



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110575161 A

(43)申请公布日 2019.12.17

(21)申请号 201910793440.X

(22)申请日 2019.08.27

(71)申请人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72)发明人 杨翠微 钟高艳 冯旭键

(74)专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

31200

代理人 张磊

(51)Int.Cl.

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/04(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

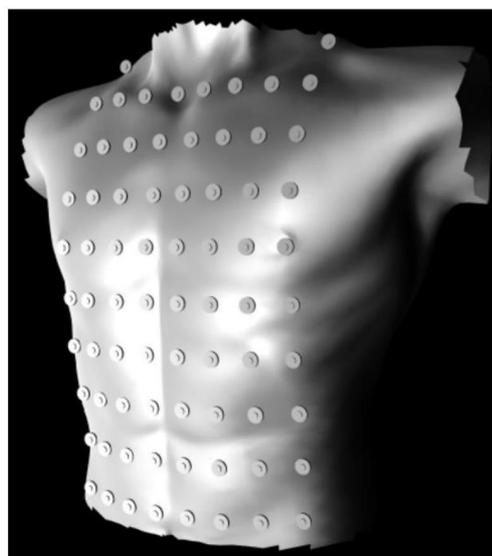
权利要求书1页 说明书5页 附图10页

(54)发明名称

基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法

(57)摘要

本发明提供一种基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法,其主要思想是将一维的时序信号转换为二维的图像数据。具体流程包括以下步骤:运用心电标测技术得到同步采集的多路心电信号;根据电极位置,将同一时刻采样点的电压幅值绘制等电位图;将某段时间内的等电位图按照一定的时间间隔合成一张激动序列图;提取激动序列图在该时间段内的特征,采用图像分类的方式实现对房颤的分析预测。本发明可用于研究标测区域心电的传导规律,适用于窦性心律信号或房扑、房颤信号,在电生理机制研究和临床医学上均具有一定的应用价值。本方法可推广至所有的电生理信号的分类或预测研究。



1. 一种基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法,其特征在于具体步骤如下:

(1) 利用心脏标测技术以某一采样频率 f_s 得到同步采集的心电信号,所述心电信号包括体表标测信号、心内膜标测信号与心外膜标测信号;所述心电信号根据采集电极的放置位置及电极与放大器的连接方式的不同包含有多个导联,导联数为 n ($n \geq 2$);

(2) 将步骤(1)采集到的心电信号去除工频、呼吸或肌电噪声或干扰,将信号幅度归一化处理,得到每一导联心电数据归一化后的电压幅值;

(3) 基于步骤(2)得到的每一导联心电数据归一化后的电压幅值,根据采集电极的放置位置利用插值算法绘制等电位图;

(4) 重复步骤(3),按采样间隔(即 $1/f_s$)得到每个采样时刻的等电位图,并完成动态渲染;每经一次采样间隔渲染一张图片,并保存每个采样时刻经过渲染的等电位图;

(5) 在某段时间 T 内,将步骤(4)得到的经过渲染等电位图按照固定的时间间隔 Δt 合成一张激动序列图;

所述激动序列图保留了每张等电位图渲染时所包含的颜色信息,即将连续多幅包含时间维度的等电位图合并为一张二维的伪彩色图像;

所述固定的时间间隔 $\Delta t = N \cdot (1/f_s)$,某段时间 $T = k \cdot \Delta t$,其中 k 为合成后的每张激动序列图中包含的等电位图的张数; k 和 N 均为大于等于1的正整数;

(6) 重复步骤(5),直到得到多张激动序列图;利用机器学习算法,通过图像分类的方式实现房颤的相关分析预测。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于所述等电位图绘制的基本方法:利用插值算法,计算标测电极点以外各顶点处的电压估计值,将实际或插值得到的电压值映射到对应的平面或空间坐标上;不同电压值按电压高低分别赋予不同的颜色。

基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法。

背景技术

[0002] 心脏标测技术主要是通过多路高速同步采集技术获取心脏的电活动信息,将这些信息通过标测图的形式表现出来,并提供可供研究分析的各种参数。研究人员可以通过标测到的数据,分析心电传导的特征,判断心律失常的类型或起源部位。心脏标测技术在研究房颤等复杂心律失常的领域具有尤其重要的作用。

[0003] 心脏标测技术中,由于采用标测电极的数目较多,可通过研究各标测电极点之间的传导规律总结出房颤的规律。房颤时心房激动频率加快,心室率(亦即RR间期)明显不规则,因此研究房颤的传统方法主要是基于RR间期的线性和非线性分析方法,处理的是一维的时序信号。但是,RR间期包含的有效信息有限,单纯的利用RR间期来实现对房颤的分析预测容易忽视有效信息。如,线性分析方法中采用的RR间期平均值、标准差等指标的计算,会造成大量细节信息的忽略;非线性方法如近似熵和样本熵,往往需要选取较长的RR间期数据。并且,传统方法忽略了根据各电极点的空间位置和激动时刻来研究心电的传导路径及活动规律。

[0004] 观察心电的传导路径及活动规律常用的表征方式主要有等时图,等电位图,激动时刻传导图以及复杂心房碎裂电位图等等。以上方法,除等电位图可以无损地表征标测数据,并将标测数据进行直观显示以外,其他方法都需要预先进行一定的转换方能实现。

