(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110013250 B
(45)授权公告日 2021.08.17

(21)申请号 201910363635.0
(22)申请日 2019.04.30
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110013250 A
(43)申请公布日 2019.07.16
(73)专利权人 中南大学湘雅二医院
地址 410011 湖南省长沙市人民中路139号
(72)发明人 王湘 林盘 李欢欢 范乐佳 赵佳慧 王晓晟
(74)专利代理机构 北京盛询知识产权代理有限公司 11901
代理人 陈巍
(51)Int.Cl.
A61B 5/374(2021.01)
A61B 5/16(2006.01)
A61B 5/00(2006.01)
审查员 李嘉慧

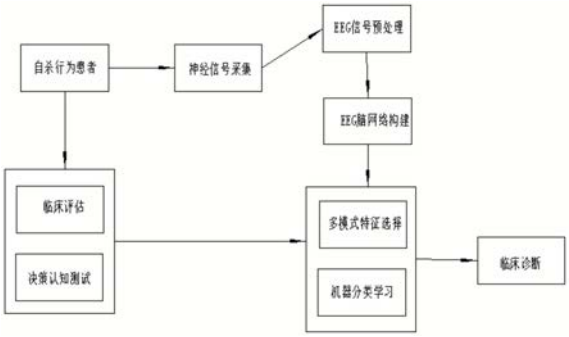
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法

(57)摘要

本发明公开一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，包括采集脑电信号，数据采集以单侧乳突作参考电极，对侧乳突作记录电极，同时对测试者进行三维心理痛苦量表，仿真气球冒险任务进行神经心理学行为指标的评判；对数据预处理，将预处理后的EEG数据通过计算各个脑电极之间的PLV值检测脑电信号同步性，并且采用PLV值来进行脑网络构建；再通过模式识别方法对高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人样本进行分类；本发明有效提高分类精度，对预测重性抑郁障碍高自杀风险的更加客观，有效减少自杀行为的现象发生。



CN 110013250 B

1.一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，其特征在于：包括如下步骤：

S1：采集脑电信号，数据采集以单侧乳突作参考电极，对侧乳突作记录电极，并且还对测试者进行三维心理痛苦量表测试以及仿真气球冒险任务测试，分别获得量表评估得分和风险决策行为特征，所述量表评估得分用于获得临床评价指标特征；

S2：对S1中的所述脑电信号数据预处理，包括：

S21：去眼电：通过EOG相关法消除眼电干扰；

S22：转参考：将双侧乳突作为参考电极；

S23：数字滤波：主要为了提高信噪比，消除50Hz工频电源或高频信号的干扰，采用频带宽为0.5-30Hz进行滤波；

S24：降采样率：将采样率降至250Hz重采样；

S25：去除伪迹：剔除幅值超出±100μV的脑电波；

S3：对步骤S2中的预处理后的所述脑电信号数据通过计算各个脑电极之间的相位锁定值检测脑电信号同步性，并且采用所述相位锁定值来构建脑网络；

构建判别函数将S3中的所述脑电信号数据进行分类，设包含l个样本的训练集 $\{\mathbf{x}_k, y_k\}_{k=1}^{l}$，$\mathbf{x}_k \in \mathbb{R}^m$ 为输入向量，$y_k \in \{-1,+1\}$ 为类别标识，利用非线性函数Φ(.)将原始测量空间中的训练集数据X_i映射到一个高维线性特征空间，在这个维数为无穷大的线性空间中构造最优分类超平面，并得到分类器的判别函数，分类超平面用公式表示为：

$w \cdot \Phi(x)+b=0$ ……4

其判别函数为：

$y(x)=\mathrm{sign}[(w \cdot \Phi(x)+b]$ ……5

设$K(x_i,x_j)=\Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j)$为其核函数；

S4：对步骤S3分析得到的所述脑网络的神经信息与步骤S1中的所述量表评估得分以及所述风险决策行为特征进行融合，并通过机器学习进行分类判断；

通过模式识别方法对高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人样本进行分类，采用在两组间存在差异的静息态各频段所述 脑电信号的所述相位锁定值，所述量表评估得分，以及所述风险决策行为特征分别逐一作为特征建立单一特征模型，并将分类准确率达到70％以上的每个所述单一特征模型对应的特征认为是重性抑郁障碍自杀风险的潜在预测指标；然后再将所述潜在预测指标两两组合形成新的复合特征模型，再次对重性抑郁障碍自杀风险进行分类检测。

