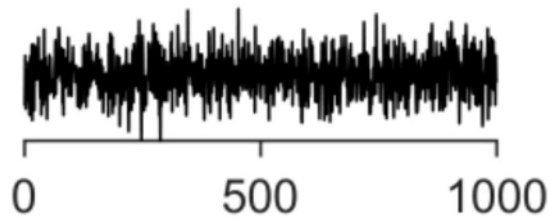


图5 (a)

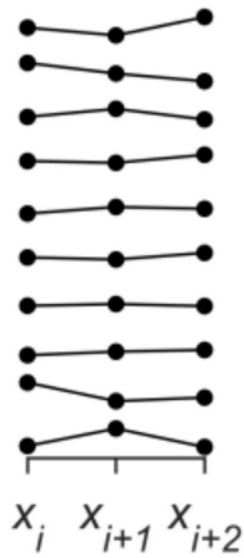


图5 (b)

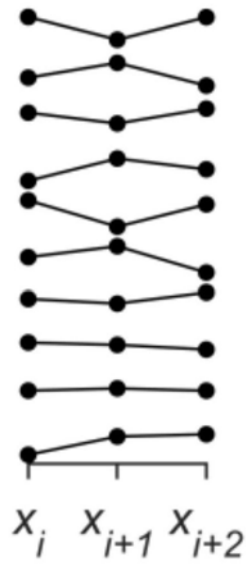


图5(c)

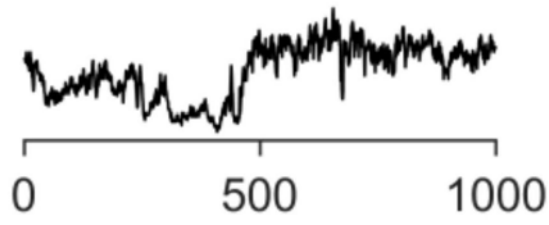


图5(d)

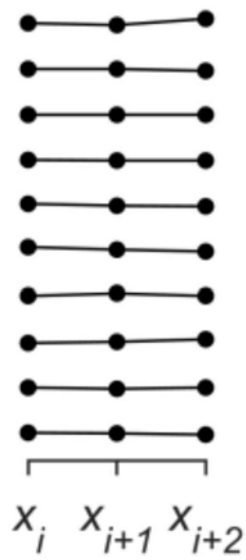


图5(e)

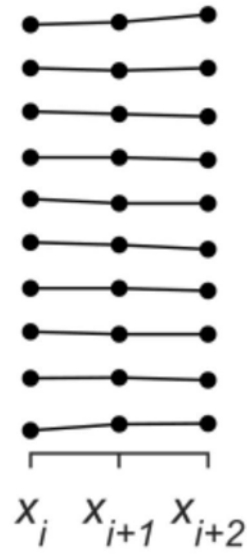


图5 (f)

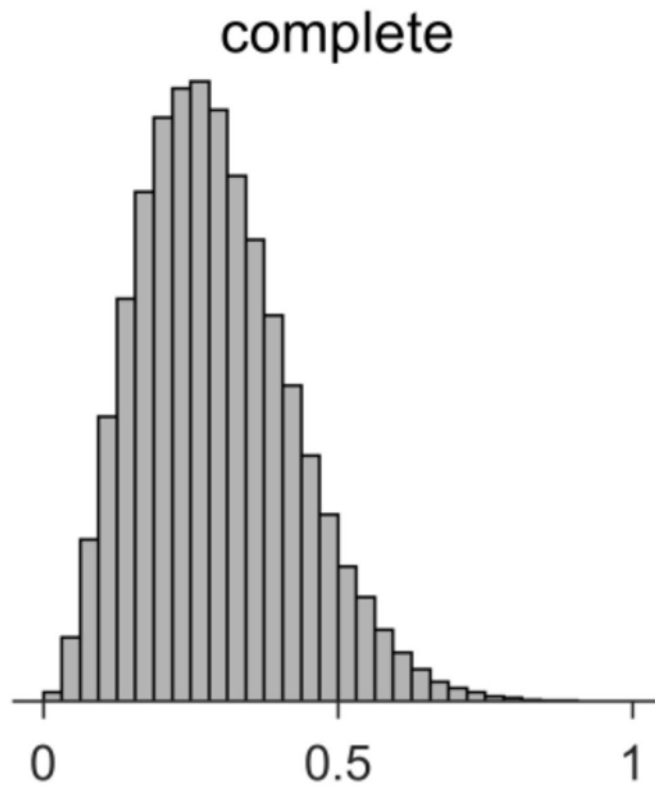


图5 (g)