发明内容

[0005] 为了克服传统方法的局限性,同时便于观察心电信号的传导过程,本发明的目的在于提出一种全新的基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法。此方法以等电位图为基础,把各电极点采集的信号之间的传导过程通过图像的方式表现出来,同时将一段时间内的等电位图进行拼接。该发明方法尽可能保留了信号的有效信息,并综合了等电位图在时间和空间上的特性。

[0006] 本发明方法通过一系列等电位图的绘制,将一维信号转为二维图像,得到多张激动序列图,然后采用图像分类的方式实现对房颤的分析预测。具体步骤如下:

(1) 利用心脏标测技术以某一采样频率 f_s 得到同步采集的心电信号,所述心电信号包括体表标测信号、心内膜标测信号与心外膜标测信号,所述心电信号根据采集电极的放置位置及电极与放大器的连接方式的不同包含有多个导联,导联数为 n ($n \geq 2$);

(2) 将步骤(1)采集到的心电信号去除工频、呼吸或肌电等噪声或干扰,将信号幅度归一化处理,得到每一导联心电数据归一化后的电压幅值;

(3) 基于步骤(2)得到的每一导联心电数据归一化后的电压幅值,根据采集电极的放置位置利用插值算法绘制等电位图;

(4) 重复步骤(3),按采样间隔(即 $1/f_s$)得到每个采样时刻的等电位图,并完成动态渲

染;每经一次采样间隔渲染一张图片,并保存每个采样时刻经过渲染的等电位图;

(5) 在某段时间 T 内,将步骤(4)得到的等电位图按照固定的时间间隔 Δt 合成一张激动序列图;

所述激动序列图保留了每张等电位图渲染时所包含的颜色信息,即将连续多幅包含时间维度的等电位图合并为一张二维的伪彩色图像;

所述固定的时间间隔 $\Delta t = N \cdot (1/f_s)$,某段时间 $T = k \cdot \Delta t$,其中 k 为合成后的每张激动序列图中包含的等电位图的张数; k 和 N 均为大于等于1的正整数;

(6) 重复步骤(5),直到得到多张激动序列图;利用机器学习算法,通过图像分类的方式实现房颤的相关分析预测。

[0007] 本发明中,所述等电位图绘制的基本方法:利用插值算法,计算标测电极点以外各顶点处的电压估计值,将实际或插值得到的电压值映射到对应的平面或空间坐标上;不同电压值按电压高低分别赋予不同的颜色。

[0008] 本发明中,步骤(2)是为了去除采集过程中的其他干扰,同时将数据进行归一化处理能够避免干扰等影响等电位图显示的可靠性。

[0009] 本发明中,步骤(3)首先将步骤(2)得到的归一化后的每一导联心电数据在对应电极上绘制等电位图。该绘制方法不会增加其他附加信息,也没有额外的数据加工和处理,因此不会损失任何的标测信息。电极点邻近区域利用插值算法得到参考电压。将实际或插值得到的电压值映射到对应的平面或空间坐标上,具有相同或相同阈值内的电压采用相同颜色进行标记,进而可以反映心电活动的传导规律和方式。

[0010] 本发明中,步骤(4)和步骤(5)按采样间隔(即 $1/f_s$)得到每个采样时刻的等电位图,接着利用图像拼接的方法,按照固定的时间间隔 Δt 将这些等电位图合成一张激动序列图。每张激动序列图既包含时间信息又包含不同导联之间的空间信息,反映了时间 T 内的心电传导规律。

[0011] 本发明中,步骤(6)通过图像分类预测的方法,提取激动序列图的特征,从而实现不同情况下的房颤分析预测。

[0012] 本发明具有以下有益效果:

1. 本发明的激动序列图分析方法,克服了单张等电位图只能反映同一时间不同标测位点处信号的电压,不能反映该信号随时间变化的问题。

[0013] 2. 本发明的激动序列图分析方法不仅适用于将心电信号映射到二维平面,而且适用于映射到三维空间,可用于直观观察心电信号的传导路径,对于研究心电传导的规律具有很大的意义。该方法可以用于分析窦性心律信号或房扑、房颤等心律失常信号。

[0014] 3. 本发明方法把传统的一维信号转变为二维的图像,将传统的信号处理方法与图像处理方法相结合,利用机器学习的方法,通过图像分类的方式实现信号的相关分析预测,为信号处理的研究人员提供了新的思路。研究方法不局限于机器学习,也可以利用其他图像处理的方法进行分析。

[0015] 4. 本发明方法尤其适用于研究房颤等复杂性心律失常,不仅可通过窦性心律信号预测房颤的发生,而且可通过房颤或房扑信号预测手术治疗的成功率。

[0016] 5. 本发明方法的应用范围可推广至所有的多导联电生理信号的研究,如肌电信号和脑电信号等。

附图说明

[0017] 图1是体表心电标测信号采集部位的三维示意图；一共包含128个标测点，图1显示了位于前胸的74个标测点。

[0018] 图2是手术前采集到的人体体表心电标测房颤信号的部分通道的示意图。体表心电标测信号共包含128个导联，图2 (a) 从上至下依次给出了第2、12、23、25、36导联的体表标测信号；图中的横坐标为时间，纵坐标为参考刻度。图2 (b) 为第2导联的标测信号，共显示了20 s的数据，图中的横坐标为时间，纵坐标为信号幅度。