2.根据权利要求1所述的抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，其特征在于：步骤S3中：所述脑网络构建包括：

a、选取带通滤波的频率，所述相位锁定值是表示两组信号在特定频段上的同步程度，在分析前，有必要对信号进行某一频段的带通滤波，以便提取目标频段；

b、计算瞬时相位，采取希尔伯特变换将信号分解为独立的相位和幅度成分，获得该信号在每个采样点上的瞬时相位值，希尔伯特变换公式如下：

$$x_i'(t)=\frac{1}{\pi}PV\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{x_i(\tau)}{(t-\tau)}d\tau \quad \cdots\cdots 1$$

其中，pv是指柯西主值；

最后，脑电信号x(t)的瞬时相位$\theta_i(t)$计算公式为：

$$\theta_i(t)=\arctan\left(\frac{x_i'(t)}{x_i(t)}\right) \quad \cdots\cdots 2$$

其中$x_i'(t)$是信号$x_i(t)$希尔伯特变换的结果；

c、计算相位锁定值，计算脑电信号x(t)和y(t)的瞬时相位后，两个不同电极之间的脑电信号相位锁定值PLV的计算公式如下：

$$PLV=\frac{1}{N}\left|\sum_{n=1}^{N}\exp(i\theta(t))\right| \quad \cdots\cdots 3$$

其中，$\theta(t)$表示在t时刻两个信号的相位差，$\theta(t)=\theta_i(t)-\theta_j(t)$，N表示该时间段的样本总数；

d、根据c中的数据，得到某一段时间内，指定频段电极对之间的连接矩阵，判断PLV值的变化范围，若PLV值的变化范围为0-1，PLV值越大则表示两个电极对之间的同步性越强，0代表完全不同步，1代表完全同步。

3.根据权利要求1所述的抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，其特征在于：所述核函数为：

线性函数：$K(x,x_i)=x\cdot x_i$；

多项式核函数：$K(x,x_i)=[(x\cdot x_i)+1]^d$，d=1,2,3……；

Sigmoid核函数：$K(x,x_i)=\tanh[v(x\cdot x_i)+c]$；

高斯径向基核函数：$K(x,x_i)=\exp\{-q||x-x_i||^2\}$。

4.根据权利要求1所述的抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，其特征在于：通过步骤S4中的所述单一特征模型对两类人群进行分类时采用10次10折交叉验证法，轮流在高/低风险的重性抑郁障碍的两类人的原始样本中随机选出20%的高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人作为测试集，剩下的作为训练集，得出10份相应的分类准确率并求平均值，总共重复10次10折交叉验证的过程，对其正确率结果求平均值，以判定该分类模型的有效性。

一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及医学领域，特别是涉及一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法。

背景技术

[0002] 预防自杀是全球卫生服务关注的重点，据世界卫生组织2015年统计数据，全球每年有近一百万人自杀；近年来自杀人数不断上升，自杀已经成为15到29岁人群致死的第二大原因，其中重性抑郁障碍(Major Depressive Disorder,MDD)是最常与自杀相关联的精神病，其自杀风险比总人口的自杀风险高约20倍，患者的自杀比率为2.2～6.2％，因此重性抑郁障碍(Major Depressive Disorder,MDD)被大多数自杀研究当做研究的靶向人群。

[0003] 预测和评估自杀风险是一个重要而艰巨的临床问题，现有技术中提出了多种自杀成因理论并建立预测模型，如无望感理论，冲动性理论，自杀的人际心理理论，以及心理痛苦理论等，其中心理痛苦理论强调自杀的认知与动机因素，近年来获得了许多实证依据的支持。从心理痛苦理论所强调的痛苦逃避角度来说，自杀也可以被看作是在进行风险决策过程后所采取的主动行为，而对风险决策加工机制的研究将促进对自杀行为潜在机制的理解。事实上，已有大量研究表明：抑郁障碍患者存在风险决策能力的损伤，而其在风险决策中的表现还与自杀风险存在关联。然而传统上对自杀行为还主要停留在定性与简单主观评价上，传统的预测技术通常是基于单模式特征样本的预测方法，但是自杀行为患者是一种复杂的精神问题，涉及到行为，认知及神经信息的异常，因此，传统的检测方法无法有效客观的对自杀行为作出精确的预测。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，以解决上述现有技术存在的问题。

[0005] 为实现上述目的，本发明提供了如下方案：本发明提供一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，包括如下步骤：

[0006] S1：采集脑电信号，数据采集以单侧乳突作参考电极，对侧乳突作记录电极，同时对测试者进行三维心理痛苦量表，仿真气球冒险任务进行神经心理学行为指标的评判；

