



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109363671 B

(45) 授权公告日 2021. 10. 01

(21) 申请号 201811274254.7

A61B 5/377 (2021. 01)

(22) 申请日 2018.10.30

A61B 5/372 (2021. 01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

A61B 5/16 (2006. 01)

申请公布号 CN 109363671 A

A61B 5/00 (2006. 01)

(43) 申请公布日 2019.02.22

(73) 专利权人 中国人民解放军战略支援部队信息工程大学

(56) 对比文件

CN 102499677 A, 2012.06.20

CN 102715911 A, 2012.10.10

CN 104536573 A, 2015.04.22

CN 108681391 A, 2018.10.19

CN 104361203 A, 2015.02.18

WO 2008/152799 A1, 2008.12.18

CN 102293656 A, 2011.12.28

地址 450000 河南省郑州市高新区科学大道62号

(72) 发明人 曾颖 杨凯 李存波 张融恺
舒君 徐鹏 尧德中 童莉 闫滨

蒋静芳 等. 基于脑电信号的情绪评估研究综述.《信息工程大学学报》.2016,第17卷(第6期),686-693.

(74) 专利代理机构 郑州大通专利商标代理有限公司 41111

代理人 陈勇

审查员 白梦洁

(51) Int. Cl.

A61B 5/378 (2021. 01)

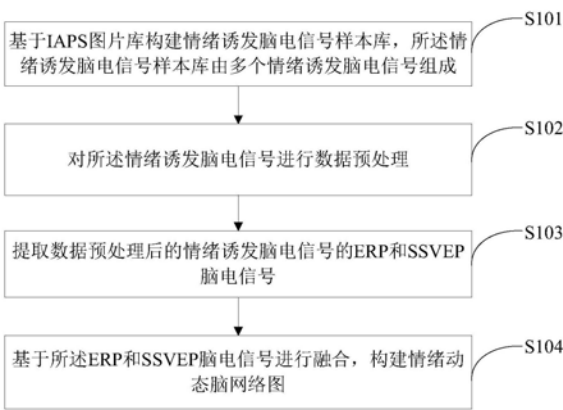
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法

(57) 摘要

本发明涉及脑网络技术领域,尤其涉及基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法。基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法,包括以下步骤:步骤1:基于IAPS图片库构建情绪诱发脑电信号样本库,所述情绪诱发脑电信号样本库由多个情绪诱发脑电信号组成;步骤2:对所述情绪诱发脑电信号进行数据预处理;步骤3:提取数据预处理后的情绪诱发脑电信号的ERP和SSVEP脑电信号;步骤4:基于所述ERP和SSVEP脑电信号进行融合,构建情绪动态脑网络图。本发明实现了情绪动态脑网络图的构建。



1. 基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图构建方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:基于IAPS图片库构建情绪诱发脑电信号样本库,所述情绪诱发脑电信号样本库由多个情绪诱发脑电信号组成;

步骤2:对所述情绪诱发脑电信号进行数据预处理;

步骤3:提取数据预处理后的情绪诱发脑电信号的ERP和SSVEP脑电信号;

所述步骤3包括:

步骤3.1:将同一被试的不同情绪效价的实验刺激图片刺激下的预处理后的情绪诱发脑电信号分别进行叠加平均,得出不同情绪效价的实验刺激图片对应的ERP脑电信号,求取ERP脑电信号的全局功率;

步骤3.2:对前5000ms的情绪诱发脑电信号计算傅里叶变换的系数,求得实验刺激图片对应闪现频率处的幅度,对情绪诱发脑电信号加汉明窗进行短时傅里叶变换,通过ERP脑电信号的全局功率得出各类情绪幅值差异最大的时间窗,在相应时间窗内提取傅里叶变换后的所述闪现频率处的SSVEP脑电信号;

步骤4:基于所述ERP和SSVEP脑电信号进行融合,构建情绪动态脑网络图;

所述步骤4包括:

步骤4.1:依据国际标准的10-20系统,根据ERP与SSVEP脑电信号,确定能够覆盖全脑的相关电极,将所述相关电极作为情绪动态脑网络的节点;

步骤4.2:对于每一个被试,对经过数据预处理后的所有情绪诱发脑电信号使用自适应定向传递函数方法进行动态脑网络图的构建;

步骤4.3:将所有数据段的动态脑网络图进行叠加平均,得到所有被试对应的最终的情绪动态脑网络图;

所述自适应定向传递函数方法包括:

对于每个数据预处理后的情绪诱发脑电信号,通过公式(1)估计时变的多变量自回归模型:

$$X(t) = \sum_{i=1}^p A(i, t) X(t-i) + E(t) \quad (1)$$

其中, $X(t)$ 表示估计的 t 时刻的数据预处理后的情绪诱发脑电信号, $X(t-i)$ 表示第 i 个节点在 $t-i$ 时间窗内的数据预处理后的情绪诱发脑电信号, p 表示情绪动态脑网络中的节点数目, $A(i, t)$ 表示的是利用Kalman滤波方法估计出的 t 时刻的多变量自回归模型的模型系数, $E(t)$ 表示的是 t 时刻数据预处理后的情绪诱发脑电信号中的白噪声;

通过 $A(i, t)$ 得到 t 时刻的多变量自回归模型的模型系数矩阵 $A_i(t)$, 将 $A_i(t)$ 经过短时傅里叶变换得到 $A(i, t)$ 在频域内的变换 $A(f, t)$, $A(f, t) = \sum_{i=1}^p A_i(t) e^{-j2\pi f \Delta t}$, 通过自适应定向传递函数确定多变量自回归模型在频域的短时傅里叶变换 $H(f, t)$, $H(f, t)$ 中的每一个元素 H_{ij} 表示在 t 时刻脑网络内部从节点 j 流向节点 i 的有向信息流, 自适应定向传递函数为:

$$A(f, t) X(f, t) = E(f, t) \quad (2)$$

$$X(f, t) = A^{-1}(f, t) E(f, t) = H(f, t) E(f, t) \quad (3)$$

其中, $X(f, t)$ 和 $E(f, t)$ 是 $X(t)$ 和其对应的白噪声 $E(t)$ 在各自频域内的短时傅里叶变换;

通过 $H(f, t)$ 得出情绪动态脑网络图。

2. 根据权利要求1所述的基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图构建方法, 其特征在于, 所述步骤1包括:

步骤1.1: 基于情绪效价由高到低的顺序, 分别选择IAPS图片库中三个不同情绪效价下的M幅图片, 同一情绪效价对应同一类别的图片, 所述类别包括正性图片、中性图片和负性图片, 且每类图片的情绪唤醒度不同;

步骤1.2: 随机从除步骤1.1所述图片外的IAPS图片库中选择M幅图片;

步骤1.3: 对步骤1.2中所述幅张图片进行两次相位随机化处理, 得到 $2*M$ 幅相位随机图片; 所述相位随机图片与步骤1.1中选择的图片共同构成实验刺激图片, 所有实验刺激图片共同构成实验刺激图片库;

步骤1.4: 调整所述实验刺激图片的亮度, 使不同情绪效价下的实验刺激图片的亮度一致;

步骤1.5: 将步骤1.4中调整后的实验刺激图片进行排列, 使第一副实验刺激图片为相位随机图片, 形成数据段, 不同的数据段, 实验刺激图片的排列顺序不同, 每个数据段包含实验刺激图片的数量不大于 $5*M$;

步骤1.6: 每个数据段内的实验刺激图片以相同频率进行闪现, 且随机产生所述实验刺激图片的变换时间点, 所述变换时间点包括早期时间窗、中期时间窗和晚期时间窗, 其中早期时间窗和晚期时间窗内出现的数据段为捕获段, 所述捕获段内的实验刺激图片从IAPS图片库中除实验刺激图片库的图片外任意选取;