[0019] 图3是图2 (a) 中第25导联的滤波结果示意图；图3 (a) 为原始采集信号；图3 (b) 为图3 (a) 的信号进行20-100Hz的带通滤波及20Hz的低通滤波的结果。

[0020] 图4连续显示了16张手术前采集的人体体表心电标测房颤信号的等电位图；其中图4 (a) 为术后复发房颤的体表标测等电位图，图4 (b) 为术后未复发房颤的体表标测等电位图。

[0021] 图5是手术前采集到的人体体表心电标测房颤信号的所有导联的激动序列图，其中每张等电位图的时间间隔为5 ms，总时长为2 s。图5 (a) 为术后复发房颤的体表标测激动序列图，图5 (b) 为术后未复发房颤的体表标测激动序列图。

[0022] 图6是将本发明的基于激动序列图的房颤分析预测方法用于手术前采集的人体体表心电标测房颤信号的实施结果。图6 (a) 为训练集和测试集的损失率，图6 (b) 为训练集和测试集的准确率。图6 (a) 和图6 (b) 的横坐标均为迭代次数。

[0023] 图7是犬心外膜标测的电极位置平面示意图及电极贴靠示意图；其中，图7 (a) 是电极位置平面示意图，分别对应于犬心脏的左心耳 (ALA)、右心耳 (ARA)、左房后壁 (PLA)、右房后壁 (PRA)、左上肺静脉 (LSPV)、左下肺静脉 (LIPV)、右上肺静脉 (RSPV) 和右下肺静脉 (RIPV) 等八个部位，在图中以英文缩写标记，共128个电极点。图7 (b) 是ARA与心外膜贴靠的三维示意图，贴靠区域以白色虚线圈出。

[0024] 图8是犬心外膜某导联标测信号及信号归一化的示意图；图8 (a) 为原始的心外膜标测电信号，图8 (b) 是对图8 (a) 的信号进行归一化处理以后的信号，信号时长为20 s。图8 (a) 与图8 (b) 中的横坐标均为时间，纵坐标均为信号幅度。

[0025] 图9是某时刻房颤诱发前犬心外膜标测的窦性心律信号的等电位图；其中图9 (a) 为成功诱发房颤前某时刻的窦性心律信号的等电位图，图9 (b) 为未能成功诱发房颤前某时刻的窦性心律信号的等电位图。图9 (a) 和图9 (b) 中的电极位置同图7 (a)。

[0026] 图10是犬心外膜标测的窦性心律信号的所有导联的激动序列图，其中每张等电位图的时间间隔为5 ms，总时长为2 s。图10 (a) 为成功诱发房颤前的某时刻的窦性心律信号的激动序列图，图10 (b) 为未能成功诱发房颤前的某时刻的窦性心律信号的激动序列图。

[0027] 图11是将本发明的基于激动序列图的房颤分析预测方法用于犬心外膜标测的窦性心律信号预测能否成功诱发房颤的实施结果。图11 (a) 为训练集和测试集的损失率，图11 (b) 为训练集和测试集的准确率，图11 (a) 和图11 (b) 的横坐标均为迭代次数。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图和实施例对本发明方法及其应用做进一步说明。这些实施方式并不限制本发明；本领域的普通技术人员根据这些实施方式所做出的结构、方法、或功能上的变

换均包含在本发明的保护范围内。

[0029] 实施例1:将本发明的基于激动序列图的房颤分析预测方法应用于人体体表心电标测信号。本实施例采用的心电数据为手术前采集的128导联人体体表心电标测房颤信号,基于激动序列图预测术后房颤是否复发,工作流程如下:

(1)利用128导联便携式电生理记录系统采集手术前128导联人体体表心电标测房颤信号,采样频率 f_s 为1KHz,标测的电极点分布示意如图1所示,信号示例如图2(a)所示。

[0030] (2)将步骤(1)采集到的128导联房颤信号依次进行20-100Hz的带通滤波及20Hz的低通滤波处理。图3给出了第25导联信号的滤波处理结果,其中图3(a)为第25导联的原始采集信号,图3(b)为图3(a)信号依次通过20-100Hz的带通滤波器和20Hz的低通滤波器后的结果。

[0031] (3)将步骤(2)处理后的体表标测数据映射到对应的三维模型(如图1)上,使用反向距离插值算法,计算标测电极坐标以外各顶点处的电压估计值。将不同电压值按电压高低分别赋予不同的颜色,颜色越深说明电压越低。本实施例采用Visual Studio 2013软件中的OpenGL图形学接口载入三维躯干模型,按时间间隔1ms(即 $1/f_s$)得到每个采样时刻的等电位图,并使用OpenGL中的屏幕截取函数glReadPixels将每个采样时刻的图像保存。如图4所示,图中包含16个连续采样时刻的等电位图,反映了心电信号的传导规律。

[0032] (4)取时间 T 为2s,时间间隔 $\Delta t=5$ ms,将时间间隔为5ms的每张等电位图合成一张激动序列图,即 $N=5, k=400$ 。如图5所示,该激动序列图共由400张等电位图合并而成,是依照激动顺序按照横向20张,纵向20张的方式进行拼接的。每张激动序列图既包含时间信息又包含不同导联之间的空间信息,反映了时间 T 内的心电传导信息。

[0033] (5)将多张激动序列图输入到2D卷积神经网络中,预测术后房颤是否复发,实施结果如图6所示。图6反映了训练集和测试集上分类准确率的变化趋势,随着训练迭代次数的增加,测试集准确率也逐渐趋向于稳定。实施结果表明,激动序列图包含更多的时空特征,用于房颤复发预测的准确率高。