[0007] S2：对S1中的数据预处理，包括：

[0008] S21：去眼电：通过EOG相关法消除眼电干扰；

[0009] S22：转参考：将双侧乳突作为参考电极；

[0010] S23：数字滤波：主要为了提高信噪比，消除50周或高频信号的干扰，采用频带宽为0.5-30Hz进行滤波；

[0011] S24：降采样率：将采样率降至250Hz重采样；

[0012] S25：去除伪迹：剔除幅值超出±100μV的脑电波；

[0013] S3：对步骤S2中的预处理后的EEG数据通过计算各个脑电极之间的PLV值检测脑电

信号同步性，并且采用PLV值来进行脑网络构建；

[0014] S4：对步骤S3分析得到的PLV脑网络的神经信息与S1中自杀行为与决策认知行为特征融合与机器学习的分类判断；

[0015] 优选的，步骤S3中：所述脑网络构建包括：

[0016] a、选取带通滤波的频率，相位锁定值是表示两组信号在特定频段上的同步程度，在分析前，有必要对信号进行某一频段的带通滤波，以便提取目标频段；

[0017] b、计算瞬时相位，采取希尔伯特变换将信号分解为独立的相位和幅度成分，获得该信号在每个采样点上的瞬时相位值，希尔伯特变换公式如下：

[0018] $$x_i'(t)=\frac{1}{\pi}PV\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{x_i(\tau)}{(t-\tau)}d\tau \quad \cdots\cdots 1$$

[0019] 其中，pv是指柯西主值；

[0020] 最后，EEG脑电信号x(t)的瞬时相位$\theta_i(t)$计算公式为：

[0021] $$\theta_i(t)=\arctan\left(\frac{x_i'(t)}{x_i(t)}\right) \quad \cdots\cdots 2$$

[0022] 其中$x_i'(t)$是信号$x_i(t)$希尔伯特变换的结果；

[0023] c、计算PLV值，计算脑电信号x(t)和y(t)的瞬时相位后，两个不同电极之间的脑电信号PLV值的计算公式如下：

[0024] $$PLV=\frac{1}{N}\left|\sum_{n=1}^{N}\exp(i\theta(t))\right| \quad \cdots\cdots 3$$

[0025] 其中，θ(t)表示在t时刻两个信号的相位差，θ(t)＝θi(t)-θj(t)，N表示该时间段的样本总数；

[0026] d、根据c中的数据，得到某一段时间内，指定频段电极对之间的连接矩阵，判断PLV值的变化范围，若PLV值的变化范围为0-1，PLV值越大则表示两个电极对之间的同步性越强，0代表完全不同步，1代表完全同步。

[0027] 优选的，构建判别函数将S3中的数据进行分类，设包含l个样本的训练集$\{\mathbf{x}_k,\mathcal{Y}_k\}_{k=1}^{l}$，$\mathbf{x}_k\in\mathcal{R}^m$为输入向量，$y_k\in\{-1,+1\}$为类别标识，利用非线性函数Φ(.)将原始测量空间中的训练集数据X_i映射到一个高维线性特征空间，在这个维数为无穷大的线性空间中构造最优分类超平面，并得到分类器的判别函数，分类超平面用公式表示为：

[0028] $w\cdot\Phi(x)+b=0$ ……4

[0029] 其判别函数为：

[0030] $y(x)=\mathrm{sign}[(w\cdot\Phi(x)+b]$ ……5

[0031] 设$K(x_i,x_j)=\Phi(x_i)\cdot\Phi(x_j)$为其核函数。

[0032] 优选的，所述核函数为：

[0033] 线性函数：$K(x,x_i)=x\cdot x_i$；

[0034] 多项式核函数：$K(x,x_i)=[(x\cdot x_i)+1]^d$，d＝1，2，3……；

[0035] Sigmoid核函数：$K(x,x_i)=\tanh[v(x\cdot x_i)+c]$；

[0036] 高斯径向基核函数：$K(x,x_i)=\exp\{-q||x-x_i||^2\}$。

[0037] 优选的，通过模式识别方法对高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人样本进行分类，采用在两组间存在差异的静息态各频段脑电信号PLV值，量表评估得分，以及风险决策行为指标分别逐一作为特征建模，并将这些模型分类准确率达到70％以上的认为是重性抑郁障碍自杀风险的潜在预测指标；然后再将潜在预测指标两两组合形成新的模型，再次对重性抑郁障碍自杀风险进行分类检测。

[0038] 本发明公开了以下技术效果：本发明运用不同频段静息态EEG信号的相位同步性作为特征，通过模式识别方法对高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人样本进行分类，采用在两组间存在差异的静息态各频段脑电信号PLV值，量表评估得分，以及风险决策行为指标分别逐一作为特征建模，并将这些模型分类准确率达到70％以上的认为是重性抑郁障碍自杀风险的潜在预测指标；然后再将潜在预测指标两两组合形成新的模型，再次对重性抑郁障碍自杀风险进行分类检测并与临床症状指标、心理痛苦评定指标、风险决策行为学指标进行多特征融合，有效提高分类精度，能够预测重性抑郁障碍高自杀风险的客观有效的评价指标；为临床重性抑郁障碍患者的高自杀风险筛查标准提供新的实证依据，也为高自杀风险群体的干预和治疗提供可能的客观评估指标。