步骤1.7: 将数据段进行排列, 使同一图片不在连续的三个数据段内同时出现, 且同一图片在所有排列后的数据段内随机出现两次;

步骤1.8: 将所有排列后的数据段进行分块, 完成实验范式的构建;

步骤1.9: 通过所述实验范式对不同被试进行测试, 获取不同被试不同实验刺激图片刺激下的情绪诱发脑电信号, 将所述情绪诱发脑电信号作为情绪诱发脑电信号, 通过情绪诱发脑电信号得到情绪诱发脑电信号样本库。

3. 根据权利要求2所述的基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图构建方法, 其特征在于, 所述步骤2包括:

步骤2.1: 对应每个实验刺激图片提取5250ms内的情绪诱发脑电信号, 将刺激前250ms的情绪诱发脑电信号作为基线信号, 刺激后5000ms的情绪诱发脑电信号用来进行分析处理;

步骤2.2: 将刺激后5000ms的情绪诱发脑电信号减去刺激前250ms的情绪诱发脑电信号的均值, 进行基线校正;

步骤2.3: 将基线校正后的情绪诱发脑电信号分别通过1Hz的高通滤波器和40Hz的低通滤波器, 进行带通滤波处理;

步骤2.4: 对带通滤波处理后的情绪诱发脑电信号进行平均参考处理。

基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法

技术领域

[0001] 本发明涉及脑网络技术领域,尤其涉及基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法。

背景技术

[0002] 情绪作为一种复杂的身体和心理的变化模式,包括生理唤醒、感觉、认知过程、外显的表达以及特殊的行为反应,对人脑的认知功能具有重要的影响。如果没有情绪生活,我们将无法想象会变成怎样,我们将难以与外界交流。情绪已经越来越成为一个重要的研究课题。

[0003] 然而,由于很难定义情绪这种行为,难以对其进行操纵并采用科学方法进行研究,因而至今人们对于情绪的理解还非常有限。直到最近,伴随着认知神经科学的发展,人们对情绪的功能神经解剖学的了解才有了重大进展。杏仁核不再是探究情绪的神经机制的唯一焦点。各种不同的情绪会与除杏仁核外其他的神经结构相关联,包括:背外侧前额叶皮质(dorsal lateral prefrontal cortex,DLPFC)、腹内侧前额叶皮质(ventromedial prefrontal cortex,vmPFC)、眶额皮质(orbitofrontal cortex,OFC)、海马(hippocampus)、扣带前回皮质(anterior cingular cortex,ACC)、脑岛皮质(insular cortex)等。

[0004] 实际上,现有的研究表明:大尺度复杂脑网络是人脑高级认知活动所对应的信息的加工处理以及认知表达的生理基础,脑网络 and 高级认知行为之间存在着很大的相关性,不同的高级认知活动所对应的脑网络在人类个体间也存在着显著性差异。对情绪的认知神经科学研究方法已经不再着眼于独立、分离的神经结构研究,而逐渐转变为对整个神经网络的研究。在认知过程中,信息的加工处理通常是在几十毫秒级别完成,对其相关大脑结构、功能和信息处理机制的分析需要更高且精确的时间分辨率。脑电(electroencephalography,EEG)信号具有和大脑信息加工处理匹配的时间分辨率,因此基于脑电的网络分析更适合于研究情绪加工过程中各脑区间的功能耦合和信息传递处理的动态机制。

[0005] 特别地,稳态视觉诱发电位(steady-state visual evoked potential,SSVEP),由于其信噪比高和频谱稳定等特点,在认知神经科学和神经工程等研究领域,常被用作为一种大脑活动的频率标记手段。SSVEP是当人眼注视6-8Hz或更高频率调制的周期性视觉刺激时,在大脑中所诱发的一种周期性响应。它具有与视觉刺激频率相同的基频及其谐波频率,且与刺激信号保持良好的锁时、锁相特性。SSVEP被认为是大脑初级视觉皮层对外界刺激的一种物理反应,它没有很具体的心理意义,也可能不会触发高级的视觉处理过程。已有的研究证实,枕叶皮层区是SSVEP的主要发生地,但除了枕叶皮层,其它的皮层区域也对SSVEP的产生起着重要的作用。

[0006] 实际上,SSVEP已经成为研究视觉皮质与其他神经结构间的大尺度神经交互活动的一种有用的工具,被广泛应用于情绪、双眼竞争、视觉注意、工作记忆等研究中。尤其是在

情绪脑网络研究方面,已有研究者利用SSVEP频率标记技术对情绪脑电网络和特定情绪状态下的功能连接模式进行了分析。然而,现有的研究大都集中于情绪相关静态脑网络和功能连接的分析,缺少对情绪脑网络动态变化模式的深入探索。

发明内容

[0007] 针对情绪相关脑网络构建上存在的上述不足,本发明设计了一种基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法,在现有情绪研究手段的基础上,利用ERP脑电数据的全局功率得出对应时间窗的SSVEP脑电数据,通过SSVEP脑电数据标记情绪相关脑区,从动态性方面构建情绪脑网络。本发明实现了情绪动态脑网络图的构建。

[0008] 为了实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0009] 基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤1:基于IAPS图片库构建情绪诱发脑电信号样本库,所述情绪诱发脑电信号样本库由多个情绪诱发脑电信号组成;

[0011] 步骤2:对所述情绪诱发脑电信号进行数据预处理;

[0012] 步骤3:提取数据预处理后的情绪诱发脑电信号的ERP和SSVEP脑电信号;

[0013] 步骤4:基于所述ERP和SSVEP脑电信号进行融合,构建情绪动态脑网络图。

[0014] 进一步地,所述步骤1包括:

[0015] 步骤1.1:基于情绪效价由高到低的顺序,分别选择IAPS图片库中三个不同情绪效价下的M幅图片,同一情绪效价对应同一类别的图片,所述类别包括正性图片、中性图片和负性图片,且每类图片的情绪唤醒度不同;

[0016] 步骤1.2:随机从除步骤1.1所述图片外的IAPS图片库中选择M幅图片;

[0017] 步骤1.3:对步骤1.2中所述幅张图片进行两次相位随机化处理,得到 $2 \times M$ 幅相位随机图片;所述相位随机图片与步骤1.1中选择的图片共同构成实验刺激图片,所有实验刺激图片共同构成实验刺激图片库;

[0018] 步骤1.4:调整所述实验刺激图片的亮度,使不同情绪效价下的实验刺激图片的亮度一致;

[0019] 步骤1.5:将步骤1.4中调整后的实验刺激图片进行排列,使第一副实验刺激图片为相位随机图片,形成数据段,不同的数据段,实验刺激图片的排列顺序不同,每个数据段包含实验刺激图片的数量不大于 $5 \times M$;

[0020] 步骤1.6:每个数据段内的实验刺激图片以相同频率进行闪现,且随机产生所述实验刺激图片的变换时间点,所述变换时间点包括早期时间窗、中期时间窗和晚期时间窗,其中早期时间窗和晚期时间窗内出现的数据段为捕获段,所述捕获段内的实验刺激图片从IAPS图片库中除实验刺激图片库的图片外任意选取;

[0021] 步骤1.7:将数据段进行排列,使同一图片不在连续的两个数据段内同时出现,且同一图片在所有排列后的数据段内随机出现两次;

[0022] 步骤1.8:将所有排列后的数据段进行分块,完成实验范式的构建;

[0023] 步骤1.9:通过所述实验范式对不同被试进行测试,获取不同被试不同实验刺激图片刺激下的情绪诱发脑电信号,将所述情绪诱发脑电信号作为情绪诱发脑电信号,通过情绪诱发脑电信号得到情绪诱发脑电信号样本库。

