



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110859614 A

(43)申请公布日 2020.03.06

(21)申请号 201911155264.3

(22)申请日 2019.11.22

(71)申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72)发明人 王海贤 王清赞 蒋祥

(74)专利代理机构 南京众联专利代理有限公司
32206

代理人 李雪萍

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

G06K 9/62(2006.01)

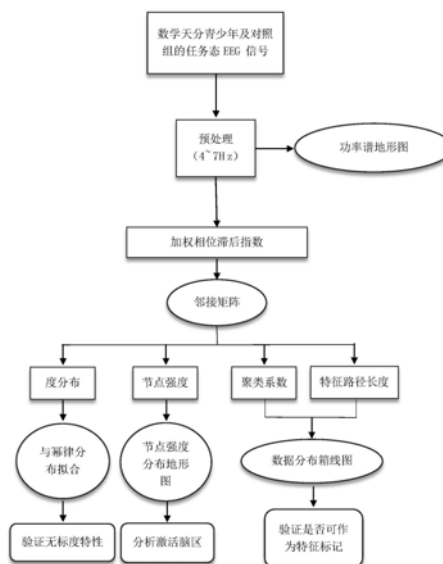
权利要求书3页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法:基于任务态EEG信号,采用基于加权相位滞后指数的算法,构建相位同步性网络,并转化成功能连接性网络。进而利用图论指标对连接网络进行度量,刻画数学天分青少年的连接网络特征,包括活跃脑区、图论指标。与现有技术相比,本发明中提供的方法有如下优势:基于任务态EEG信号刻画数学超常青少年的连接网络特征,采用加权相位滞后指数,构建相位同步性网络,并转化成功能连接性网络。这降低了在容积传导的噪声源间相位差为零时检测到“假阳性”的概率,并且增加了检测相位同步的灵敏度。



1. 基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法, 其特征在于: 包括以下步骤:

步骤一、采集数学天分青少年及对照组的任务态头皮EEG信号;

步骤二、根据数学天分被试和普通被试在演绎推理过程中所有电极功率变化的时频图, 分析数学天分被试和普通被试在 θ 频带的功率变化, 计算出数学天分被试和普通被试 $f_m\theta$ 功率谱密度组间统计差异;

步骤三、将头皮EEG信号转换成皮质偶极子源信号, 计算 θ 频带皮质偶极子源信号之间的加权相位滞后指数, 构建相位同步性网络, 并转化成功能连接性网络, 计算出相应的图论度量值;

步骤四、根据图论度量值, 分析两组被试网络功能整合的差异性。

2. 根据权利要求1所述的基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法, 其特征在于: 所述步骤一的具体方法是: 按照数学天分的选取标准, 选取20个数学天分的青少年, 作为实验组; 选取年龄分布相似的18个普通青少年, 作为对照组; 采用国际10-20标准, 采集两组共38个青少年健康被试在进行演绎推理任务时的EEG信号, 用于后续的对比分析。

3. 根据权利要求1所述的基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法, 其特征在于: 所述步骤二的具体方法是: 对EEG信号进行预处理, 去除噪声和伪迹干扰, 计算数学天分被试和普通被试 $f_m\theta$ 功率谱密度组间统计差异。

4. 根据权利要求1所述的基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法, 其特征在于: 所述步骤三的具体方法是: 对采集到的EEG信号进行脑电溯源, 采用加权相位滞后指数计算皮质偶极子源信号间相位同步的连接性, 计算得到功能连接矩阵后, 接着皮质偶极子源信号的顶点抽象为节点, 有效的功能连接性作为边, 构建脑功能连接性网络。

5. 根据权利要求1所述的基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法, 其特征在于: 所述步骤四的具体方法是: 采用ANOVA方法, 检验数学天分组和对照组功能网络的图论度量指标是否存在显著差异; 检验了不同被试组间节点中介中心性是否有显著性差异。

6. 根据权利要求4所述的基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法, 其特征在于: 所述步骤三的具体方法是: 基于加权滞后指数对 θ 频带皮质源信号构建功能连接网络的分析方法, 包括以下步骤:

(1) 计算时间序列任意两节点间的相位同步性, 得到的功能连接矩阵; 该矩阵为对称矩阵, 其中每一个矩阵元素代表对应节点信号同步性的强弱; 基于加权相位滞后指数的算法公式为:

$$WPLI_{x,y}(\omega) = \frac{|\langle l_1 l_2 \sin(\Delta\theta) | \text{sgn}(\sin(\Delta\theta)) \rangle|}{\langle |l_1 l_2 \sin(\Delta\theta)| \rangle}$$

其中, x 和 y 分别为两个通道的脑电信号的时间序列, ω 代表特定频率, 脑电信号的瞬时相位可通过希尔伯特变换[45, 46]获得, $\Delta\theta$ 为瞬时相位差, 表示为符号函数; l_1, l_2 分别表示信号 x 和 y 经过希尔伯特变换后的幅值;