附图说明

[0039] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0040] 图1为本发明的流程示意图；

[0041] 图2为EEG不同频段脑网络PLV相关矩阵示意图；

[0042] 图3为构建EEG不同频段脑网络结构示意图；

[0043] 图4为神经信息与认知行为特征融合示意图；

[0044] 图5为本申请的特征分类流程图；

[0045] 图6位多特征模型分类结果示意图。

具体实施方式

[0046] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0047] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0048] 参照图1-6，本发明提供一种抑郁症自杀行为的多模式特征信息融合预测方法，包括如下步骤：

[0049] S1：采集脑电信号，使用64导电极帽的Ag/AgCI电极，以单侧乳突作参考电极，对侧乳突作记录电极，采集完数据后转双侧乳突作参考。左眼上下1cm处安放电极记录垂直眼

电，双眼外侧2cm处安放电极记录水平眼电，头皮与记录电极间的阻抗小于5kΩ，AC采集脑电波信号，滤波带通为0.05～100Hz，采样频率1000Hz/导，脑电波信号经放大器放大，记录连续EEG，并且对被试者进行三维心理痛苦量表，仿真气球冒险任务进行神经心理学行做为指标的评判。

[0050] S2：对S1中的数据预处理，包括：

[0051] S21：去眼电：通过EOG相关法消除眼电干扰；

[0052] S22：转参考：将双侧乳突作为参考电极；

[0053] S23：数字滤波：主要为了提高信噪比，消除50周或高频信号的干扰，采用频带宽为0.5-30Hz进行滤波；

[0054] S24：降采样率：将采样率降至250Hz重采样；

[0055] S25：去除伪迹：剔除幅值超出±100μV的脑电波；

[0056] S3：对步骤S2中的预处理后的EEG数据通过计算各个脑电极之间的PLV值检测脑电信号同步性，并且采用PLV值来进行脑网络构建，首先选取带通滤波的频率，相位锁定值是表示两组信号在特定频段上的同步程度，在分析前，有必要对信号进行某一频段的带通滤波，以便提取目标频段；

[0057] 然后计算瞬时相位，采取希尔伯特变换将信号分解为独立的相位和幅度成分，获得该信号在每个采样点上的瞬时相位值，希尔伯特变换公式如下：

[0058] $$x_i'(t)=\frac{1}{\pi}PV\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{x_i(\tau)}{(t-\tau)}d\tau \quad \cdots\cdots 1$$

[0059] 其中，pv是指柯西主值；

[0060] EEG脑电信号x(t)的瞬时相位$\theta_i(t)$计算公式为：

[0061] $$\theta_i(t)=\arctan\left(\frac{x_i'(t)}{x_i(t)}\right) \quad \cdots\cdots 2$$

[0062] 其中，$x_i'(t)$是信号$x_i(t)$希尔伯特变换的结果；

[0063] 再计算PLV值：计算脑电信号x(t)和y(t)的瞬时相位后，两个不同电极之间的脑电信号PLV值的计算公式如下：

[0064] $$PLV=\frac{1}{N}\left|\sum_{n=1}^{N}\exp(i\theta(t))\right| \quad \cdots\cdots 3$$

[0065] 其中，θ(t)表示在t时刻两个信号的相位差，θ(t)＝θi(t)-θj(t)，N表示该时间段的样本总数；

[0066] 其次根据步骤c中的数据，得到某一段时间内，指定频段电极对之间的连接矩阵，判断PLV值的变化范围，若PLV值的变化范围为0-1，PLV值越大则表示两个电极对之间的同步性越强，0代表完全不同步，1代表完全同步；

[0067] S4：对步骤S3分析得到的PLV脑网络的神经信息与S1中自杀行为与决策认知行为特征融合与机器学习的分类判断；构建判别函数将S3中的数据进行分类，设包含l个样本的训练集$\{\mathbf{x}_k,y_k\}_{k=1}^{l}$，$\mathbf{x}_k\in\mathbb{R}^m$为输入向量，$y_k\in\{-1,+1\}$为类别标识，利用非线性函数Φ(.)将原始测量空间中的训练集数据X_i映射到一个高维线性特征空间，在这个维数