[0024] 进一步地,所述步骤2包括:

[0025] 步骤2.1:对应每个实验刺激图片提取5250ms内的情绪诱发脑电信号,将刺激前250ms的情绪诱发脑电信号作为基线信号,刺激后5000ms的情绪诱发脑电信号用来进行分析处理;

[0026] 步骤2.2:将刺激后5000ms的情绪诱发脑电信号减去刺激前250ms的情绪诱发脑电信号的均值,进行基线校正;

[0027] 步骤2.3:将基线校正后的情绪诱发脑电信号分别通过1Hz的高通滤波器和40Hz的低通滤波器,进行带通滤波处理;

[0028] 步骤2.4:对带通滤波处理后的情绪诱发脑电信号进行平均参考处理。

[0029] 进一步地,所述步骤3包括:

[0030] 步骤3.1:将同一被试的不同情绪效价的实验刺激图片刺激下的预处理后的情绪诱发脑电信号分别进行叠加平均,得出不同情绪效价的实验刺激图片对应的ERP脑电信号,求取ERP脑电信号的全局功率;

[0031] 步骤3.2:对前5000ms的情绪诱发脑电信号计算傅里叶变换的系数,求得实验刺激图片对应闪现频率处的幅度,对情绪诱发脑电信号加汉明窗进行短时傅里叶变换,通过ERP脑电信号的全局功率得出各类情绪幅值差异最大的时间窗,在相应时间窗内提取傅里叶变换后的所述闪现频率处的SSVEP脑电信号。

[0032] 进一步地,所述步骤4包括:

[0033] 步骤4.1:依据国际标准的10-20系统,根据ERP与SSVEP脑电信号,确定能够覆盖全脑的相关电极,将所述相关电极作为情绪动态脑网络的节点;

[0034] 步骤4.2:对于每一个被试,对经过数据预处理后的所有情绪诱发脑电信号使用自适应定向传递函数方法进行动态脑网络图的构建;

[0035] 步骤4.3:将所有数据段的动态脑网络图进行叠加平均,得到所有被试对应的情绪动态脑网络图。

[0036] 进一步地,所述自适应定向传递函数方法包括:

[0037] 对于每个数据预处理后的情绪诱发脑电信号,通过公式(1)估计时变的多变量自回归模型:

$$[0038] \quad X(t) = \sum_{i=1}^p A(i, t) X(t-i) + E(t) \quad (1)$$

[0039] 其中, $X(t)$ 表示估计的 t 时刻的数据预处理后的情绪诱发脑电信号, $X(t-i)$ 表示第 i 个节点在 $t-i$ 时间窗内的数据预处理后的情绪诱发脑电信号, p 表示情绪动态脑网络中的节点数目, $A(i, t)$ 表示的是利用Kalman滤波方法估计出的 t 时刻的多变量自回归模型的模型系数, $E(t)$ 表示的是 t 时刻数据预处理后的情绪诱发脑电信号中的白噪声;

[0040] 通过 $A(i, t)$ 得到 t 时刻的多变量自回归模型的模型系数矩阵 $A_i(t)$, 将 $A_i(t)$ 经过短时傅里叶变换得到 $A(i, t)$ 在频域内的变换 $A(f, t)$, $A(f, t) = \sum_{i=1}^p A_i(t) e^{-j2\pi f \Delta t i}$, 通过自适应定向传递函数确定多变量自回归模型在频域的短时傅里叶变换 $H(f, t)$, $H(f, t)$ 中的每一个元素 H_{ij} 表示在 t 时刻脑网络内部从节点 j 流向节点 i 的有向信息流, 自适应定向传递函数为:

$$[0041] \quad A(f, t) X(f, t) = E(f, t) \quad (2)$$

[0042] $X(f, t) = A^{-1}(f, t) E(f, t) = H(f, t) E(f, t)$ (3)

[0043] 其中, $X(f, t)$ 和 $E(f, t)$ 是 $X(t)$ 和其对应的白噪声 $E(t)$ 在各自频域内的短时傅里叶变换;

[0044] 通过 $H(f, t)$ 得出情绪动态脑网络图。

[0045] 与现有技术相比, 本发明具有的有益效果:

[0046] 本发明设计了一种基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法, 在现有情绪研究手段的基础上, 利用ERP脑电数据的全局功率得出对应时间窗的SSVEP脑电数据, 通过SSVEP脑电数据标记情绪相关脑区, 从动态性方面构建情绪脑网络, 实现了情绪动态脑网络图的构建。

[0047] 本发明将信息技术与认知科学基础研究相结合, 实现对情绪加工神经机制的深入理解, 将会为认知神经科学、神经工程等诸多领域提供借鉴, 促进情绪智能感知在人工智能等方面应用的发展。

附图说明

[0048] 图1为本发明实施例的一种基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法的基本流程图。

[0049] 图2为本发明实施例的情绪诱发实验范式示意图。

[0050] 图3为本发明实施例的SAM情绪量表示意图。

[0051] 图4为本发明实施例30名被试叠加平均1200ms的ERP全局功率图。

[0052] 图5为本发明实施例30名被试叠加平均2000ms的ERP全局功率图。

[0053] 图6为本发明实施例四个时间窗内正性图片、中性图片、负性图片条件下30名被试平均ERP脑地形图。

[0054] 图7为本发明实施例四个时间窗内正性图片、中性图片、负性图片条件下30名被试平均SSVEP脑地形图。

[0055] 图8为本发明实施例10-20系统64导电极安放位置。

[0056] 图9为本发明实施例 $t = 0.1875s$ 时正性图片、中性图片、负性图片对应情绪动态脑网络图。

具体实施方式

[0057] 下面结合附图和具体的实施例对本发明做进一步的解释说明:

[0058] 如图1所示, 本发明的一种基于SSVEP与ERP融合的情绪动态脑网络图的构建方法, 包括以下步骤:

[0059] 步骤S101: 基于IAPS图片库构建情绪诱发脑电信号样本库, 所述情绪诱发脑电信号样本库由多个情绪诱发脑电信号组成;

[0060] 所述步骤S101包括:

[0061] 步骤S101.1: 基于情绪效价由高到低的顺序, 分别选择IAPS图片库中三个不同情绪效价下的M幅图片, 同一情绪效价对应同一类别的图片, 所述类别包括正性图片、中性图片和负性图片, 且每类图片的情绪唤醒度不同;

[0062] 步骤S101.2: 随机从除步骤S101.1所述图片外的IAPS图片库中选择M幅图片;

[0063] 步骤S101.3:对步骤S101.2中所述幅张图片进行两次相位随机化处理,得到 $2 \times M$ 幅相位随机图片;所述相位随机图片与步骤S101.1中选择的图片共同构成实验刺激图片,所有实验刺激图片共同构成实验刺激图片库;

[0064] 步骤S101.4:调整所述实验刺激图片的亮度,使不同情绪效价下的实验刺激图片的亮度一致;

[0065] 步骤S101.5:将步骤S101.4中调整后的实验刺激图片进行排列,使第一副实验刺激图片为相位随机图片,形成数据段,不同的数据段,实验刺激图片的排列顺序不同,每个数据段包含实验刺激图片的数量不大于 $5 \times M$;

[0066] 步骤S101.6:每个数据段内的实验刺激图片以相同频率进行闪现,且随机产生所述实验刺激图片的变换时间点,所述变换时间点包括早期时间窗、中期时间窗和晚期时间窗,其中早期时间窗和晚期时间窗内出现的数据段为捕获段,所述捕获段内的实验刺激图片从IAPS图片库中除实验刺激图片库的图片外任意选取;