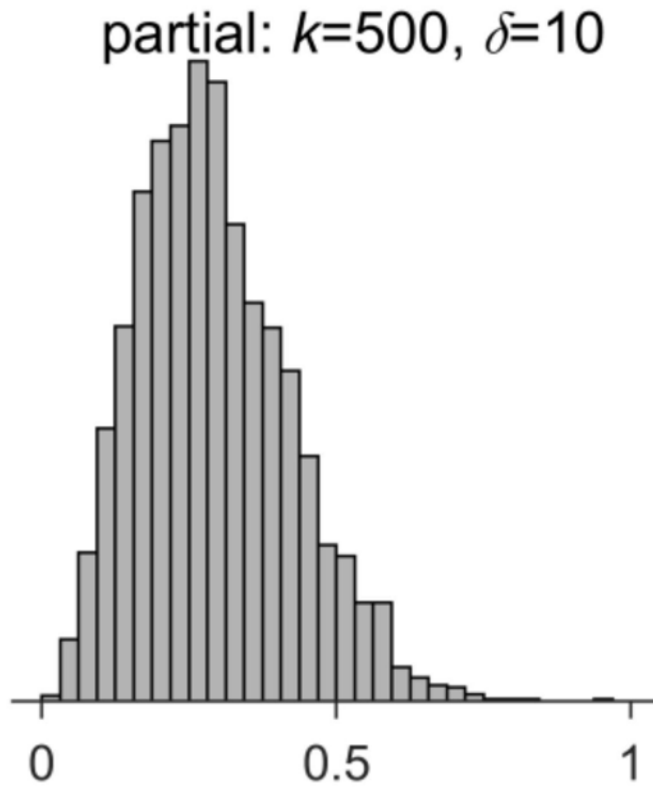


图5 (h)

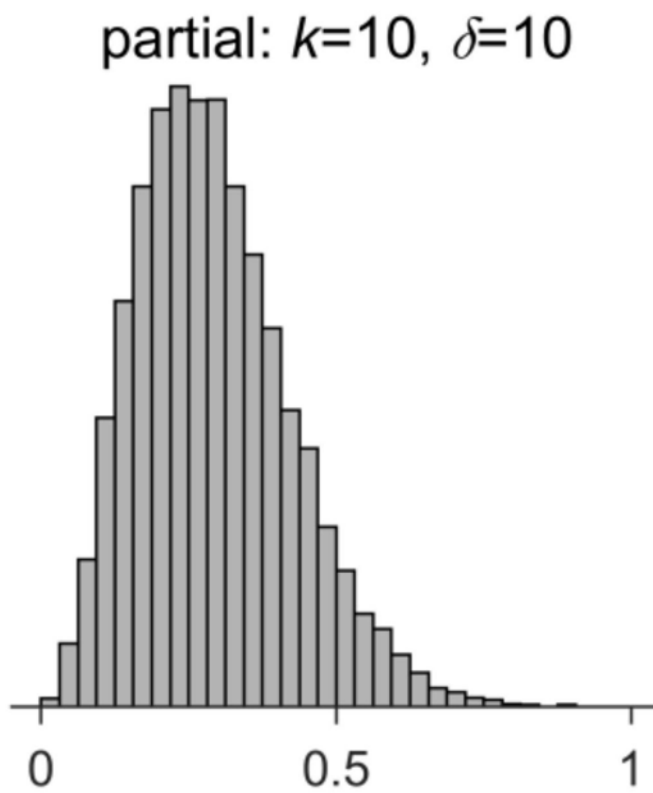


图5 (i)