为无穷大的线性空间中构造最优分类超平面，并得到分类器的判别函数，分类超平面用公式表示为：

[0068] $w \cdot \Phi(x)+b=0$ ……4

[0069] 其判别函数为：

[0070] $y(x)=\mathrm{sign}[(w \cdot \Phi(x)+b]$ ……5

[0071] 设$K(x_i,x_j)=\Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j)$为其核函数。所述核函数为：

[0072] 线性函数：$K(x,x_i)=x \cdot x_i$；

[0073] 多项式核函数：$K(x,x_i)=[(x \cdot x_i)+1]^d, d=1,2,3\cdots\cdots$；

[0074] Sigmoid核函数：$K(x,x_i)=\tanh[v(x \cdot x_i)+c]$；

[0075] 高斯径向基核函数：$K(x,xi)=\exp\{-q||x-xi||^2\}$。

[0076] 最后通过模式识别方法对高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人样本进行分类，采用在两组间存在差异的静息态各频段脑电信号PLV值，量表评估得分，以及风险决策行为指标分别逐一作为特征建模，选取神经信息特征为δ(0.5～3HZ)、θ(4～7HZ)、α(8～12HZ)与β(13～30HZ)四个频段的的60个电极对之间的脑网络功能连接的PLV相关指标；行为特征指标主要采用临床评价包含：简式韦氏评测指标，克抑郁量表指标，贝克自杀意念量表指标，Barratt冲动性量表指标，三维心理痛苦量表指标，状态特质焦虑量表指标，并且结合与仿真气球冒险任务风险决策认知能力指标综合构成行为学特征。通过选择的特征模型对在高/低风险的重性抑郁障碍两类人群进行分类时采用10次10折交叉验证法，将数据集分为10份，轮流将其中的1份做为测试集，剩下的9份为训练集，将训练集送入分类器进行训练，得到最优的分类参数，形成分类器的最佳分类面，然后对测试集进行分类，得出相应的分类准确率，最后求10次分类准确率的平均值，轮流在高/低风险的重性抑郁障碍两类原始样本中随机选出20％的高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人作为测试集，剩下的作为训练集，得出10份相应的分类准确率并求平均值(10折交叉验证)，总共重复10次10折交叉验证的过程，对其正确率结果求平均，以判定该分类模型的有效性；并将这些模型分类准确率达到70％以上的认为是重性抑郁障碍自杀风险的潜在预测指标；然后再将潜在预测指标两两组合形成新的模型，再次对重性抑郁障碍自杀风险进行分类检测。

[0077] 所述10次10折交叉验证法公式如下：

[0078] $$\sigma_{CV}^2=\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\frac{1}{L-1}\sum_{l=1}^{L}\left(\theta(X_l^{(k)})-\theta(X_l^{(-k)})\right)\left(\theta(X_l^{(k)})-\theta(X_l^{(-k)})\right)^T \cdots\cdots\cdots 6$$

[0079] 通过选择的特征模型对高/低风险的重性抑郁障碍两类人群进行分类时采用10次10折交叉验证法，轮流在高/低风险的重性抑郁障碍两类人的原始样本中随机选出20％的高风险自杀行为的抑郁病人样本与低风险自杀行为的抑郁病人作为测试集，剩下的作为训练集，得出10份相应的分类准确率并求平均值(10折交叉验证)。总共重复10次10折交叉验证的过程，对其正确率结果求平均，以判定该分类模型的有效性。

[0080] 分类结果如下：当采用α频段的PLV与TDPPS总分，或TDPPS痛苦逃避分量表分，或BART风险决策行为学特征总和相结合，其分类模型的分类准确率均可达90％，敏感性与特异性均大于等于85％。BART风险决策的行为学特征总和与TDPPS痛苦逃避分量表分组合的模型分类准确率，敏感性与特异性均为80％。而由θ频段PLV参与两两组合的分类模型，以及

TDPPS总分与BART行为学特征总和融合的分类模型，其分类准确率均小于80％。

[0081] 在本发明的描述中，需要理解的是，术语“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

[0082] 以上所述的实施例仅是对本发明的优选方式进行描述，并非对本发明的范围进行限定，在不脱离本发明设计精神的前提下，本领域普通技术人员对本发明的技术方案做出的各种变形和改进，均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。