[0067] 步骤S101.7:将数据段进行排列,使同一图片不在连续的两个数据段内同时出现,且同一图片在所有排列后的数据段内随机出现两次;

[0068] 步骤S101.8:将所有排列后的数据段进行分块,完成实验范式的构建;

[0069] 步骤S101.9:通过所述实验范式对不同被试进行测试,获取不同被试不同实验刺激图片刺激下的情绪诱发脑电信号,将所述情绪诱发脑电信号作为情绪诱发脑电信号,通过情绪诱发脑电信号得到情绪诱发脑电信号样本库。

[0070] 作为一种可实施方式, M 为20。具体地,基于情绪效价由高到低的顺序,分别选择IAPS图片库中三个不同情绪效价下的20幅图片;其中,正性图片(pleasant)包括10张亲密情侣和10张可爱动物的图片;中性图片(neutral)包括10张人物和10张日常生活场景图片;负性图片(unpleasant)包括10张残缺身体和10张动物威胁图片。每类图片的情绪效价均存在差异(正性:7.37,中性:5.08,负性:2.69),此外情绪唤醒度也各不相同(正性:5.38,中性:3.40,负性6.24)。再随机从IAPS图片库中(不包含上面60张图片)抽取20张图片,对随机抽取的20张图片进行两次相位随机化处理,对应得到 $20 \times 2 = 40$ 张相位随机图片(scrambled);所述相位随机化处理为先进行FFT操作,再将原相位替换为随机值并保持幅度不变,最后进行IFFT操作。相位随机图片与上述选择的正性图片、中性图片和负性图片共同构成实验刺激图片,即实验刺激图片共分为四类:正性图片、中性图片、负性图片和相位随机图片。调整所有实验刺激图片的亮度,保证所有效价类别间实验刺激图片的亮度不存在显著差异。

[0071] 具体地,在每个数据段(trial)中,实验刺激图片都将以10Hz的频率闪现,时长为7000ms,即包含70个开/关的循环,每个循环中实验刺激图片呈现50ms,紧接着黑屏50ms。各数据段之间随机间隔6-8s,并呈现黑底十字注视点。每个数据段的都是以呈现一张相位随机图片开始。在某个时间点,图片将变换为正常图片(正性、中性或负性图片)或者该相位随机图片的另一幅对应的相位随机图片。为避免图片变换时间点固定而引起被试产生实验刺激图片变换时间点相关的实验反应,变换的时间点将随机产生,并分为三类:早期(12%的数据段,相位随机图片刺激呈现后100-600ms),中期(70%的数据段,相位随机图片刺激呈现后800-1300ms)和晚期(18%的数据段,相位随机图片刺激呈现后1500-2000ms)时间窗。包含早期和晚期时间窗的数据段将被视为“捕获段(catch trials)”,不在最终的数据分析

中。对于这些数据段中的图片,将选择IAPS中的其他图片。所有包含在最终分析过程的图片均要随机地出现两次(同一图片不会在连续三个trial中重复出现),因此总共有160个有效实验数据段(每类实验条件40个数据段)和68个“捕获段”,共计228个数据段。228个数据段将分为6个块(block)(每个块包含38个数据段),每个块间有短暂的休息。实验范式具体如图2所示。

[0072] 通过所述实验范式对不同被试进行测试。具体地,被试共有30人,30名被试全部为中国在校大学生,其中男被试20名,女被试10名,年龄19-28之间,平均年龄22.16,年龄标准差4.5,所有被试均为右利手,视力或矫正视力正常。在实验开始前,利用问卷和访谈等方式,通过贝克焦虑量表(BAI),汉米尔顿焦虑量表(HARS),汉米尔顿抑郁量表(HAMD)挑选被试,排除存在焦虑与抑郁的被试,排除精神和生理异常,以及使用镇静药剂和精神类药物的被试。具体地,实验刺激用23英寸电脑显示器呈现,刷新频率60Hz。实验刺激图片呈现在显示器中央,背景为黑色,距离被试80cm,因此水平视角10度,垂直视角7度。具体地,在实验之后,将上述正性图片、中性图片、负性图片(共60张IAPS图片库中图片)再次以随机的顺序呈现给被试,被试使用SAM情绪量表对每张图片从效价和唤醒度进行9级评分,其中情绪效价评价范围为1-9,1表示很不愉快,9表示很愉快,唤醒度评价范围为1-9,1表示很平静,9表示很激动,SAM情绪量表如图3所示。具体地,使用64导的g.tec脑电帽采集不同被试不同实验刺激图片刺激下的62导情绪诱发脑电信号,采样率为512Hz,采集过程中使用设备自带的50Hz陷波器和0.01-100Hz带通滤波器进行在线滤波,脑电帽按照10-20国际标准安放电极位置,电极阻抗均降至10K Ω 以下;通过情绪诱发脑电信号得到情绪诱发脑电信号样本库。

[0073] 具体地,对30名被试评分结果统计分析(情绪唤醒度:正性:3.83/SD:2.21,中性:2.01/SD:1.51,负性:5.83/SD:2.78;情绪效价:正性:7.04/SD:1.35,中性:4.97/SD:0.91,负性:2.35/SD:1.64,SD为标准差)。SAM量表评分在情绪唤醒度和情绪效价两个维度均表现出了图片类别间的显著差异性。利用SPSS19.0进行配对T检验显著性分析;在情绪唤醒度的维度上,正性图片评分相比于中性图片表现出更高的情绪唤醒度, $p<0.05$,负性图片相对于中性图片也表现出更高的情绪唤醒度, $p<0.05$;在情绪效价维度上,正性图片比中性图片表现出更高的情绪效价, $P<0.01$,负性图片也比中性图片表现出更高的情绪效价, $P<0.01$ 。定义正性图片和负性图片为情绪性图片。

[0074] 步骤S102:对所述情绪诱发脑电信号进行数据预处理;

[0075] 具体地,所述步骤S102包括:

[0076] 步骤S102.1:对应每个实验刺激图片提取5250ms内的情绪诱发脑电信号,将刺激前250ms的情绪诱发脑电信号作为基线信号,刺激后5000ms的情绪诱发脑电信号用来进行分析处理;

[0077] 步骤S102.2:将刺激后5000ms的情绪诱发脑电信号减去刺激前250ms的情绪诱发脑电信号的均值,进行基线校正;

[0078] 步骤S102.3:将基线校正后的情绪诱发脑电信号分别通过1Hz的高通滤波器和40Hz的低通滤波器,进行带通滤波处理;

[0079] 步骤S102.4:对带通滤波处理后的情绪诱发脑电信号进行平均参考处理。

[0080] 步骤S103:提取数据预处理后的情绪诱发脑电信号的ERP和SSVEP脑电信号;

[0081] 具体地,所述步骤S103包括:

[0082] 步骤S103.1:将同一被试的不同情绪效价的实验刺激图片刺激下的预处理后的情绪诱发脑电信号分别进行叠加平均,得出不同情绪效价的实验刺激图片对应的ERP脑电信号,求取ERP脑电信号的全局功率(Global Power),从而得到ERP脑电信号的全局功率图,截取前1200ms的ERP脑电信号的全局功率图进行处理,如图4所示,其中横坐标表示时间,单位为ms,纵坐标表示幅值的平方,单位为 μV^2 ;

[0083] 具体地,图5为30名被试叠加平均2000ms的ERP全局功率图,由图5可知情绪效应在1200ms后已经变化不再显著,因此仅截取前1200ms的ERP脑电信号的全局功率图,在图4中仅画出前1200ms的四种刺激条件(正性图片、中性图片、负性图片、相位随机图片)的波形图。由图4可以看出P2(210-250ms)、P3(275-345ms)和Late P3(365-450ms)(LP3),Slow Wave(500-670ms)(SW)四个时间窗内含有较多的ERP峰值,因此选定这四个时间窗提取SSVEP脑电信号。