[0034] 实施例2:将本发明的基于激动序列图的房颤分析预测方法应用于犬心外膜标测信号。本实施例采用的心电数据为动物实验采集的128导联犬心房心外膜标测的窦性心律信号,基于激动序列图预测能否成功诱发房颤。实验中,采用不同剂量的乙酰胆碱对实验犬进行静脉滴注,然后在不同剂量下采用高频电刺激刺激心房,观察能否成功诱发房颤。基于激动序列图预测能否成功诱发房颤的工作流程如下:

(1)利用128导联便携式电生理记录系统采集不同剂量的乙酰胆碱下犬心房心外膜标测的128导联窦性心律信号,采样频率 f_s 为1KHz,电极位置平面示意图及电极贴靠示意图如图7所示。

[0035] (2)将步骤(1)采集的心电对信号进行归一化处理。图8(a)是某一导联的原始窦性心律信号,归一化处理后的信号如图8(b)所示。

[0036] (3)将归一化处理后的心外膜标测数据映射到对应的二维平面(如图7(a))上。本实施例采用MATLAB软件中的griddata函数中'v4'插值算法,计算标测电极坐标以外各顶点处的电压估计值。将不同电压值按电压高低分别赋予不同的颜色,颜色越深说明电压越低。按时间间隔1ms(即 $1/f_s$)得到每个采样时刻的等电位图,并加以保存。图9(a)和图9(b)给出了等电位图的示例,其中图9(a)为成功诱发房颤前某时刻的窦性心律信号的等电位图,图9

(b) 为未能成功诱发房颤前某时刻的窦性心律信号的等电位图。

[0037] (4) 取时间 T 为 2 s, 时间间隔 $\Delta t=5$ ms, 将时间间隔为 5 ms 的每张等电位图合成一张激动序列图, 即 $N=5, k=400$ 。如图 10 所示, 该激动序列图共由 400 张等电位图合并而成, 是依照激动顺序按照横向 20 张, 纵向 20 张的方式进行拼接的。每张激动序列图既包含时间信息又包含不同导联之间的空间信息, 反映了时间 T 内的心电传导信息。

[0038] (5) 将多张激动序列图输入到 2D 卷积神经网络中, 预测房颤能否成功诱发, 实施结果如图 11 所示。图 11 反映了训练集和测试集上分类准确率的变化趋势, 随着训练迭代次数的增加, 测试集准确率也逐渐趋向于稳定。实施结果表明, 基于房颤诱发前的窦性心律信号的激动序列图, 采用卷积神经网络预测房颤诱发是否成功的准确率高。

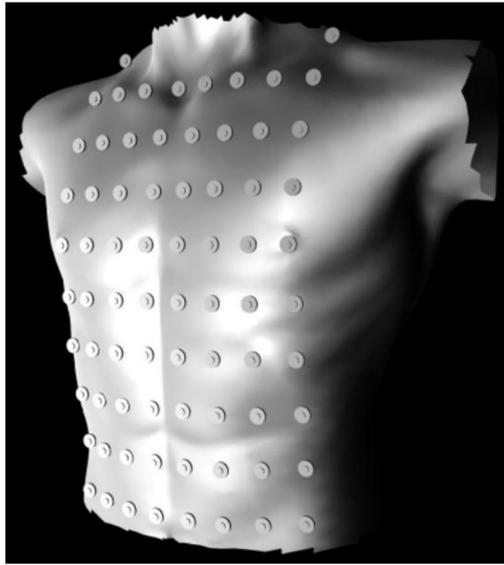


图1

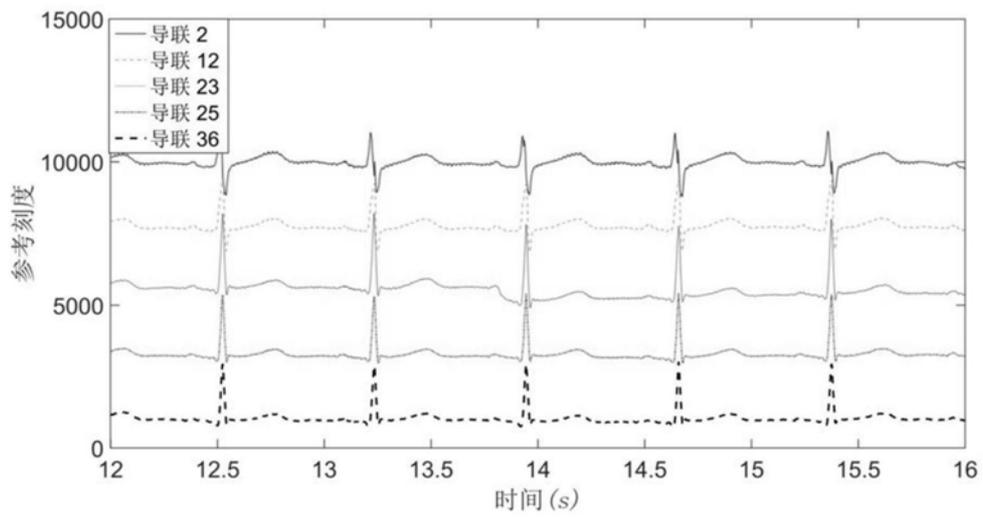


图2(a)