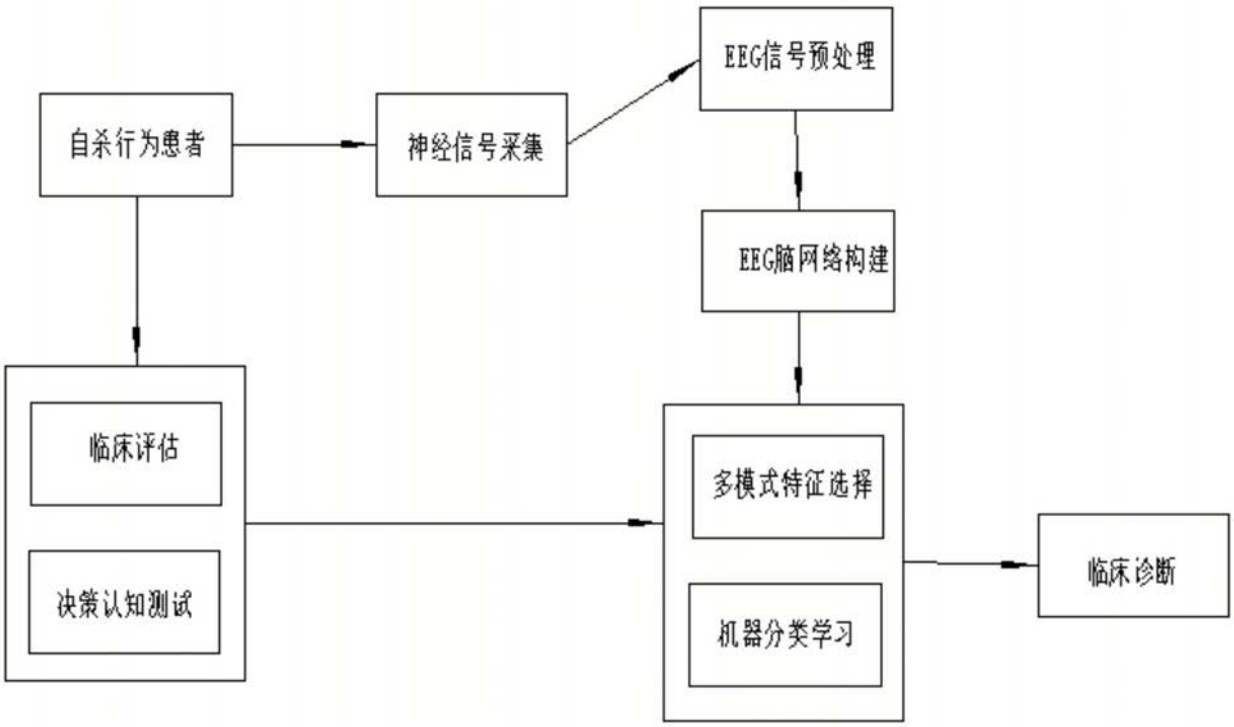

自杀行为患者
神经信号采集
EEG信号预处理
EEG脑网络构建
临床评估
决策认知测试
多模式特征选择
机器分类学习
临床诊断

图1

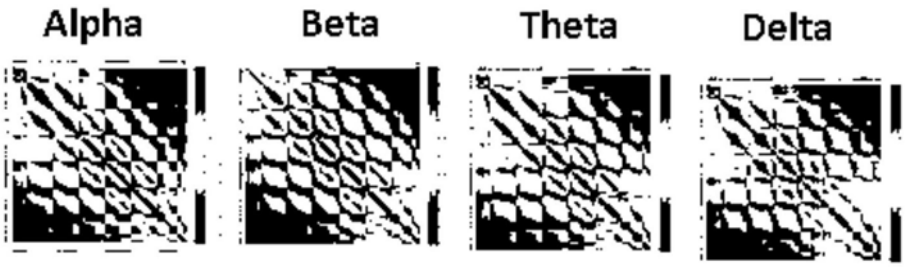

Alpha
Beta
Theta
Delta

图2

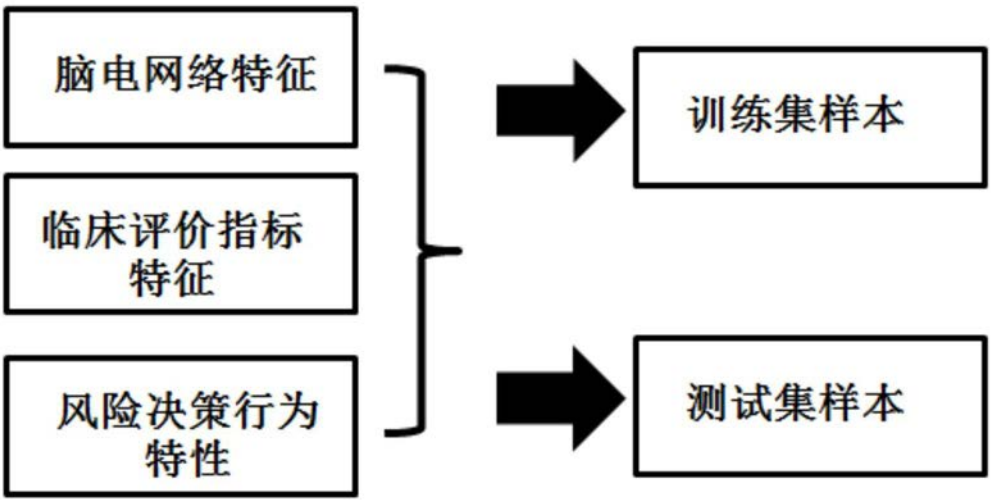

脑电网络特征
临床评价指标特征
风险决策行为特性