[0084] 步骤S103.2:对前5000ms的情绪诱发脑电信号计算傅里叶变换的系数,求得实验刺激图片对应闪现频率处的幅度,对情绪诱发脑电信号加汉明窗进行短时傅里叶变换,通过ERP脑电信号的全局功率得出各类情绪幅值差异最大的时间窗,在相应时间窗内提取傅里叶变换后的所述闪现频率处的SSVEP脑电信号。

[0085] 具体地,SSVEP脑电信号的幅度是基于短时傅里叶变换(STFT)的方法,对5000ms的情绪诱发脑电信号计算傅里叶变换的系数,求得10hz情绪诱发脑电信号的幅度,对情绪诱发脑电信号加汉明窗进行短时傅里叶变换,窗长128点,信号采样频率512hz,时间分辨率0.25s,一个刺激周期约为52个点(1/10s),窗长大于一个周期可以得到信号完整的频谱,窗每次向前滑动1个点,滑动后再计算出一个对应的傅里叶系数,每秒得到512个傅里叶系数,直到将5s长的数据计算完毕。提取傅里叶变换后的对应的10Hz频率的SSVEP脑电信号,最后5s长的数据得到4750ms的SSVEP脑电信号(128点为250ms,由于加窗的原因信号长度减少了250ms)。

[0086] 将SSVEP脑电信号进行标准化处理。相位随机图片对应的信号作为参考信号,62导中性SSVEP脑电信号在时间轴上取均值得到62个值,再将62个值取平均得到一个标准化因子NF(normalization factor),将正性、中性、负性图片的每一导联的SSVEP脑电信号的幅度除以标准化因子NF,进行标准化。

[0087] 步骤S104:基于所述ERP和SSVEP脑电信号进行融合,构建情绪动态脑网络图。

[0088] 具体地,所述步骤S104包括:

[0089] 步骤S104.1:依据国际标准的10-20系统,根据ERP与SSVEP脑电信号,确定能够覆盖全脑的相关电极;

[0090] 通过步骤S103.1四个时间窗内的ERP全局功率得出四个时间窗内的ERP地形图,如图6所示。由图6可知P2时段内情绪效应主要发生在顶区和枕区,在P3时段内顶区情绪性图片(正性图片或负性图片)的ERP脑电信号的幅值大于中性图片的ERP脑电信号的幅值,而在颞区和枕区,中性图片的ERP脑电信号的幅值大于情绪性图片的ERP脑电信号的幅值。在Late P3时段,前额区的情绪性图片的ERP脑电信号的幅值小于中性图片的ERP脑电信号的幅值,颞叶的情绪性图片的ERP脑电信号的幅值大于中性图片的ERP脑电信号的幅值。在SW时段,前额区的情绪性图片的ERP脑电信号的幅值小于中性图片的ERP脑电信号的幅值,左侧枕区和颞区情绪性图片的ERP脑电信号的幅值大于中性图片的ERP脑电信号的幅值。

[0091] 将同一类型图片对应的SSVEP脑电信号进行叠加平均,根据ERP脑电信号的全局功率图中各类情绪幅值差异最大的四个时间窗(P2、P3、LP3及SW)内的SSVEP脑电信号得出所有导联SSVEP脑电信号的脑电地形图(SSPT)。将情绪性图片和中性图片的SSVEP脑电信号分别减去相位随机图片对应的SSVEP脑电信号,得出差值SSVEP脑电信号的脑地形图,如图7所示。由图7可知,随着时间的变化,情绪性图片脑区激活趋势为从前往后和从右往左,而中性图片对应地形图激活趋势为从后往前和从左往右,即中性图片对应地形图先激活枕部而情绪性图片先激活额区,可解释为情绪效应与前额区域较为相关,而中性条件下更多是视觉任务,与枕区较为相关。在SW时段,三种图片对应的SSVEP幅度在枕区均为负值。这些变化趋势可为以后的脑网络分析中的网络信息流向做对比。

[0092] 具体地,为了探究图片内容在各个脑区对于SSVEP幅度的影响,将全脑分为八个脑区,左前额(AF3,F1,F3,F5,F7,Fpz,AF7),右前额(Fp2,AF4,F2,F4,F6,F8,AF8),左颞(FT7,FC5,T7,C5,TP7,CP5),右颞(FC6,FT8,C6,T8,CP6,TP8),左顶(FC3,FC1,C3,C1,CP3,CP1),右顶(FC2,FC4,C2,C4,CP4,CP2),左枕(P7,P5,P3,P1,Po7,Po3,O1),右枕(P2,P4,P6,P8,Po4,Po8,Oz),根据图4得到大概的四个时间窗,P2(210-250ms)、P3(275-345ms)、late P3(365-450ms)和slow wave(500-670ms)(SW),将各时间窗内的数据求取均值,依据国际标准的10-20系统64导电极安放位置,如图8所示,进行配对T检验,其中AF3、F1、Fpz、FT7、FC5、T7、C5、TP7、CP5、P7、O2、Fpz、Fz等为电极。

[0093] 在P2(210-250ms)时段内,左顶区域表现出显著的图片内容的影响,正性图片和负性图片,正性图片和中性图片均有显著差异,分别为 $p=0.01<0.05$, $p=0.017<0.05$ 。此外在枕区(左枕、右枕)也表现出强烈的图片内容的差异,在左枕区域正性图片、负性图片显著值为 $p=0.026<0.05$,正性图片和中性图片显著值为 $p=0<0.001$,右枕区域正性图片和负性图片,正性图片和中性图片均有显著差异 $p=0<0.001$ 。

[0094] 在P3(275-345ms)时段内,正性图片和中性图片在左右颞叶、左枕区均表现出显著差异,在左颞叶 $p=0.045<0.05$,右颞叶 $p=0.034<0.05$,左枕 $p=0.002<0.05$,负性图片和中性图片在左枕表现出显著差异, $p=0.024<0.05$ 。

[0095] 情绪效应在Late P3(365-450ms)时段表现出较大的影响。正性图片、负性图片,正性图片、中性图片在左前额区域均表现出显著差异, $p=0<0.001$, $p=0.038<0.05$ 。右前额区域正性图片和中性图片显著差异为 $p=0.004<0.05$;右颞区域正性图片和负性图片,正性图片和中性图片均表现出显著的差异性, p 值分别为 $p=0.037<0.05$, $p=0.022<0.05$ 。在左枕区正性图片和中性图片,负性图片和中性图片均表现出显著差异, $p=0<0.001$, $p=0.008<0.05$ 。正性图片和中性图片,负性图片和中性图片在左枕区同样均表现出显著差异, $p=0.029<0.05$, $p=0.001<0.05$ 。

[0096] 在SW(500-670ms),情绪效应的影响主要表现在额区,在左前额区域正性图片和负性图片表现出显著差异 $p=0.032<0.05$,右前额区域正性图片与负性图片,正性图片与中性图片均表现出显著差异, $p=0.035<0.05$, $p=0.046<0.05$ 。

[0097] 综合上述分析结果可知,在图片呈现的前期(P2,P3时段)情绪效应主要发生在枕区和顶区以及部分颞区,而在情绪效应后期(LP3,SW)差异主要呈现在枕区和前额区以及部分颞区。这说明枕的SSVEP幅值与情绪效应关系最为密切,其次顶区,颞区和前额区都和情绪效应有密切关系。故本实施例选择共21个电极为覆盖全脑的相关电极,分别为Fpz、AF7、