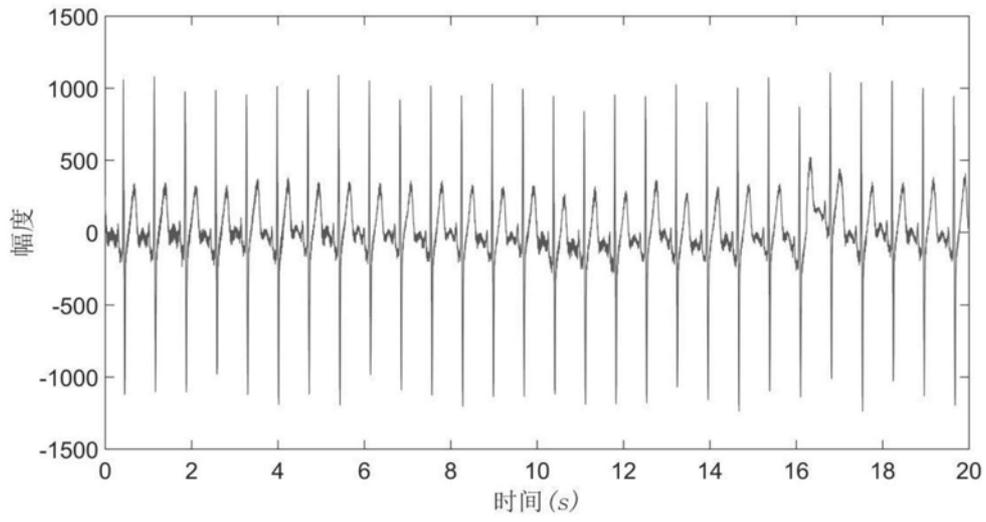


图2 (b)

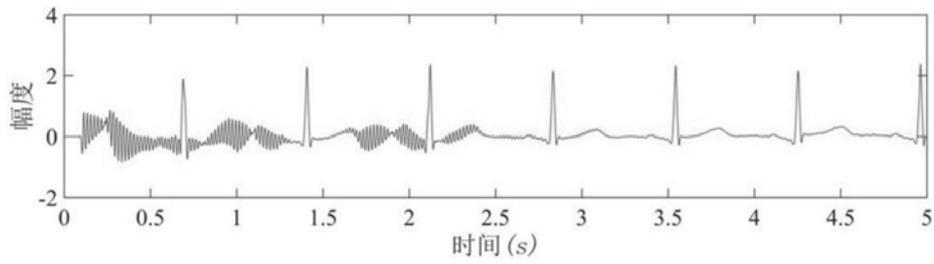


图3 (a)

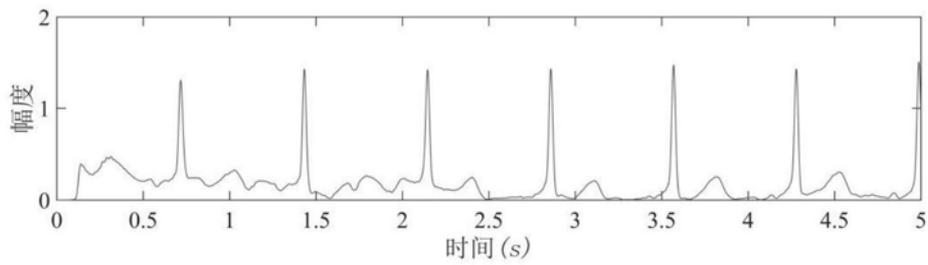


图3 (b)

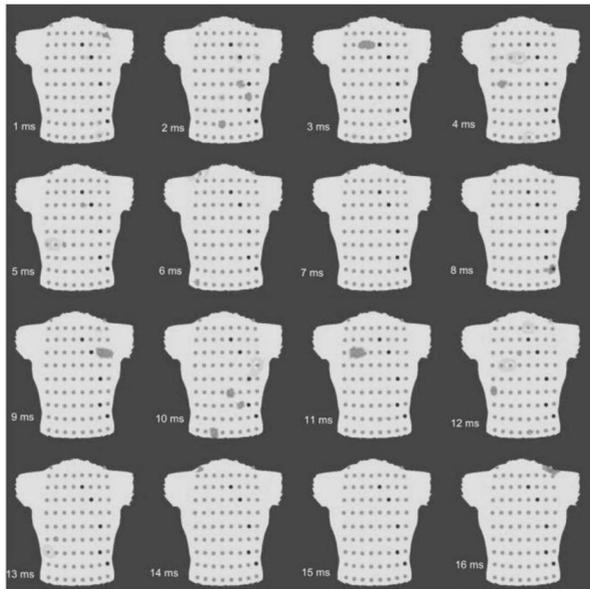


图4 (a)