训练集样本
测试集样本

图3

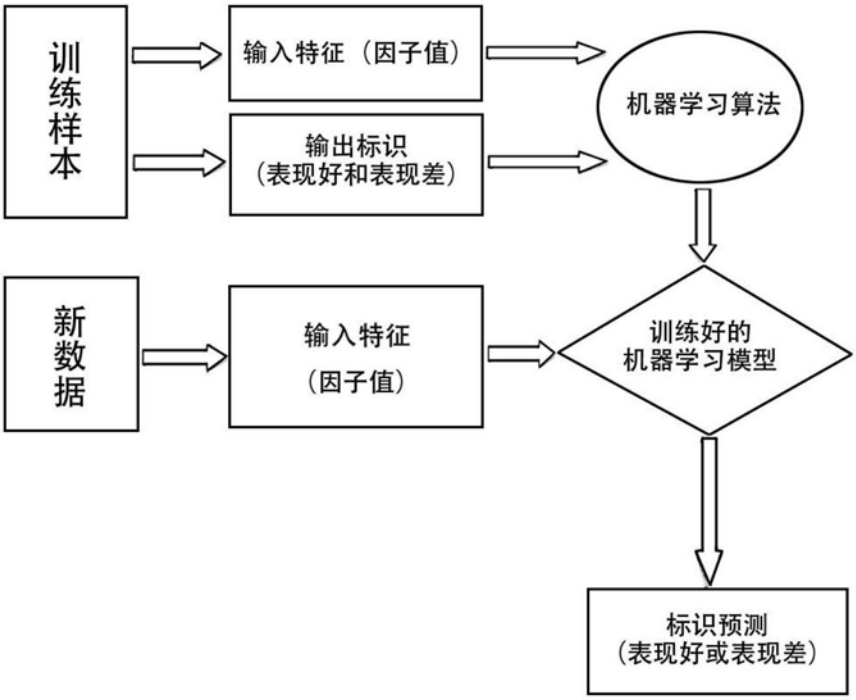

训练样本
输入特征（因子值）
输出标识（表现好和表现差）
机器学习算法
新数据
输入特征（因子值）
训练好的机器学习模型
标识预测（表现好或表现差）

图4

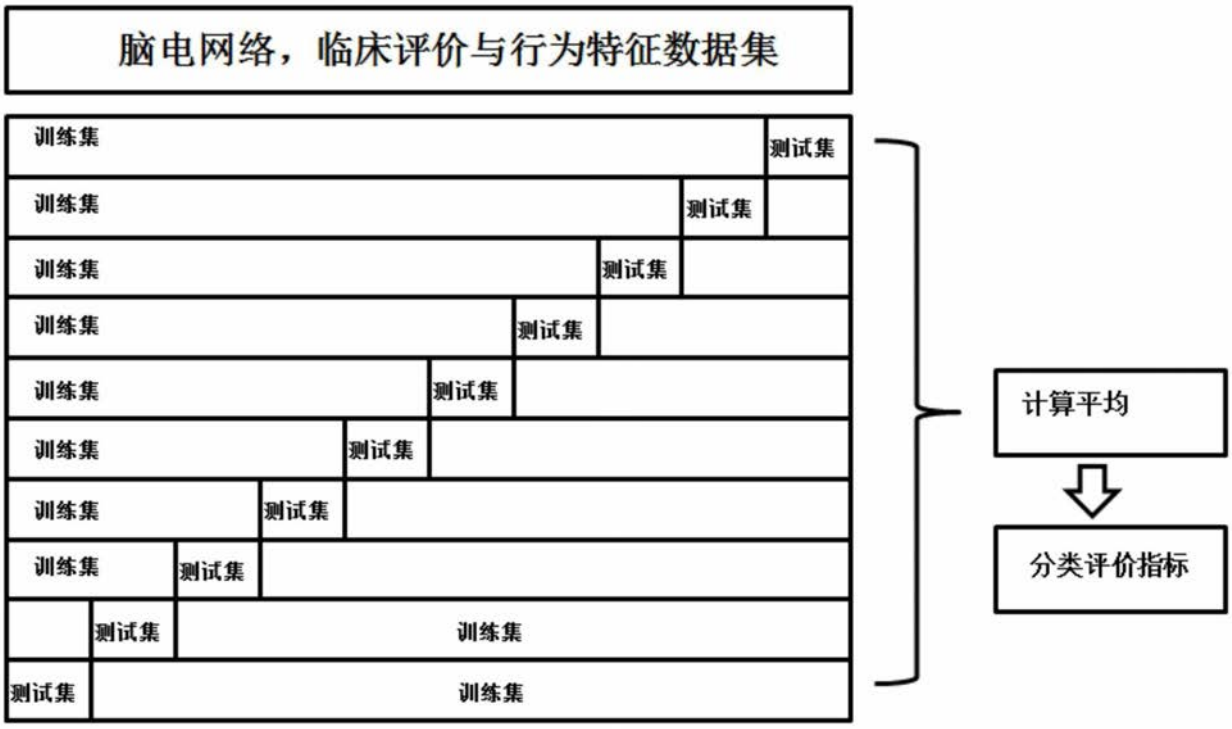

脑电网络，临床评价与行为特征数据集
训练集
测试集
计算平均
分类评价指标

图5

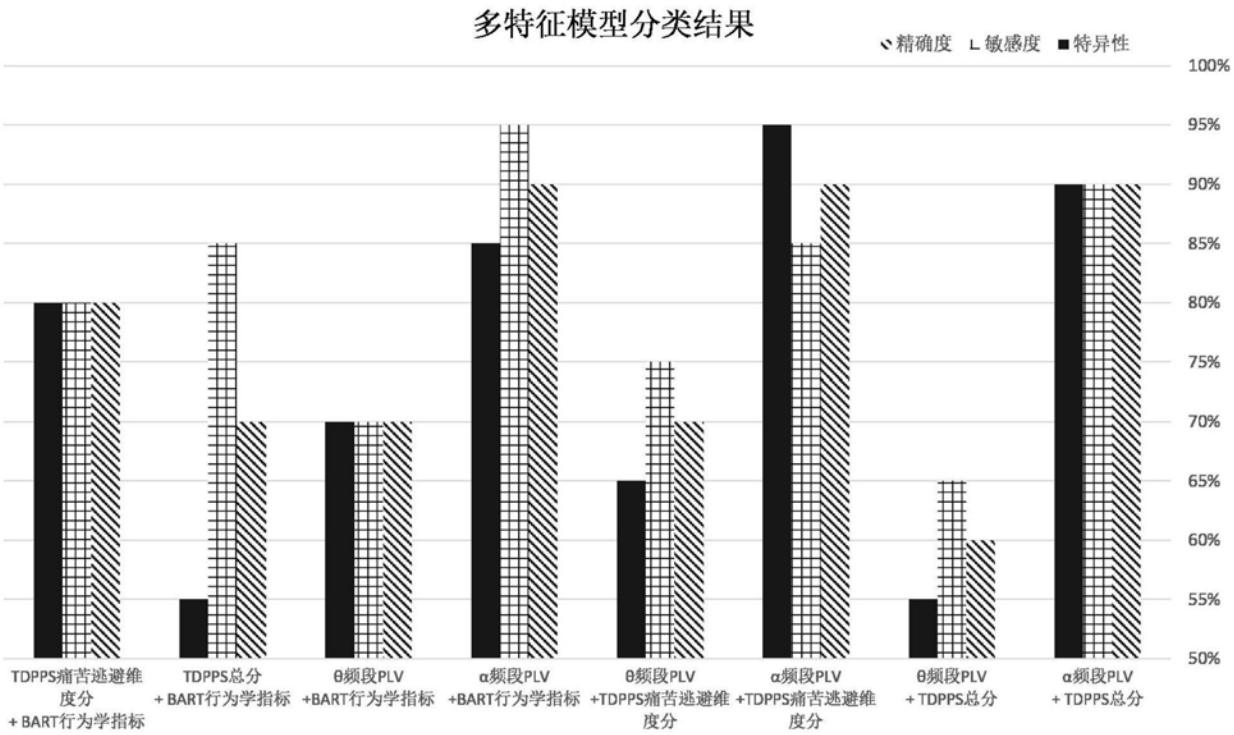

多特征模型分类结果
精确度
敏感度
特异性
100%
95%
90%
85%
80%
75%
70%
65%
60%
55%
50%
TDPPS痛苦逃避维度分 + BART行为学指标
TDPPS总分 + BART行为学指标
θ频段PLV +BART行为学指标
α频段PLV +BART行为学指标
θ频段PLV +TDPPS痛苦逃避维度分
α频段PLV +TDPPS痛苦逃避维度分
θ频段PLV + TDPPS总分
α频段PLV + TDPPS总分

图6