AF4、F7、F3、FT8、FT7、FC3、C3、C4、TP7、CP1、CP2、CP4、TP8、P5、P1、P6、Po7、Po8及Oz,将所述相关电极作为情绪动态脑网络的节点。

[0098] 步骤S104.2:对于每一个被试,对经过数据预处理后的所有情绪诱发脑电信号使用自适应定向传递函数方法进行动态脑网络图的构建;

[0099] 具体地,所述自适应定向传递函数方法包括:

[0100] 对于每个数据预处理后的情绪诱发脑电信号,通过公式(1)估计时变的多变量自回归模型:

$$[0101] \quad X(t) = \sum_{i=1}^p A(i, t) X(t-i) + E(t) \quad (1)$$

[0102] 其中, $X(t)$ 表示估计的 t 时刻的数据预处理后的情绪诱发脑电信号, $X(t-i)$ 表示第 i 个节点在 $t-i$ 时间窗内的数据预处理后的情绪诱发脑电信号; p 表示情绪动态脑网络中的节点数目,具体地,本实施例中 p 为21; $A(i, t)$ 表示的是利用Kalman滤波方法估计出的 t 时刻的多变量自回归模型的模型系数, $E(t)$ 表示的是 t 时刻数据预处理后的情绪诱发脑电信号中的白噪声;

[0103] 通过 $A(i, t)$ 得到 t 时刻的多变量自回归模型的模型系数矩阵 $A_i(t)$,将 $A_i(t)$ 经过短时傅里叶变换得到 $A(i, t)$ 在频域内的变换 $A(f, t)$, $A(f, t) = \sum_{i=1}^p A_i(t) e^{-j2\pi f \Delta t}$,通过自适应定向传递函数确定多变量自回归模型在频域的短时傅里叶变换 $H(f, t)$, $H(f, t)$ 中的每一个元素 H_{ij} 表示在 t 时刻脑网络内部从节点 j 流向节点 i 的有向信息流,自适应定向传递函数为:

$$[0104] \quad A(f, t) X(f, t) = E(f, t) \quad (2)$$

$$[0105] \quad X(f, t) = A^{-1}(f, t) E(f, t) = H(f, t) E(f, t) \quad (3)$$

[0106] 其中, $X(f, t)$ 和 $E(f, t)$ 是 $X(t)$ 和其对应的白噪声 $E(t)$ 在各自频域内的短时傅里叶变换;

[0107] 通过 $H(f, t)$ 得出情绪动态脑网络图。

[0108] 步骤S104.3:将所有数据段的动态脑网络图进行叠加平均,得到所有被试对应的最终的情绪动态脑网络图。

[0109] 通过步骤S104.1至步骤S104.3得到了在不同情绪状态的脑网络图,即情绪动态脑网络图,如图9所示,为 $t=0.1875s$ 时正性图片、负性图片、中性图片对应的情绪动态脑网络图。由图9可知情绪性图片(正性图片、负性图片)刺激下的网络信息流向为从左前额流向左颞叶和枕区,而中性图片刺激下的网络信息流的左右脑区的交互作用显著,即情绪在网络流向中存在偏侧左侧化效应,且前额区、颞区、枕区在情绪效应中发挥重要作用。