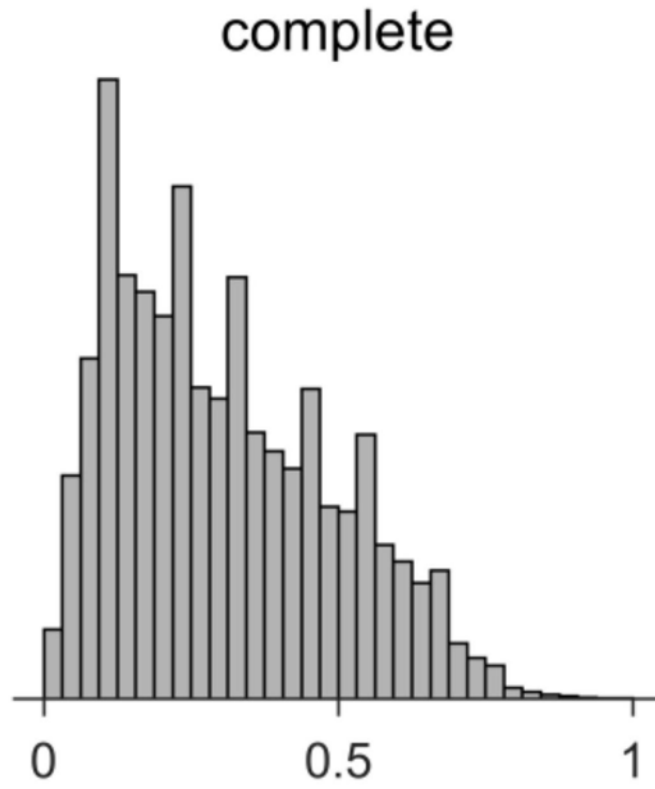


图5(j)

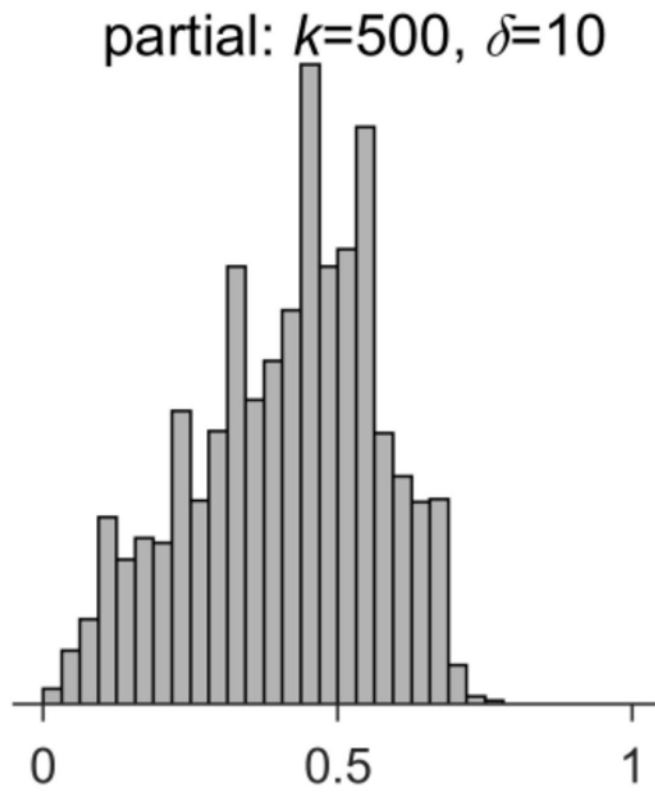


图5(k)