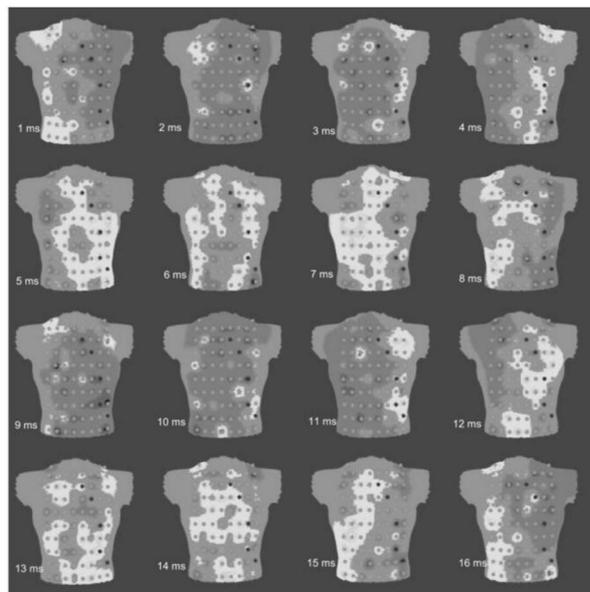


图4 (b)

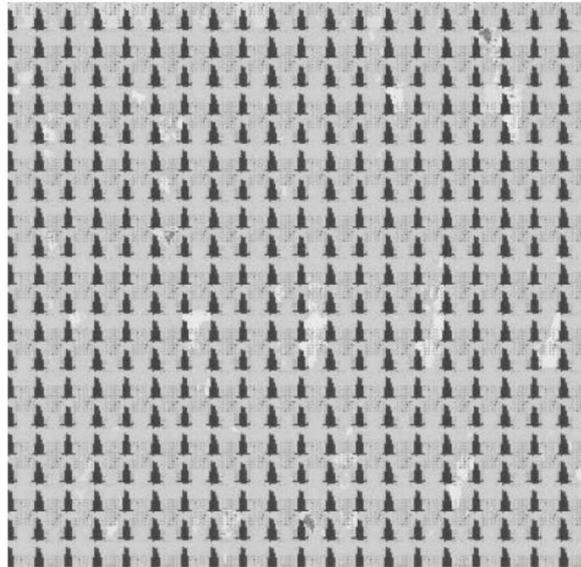


图5 (a)

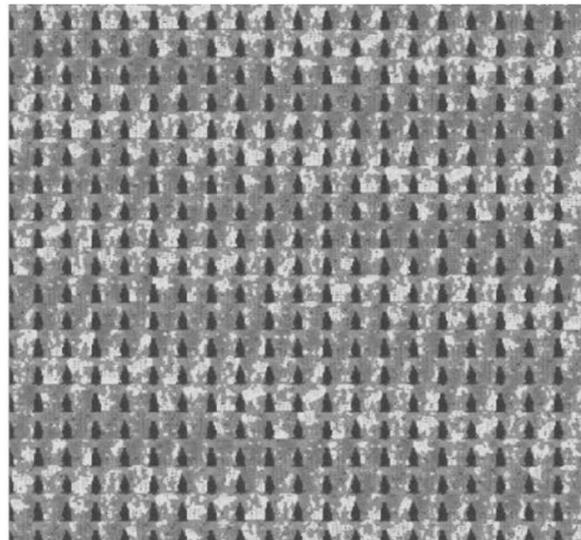


图5 (b)

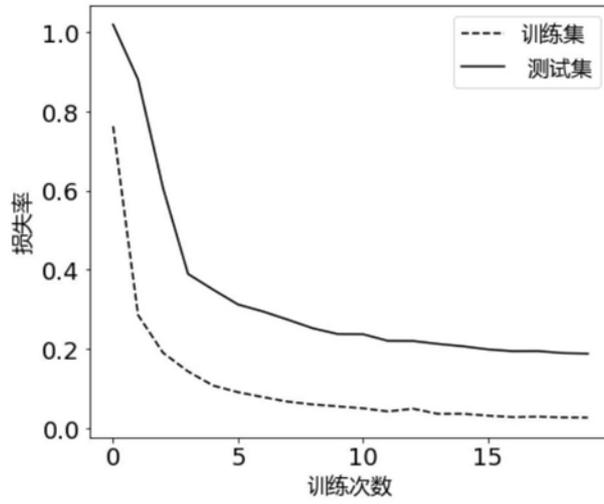


图6 (a)

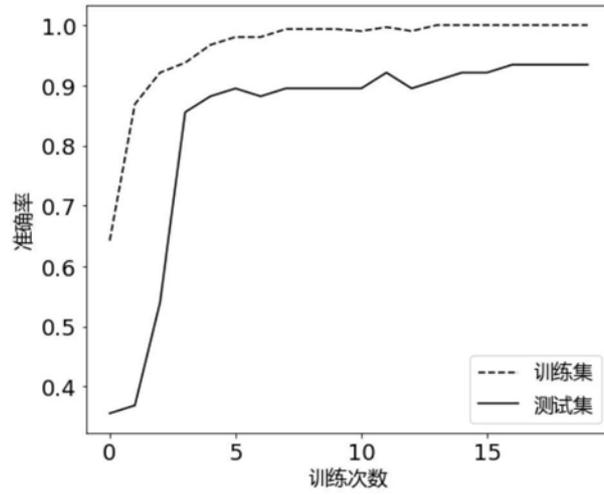


图6 (b)