[0110] 以上所示仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

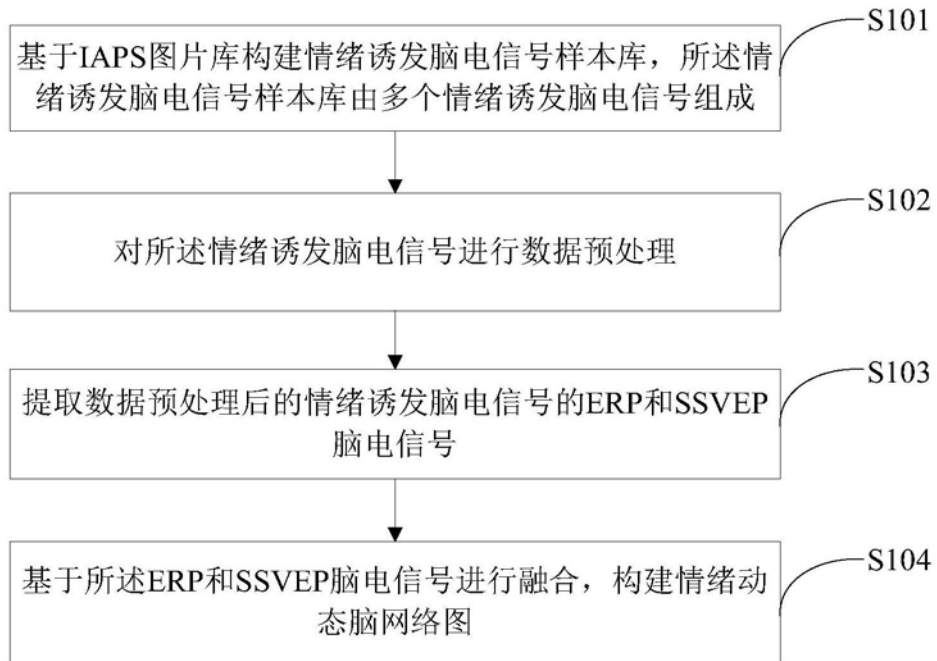


图1

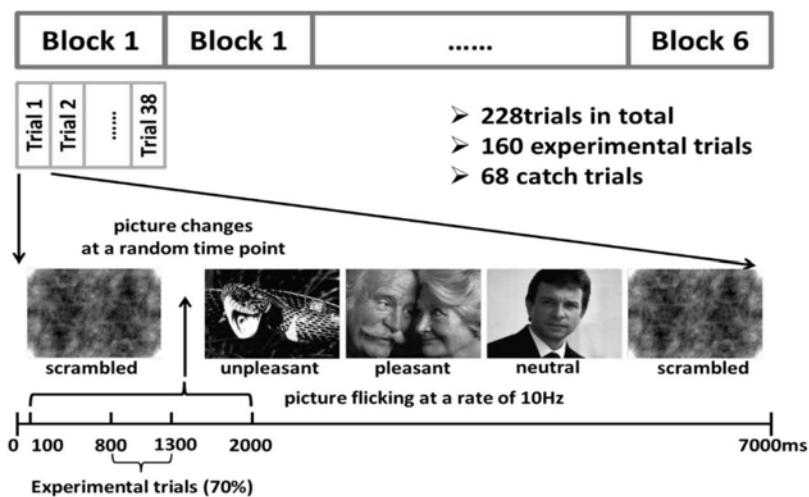


图2

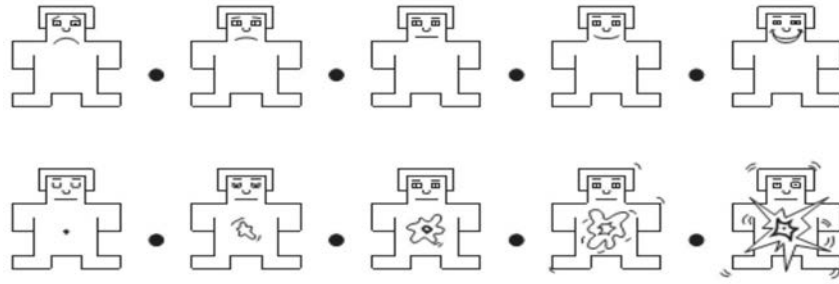


图3

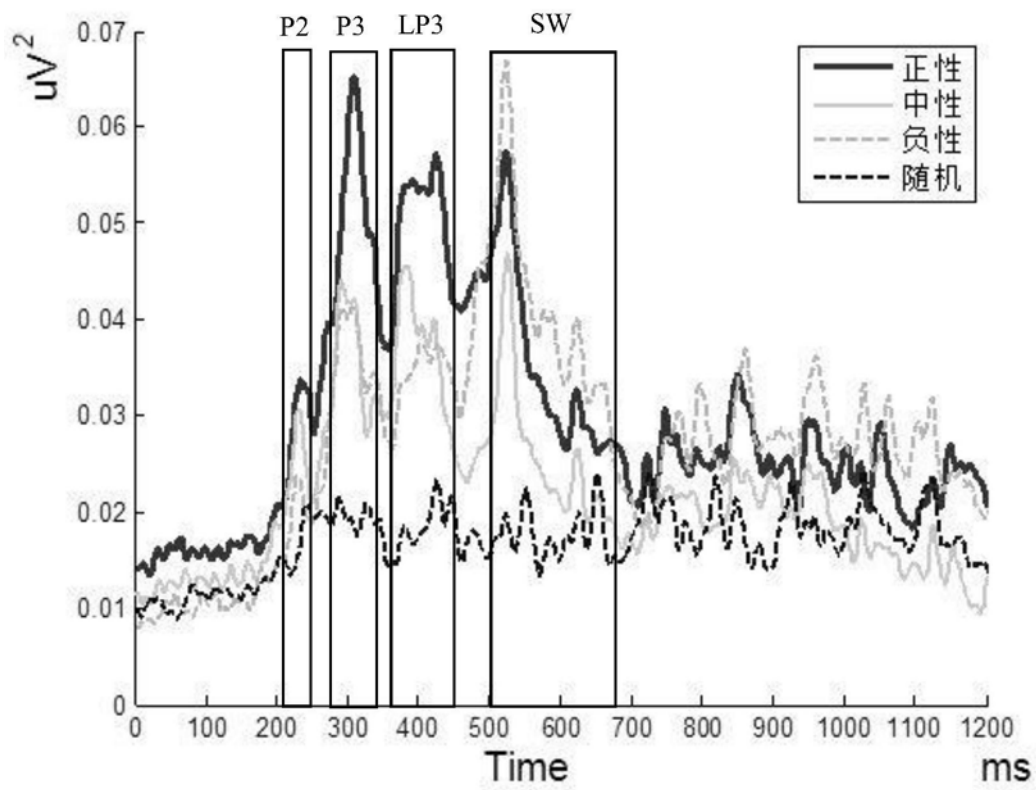