partial:  $k=10, \delta=10$

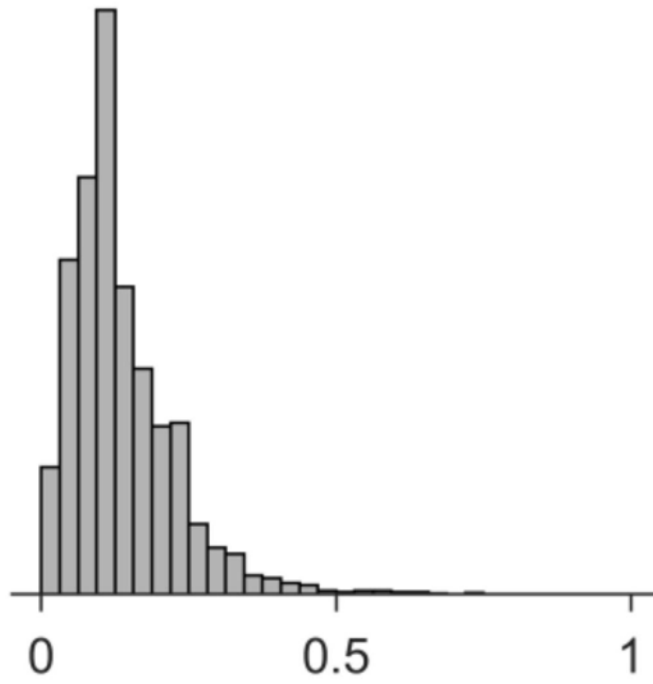


图5(1)

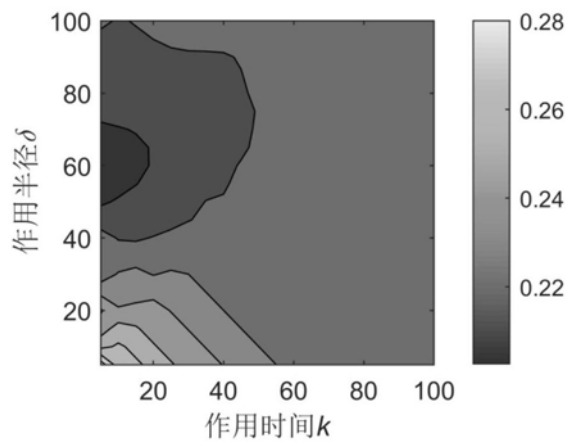


图6

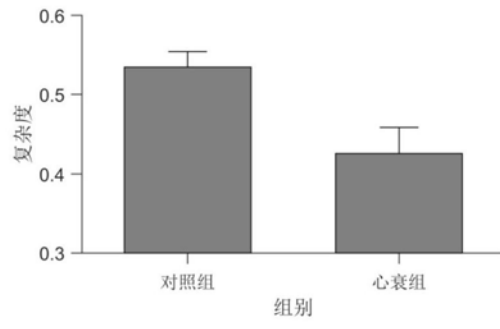


图7

专利名称(译)	基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置		
公开(公告)号	<a href="#">CN110767315A</a>	公开(公告)日	2020-02-07
申请号	CN201911082597.8	申请日	2019-11-07
[标]申请(专利权)人(译)	山东大学		
申请(专利权)人(译)	山东大学		
当前申请(专利权)人(译)	山东大学		
[标]发明人	李鹏		
发明人	李鹏		
IPC分类号	G16H50/30 A61B5/0402 A61B5/04 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/04012 A61B5/0402 A61B5/7271 G16H50/30		
代理人(译)	黄海丽		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>	<a href="#">SIPO</a>	

摘要(译)

本公开公开了基于心电信号量化分析的自主神经系统健康状态评估装置，包括：获取模块，获取待分析的心电信号和分析参数；相空间重构模块，将待分析的心电信号进行时间延迟和重构，得到相空间重构向量；偏距离映射模块，对相空间重构向量进行压缩，得到变异后的相空间重构向量；基于相空间距离函数，计算变异后的相空间重构向量之间的二维距离矩阵；频数统计模块，将二维距离矩阵重新排列为二维距离向量，计算二维距离向量的极差，将极差区间等分成若干个子区间，统计落入每一个子区间的二维距离向量的个数；输出模块，计算归一化香农熵；健康状态评估模块，当归一化香农熵高于设定阈值时，表示待诊断个体的自主神经系统健康；否则，表示不健康。