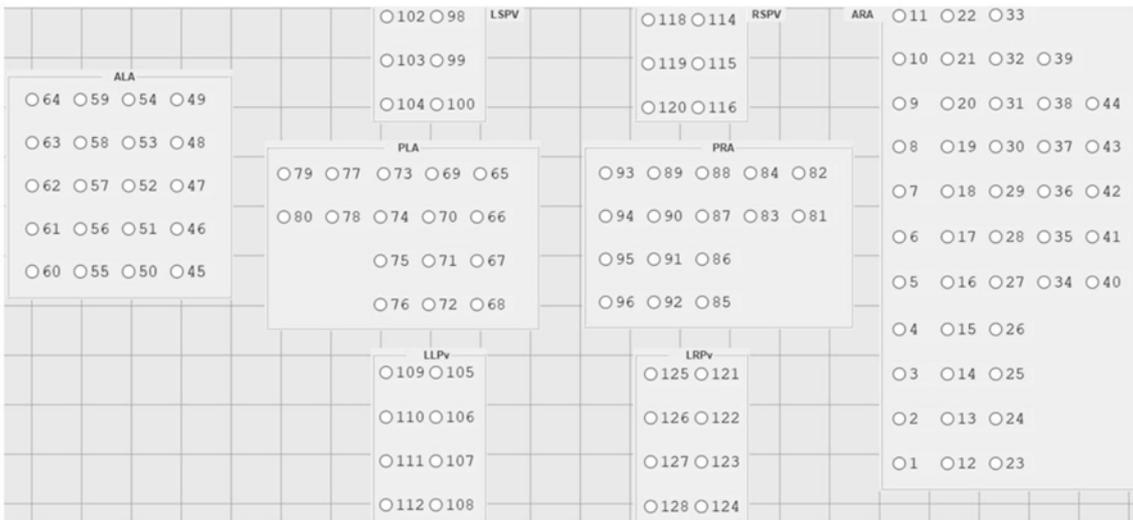


图7 (a)

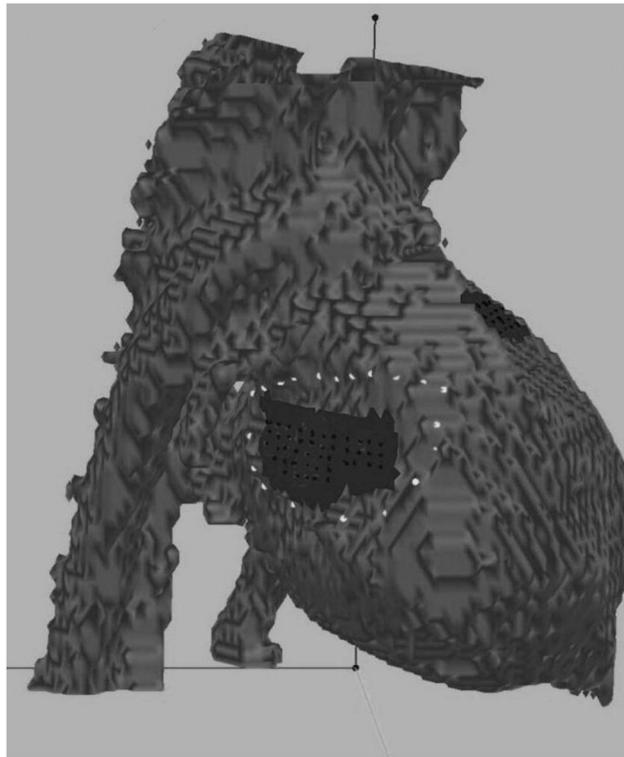


图7 (b)

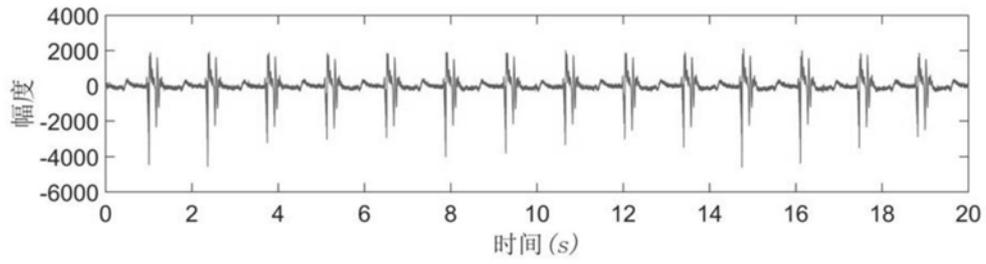


图8(a)

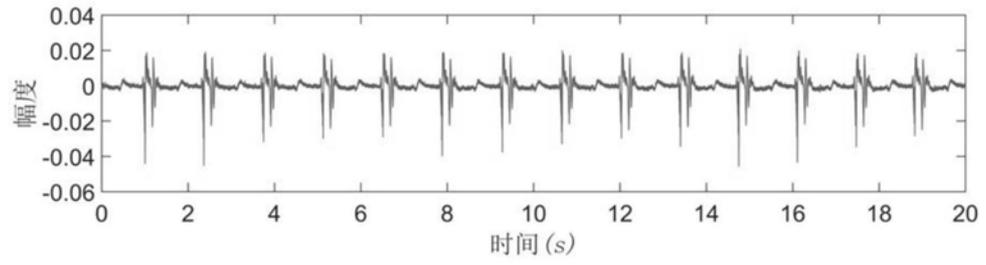


图8(b)



图9(a)



图9 (b)