图4

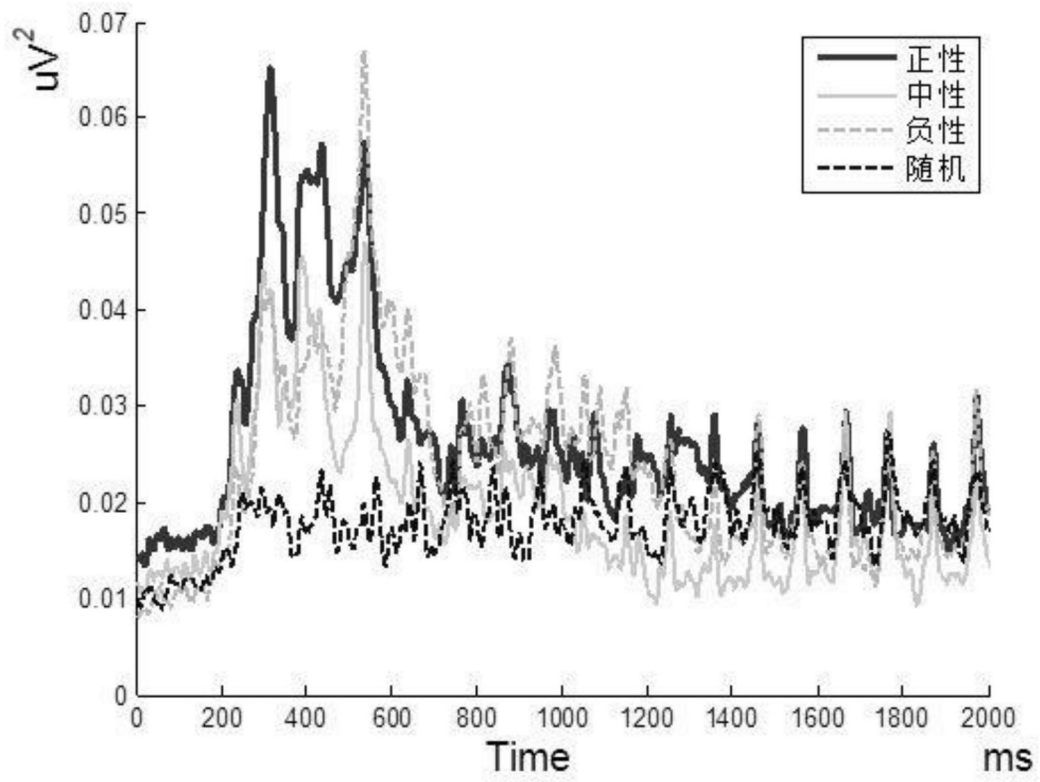


图5

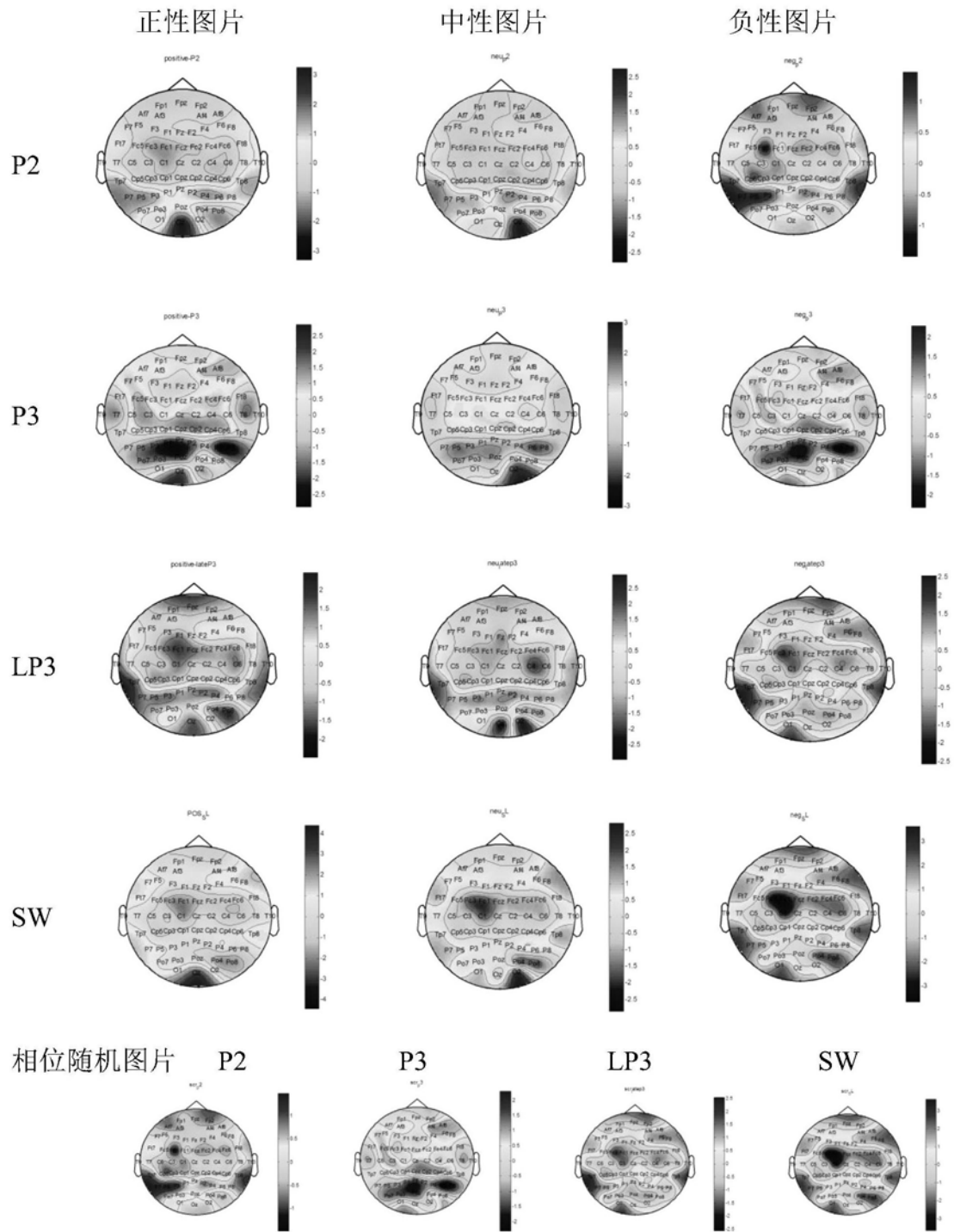


图6

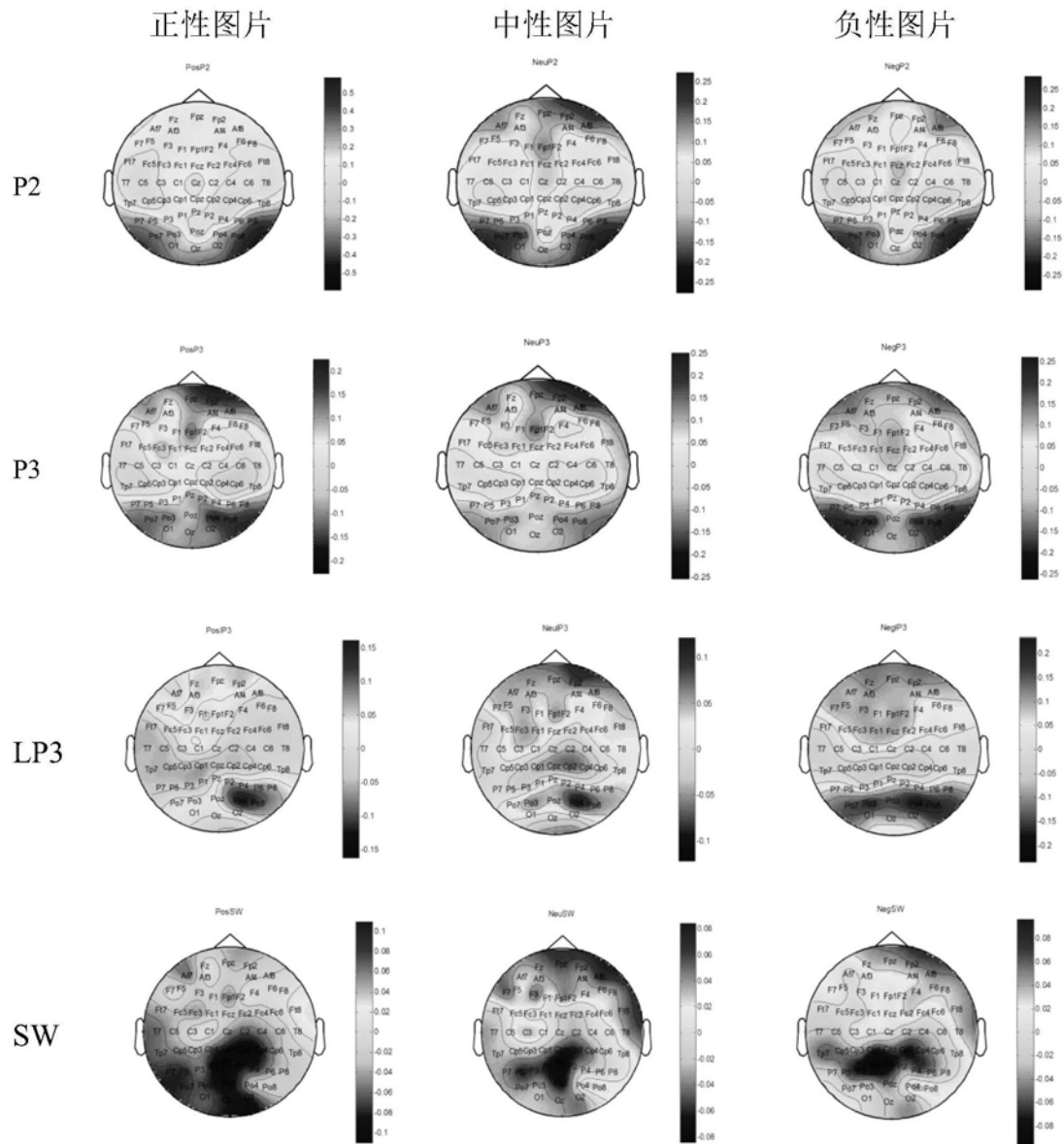


图7

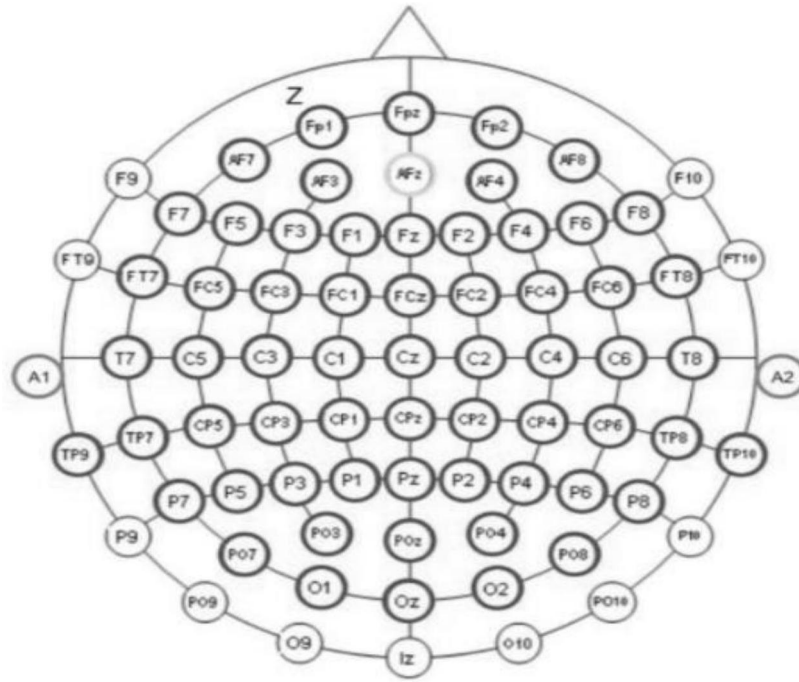


图8

正性图片

中性图片

负性图片

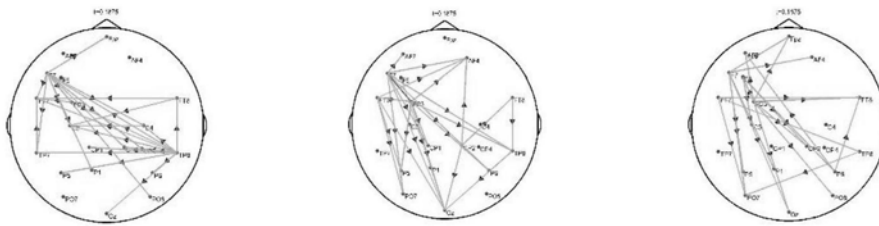


图9