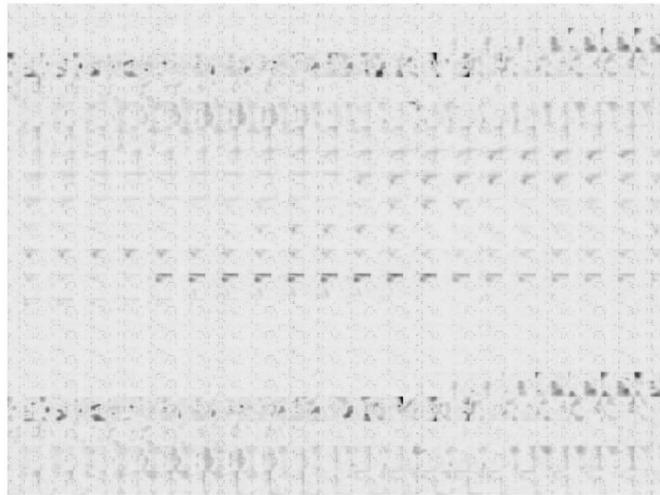


图10 (a)

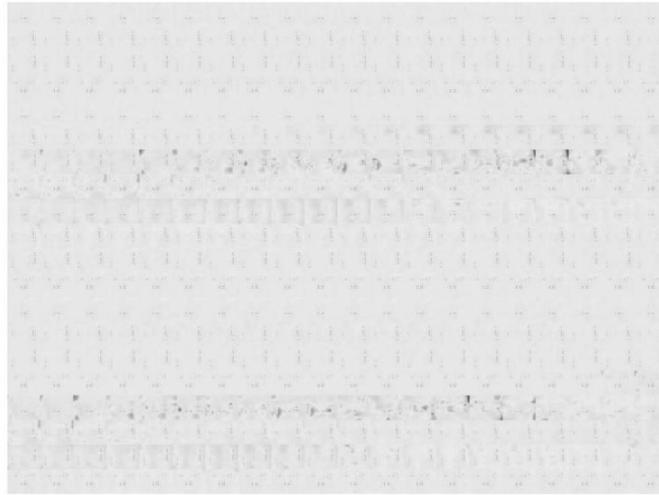


图10 (b)

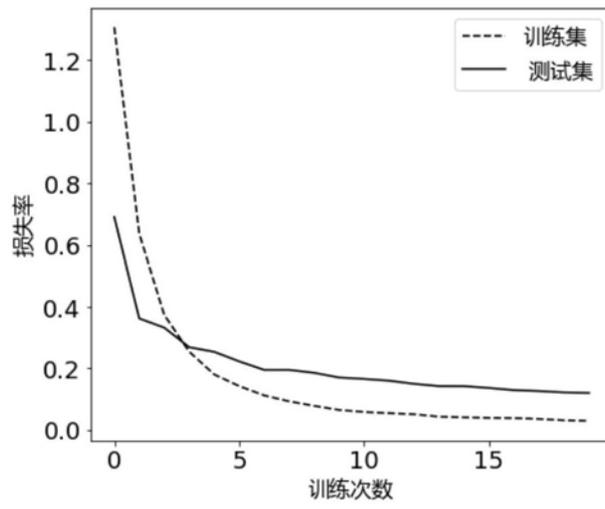


图11 (a)

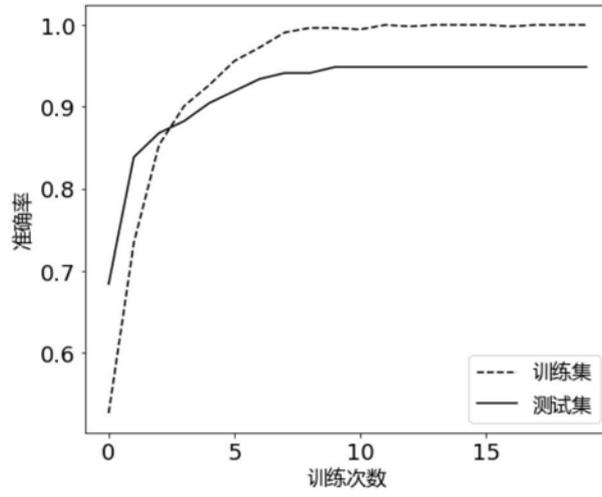


图11 (b)

专利名称(译)	基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法		
公开(公告)号	CN110575161A	公开(公告)日	2019-12-17
申请号	CN201910793440.X	申请日	2019-08-27
[标]申请(专利权)人(译)	复旦大学		
申请(专利权)人(译)	复旦大学		
当前申请(专利权)人(译)	复旦大学		
[标]发明人	杨翠微 钟高艳		
发明人	杨翠微 钟高艳 冯旭键		
IPC分类号	A61B5/0402 A61B5/04 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/04012 A61B5/0402 A61B5/7203 A61B5/7225 A61B5/7267 A61B5/7275 A61B5/742 A61B5/7425		
代理人(译)	张磊		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供一种基于心脏标测激动序列图的房颤分析预测方法，其主要思想是将一维的时序信号转换为二维的图像数据。具体流程包括以下步骤：运用心电标测技术得到同步采集的多路心电信号；根据电极位置，将同一时刻采样点的电压幅值绘制等电位图；将某段时间内的等电位图按照一定的时间间隔合成一张激动序列图；提取激动序列图在该时间段内的特征，采用图像分类的方式实现对房颤的分析预测。本发明可用于研究标测区域心电的传导规律，适用于窦性心律信号或房扑、房颤信号，在电生理机制研究和临床医学上均具有一定的应用价值。本方法可推广至所有的电生理信号的分类或预测研究。