(2) 选定某一阈值, 对连接矩阵二值化处理; 节点间PLV高于阈值则表示节点间有连接,

反之则无连接,以此得到邻接矩阵;阈值的选择与功能性网络的连接密度相关,它们之间的关系如下:

$$0 \leq p \leq 1 = \frac{\varepsilon_t}{N(N-1)}$$

其中阈值为 t 是网络保留的连接边数量,是 N 个节点网络连接边的最大数量;WPLI矩阵使用的固定阈值是根据根据Erdős-Rényi模型,连接密度的计算公式如下:

$$p = \frac{2 \ln N}{N}$$

(3) 生成和该二元网络具有相同特性的随机网络,包括相同的节点数、边数和相同的度分布,计算网络参数。

7. 根据权利要求6所述的基于加权相位滞后指数的数学青少年脑网络分析方法,其特征在于:所述步骤三中计算图论度量值的具体方法为:根据复杂脑网络理论, N 是网络节点的集合, (i, j) 代表节点 i 与节点 j 之间的连接关系,在格兰杰因果网络的基础上,计算下列图论度量值:

(1) 节点度:度表示为节点 i 在网络中与其他节点相连的连接边的数量;

$$S_i = \sum_{j \in N} a_{ij}$$

(2) 节点中介中心性:节点中介中心性表示为网络中两两节点间必通过节点 i 的最短路径条数的总和;其中,最短路径的选择运用狄克斯特拉算法。

$$C_i = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{\substack{q, j \in N \\ q \neq j, q \neq i, j \neq i}} \frac{k_{qj}(i)}{k_{qj}}$$

式中 k_{qj} 网络内两个节点 q 和 j 之间最短路径的数量, $k_{qj}(i)$ 指的是 q 和 j 之间必须经过节点 i 的最短路径数;

(3) 节点聚类系数:节点 i 的聚类系数指的是围绕着 i 的邻居节点之间相互存在的连接边数量和理论上它们之间可能具有的最多连接边数量所成的比;

$$J_i = \frac{2t_i}{S_i(S_i - 1)}$$

式中 t_i 是节点 i 的相邻节点中每三个节点构成的连接三角形的数量;

(4) 特征路径长度:对于全局网络,特征路径长度指的是网络中从一个节点到另一个节点之间所经过的平均最少数量的连接边;特征路径长度的计算公式为:

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} L_i = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j \in N, j \neq i} m_{ij}}{n-1}$$

其中 L_i 表示节点 i 和网络中其它节点的平均距离, m_{ij} 表示节点 i 和 j 之间的最短路径;

(5) 全局效能:网络全局效能与网络的特征路径长度相关;

$$G = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} E_i = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j \in N, j \neq i} m_{ij}^{-1}}{n-1}$$

将数学天分组与对照组的聚类系数和特征路径长度进行比较,分析是否有显著差异,若有显著差异,则可作为数学天分青少年脑功能连接网络的特征标记。

基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法

技术领域

[0001] 本发明属于计算神经科学领域,具体来说,涉及基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法。在假设检验的框架下构造基于加权滞后指数对 θ 频带皮质源信号构建功能连接网络,计算出相应的图论度量值,研究分析两组被试网络功能整合的差异性。

背景技术

[0002] 随着生活水平的提高,人们不仅开始注重舒适的物质生活,也越来越重视文化与教育水平。在我国,越来越多的孩子在各领域被发掘出来,表现出他们杰出的能力。这样一类具有超出常人水平的儿童,被称为“天分青少年”。天分青少年是指在智力或者某些能力上具有超过常态的个体。基于此,在数学领域具有超出常模能力的青少年,称为“数学天分青少年”。数学作为各种研究进行的基础性工具,它的发展水平会影响各个领域的研究与进步。在这种情况下,对于数学天分青少年神经机制的研究,对帮助我们在大脑基础科学和科学教育的提升起着至关重要的作用。

[0003] 人脑可以看作一个复杂网络,具有很高的“小世界”拓扑属性。不同功能区相互作用、相互协调,共同完成复杂的认知功能。因此,研究脑连接网络中的相互作用非常重要。连接网络可分为三种:(1)结构性网络(structure network),由神经元突触之间的电连接或化学连接构成,这种网络一般通过实体解剖或通过核磁影像方法来确定;(2)功能性网络(functional network),描述皮层神经网络各节点之间的统计性连接关系,这种网络的构建可基于EEG、MEG、fMRI等信号,由相位同步分析、互相关等算法完成;(3)效用性网络(effective network),描述皮层神经网络各节点之间的相互影响或信息流向。

[0004] 对于脑功能网络的连接分析,相位同步(phase synchronization,PS)是神经元群集间相互作用的重要表现。若两神经信号序列的相位具有同步性,即相位同时增加同时减小,则这两个节点间的相关性很强。文献中发展了一些相位同步指标,代表性的有谱相干(spectral coherence,SC)、锁相值(phase locking value,PLV)、相位滞后指标(phase lag index,PLI)。但它们都存在一些不足和弊端,如:SC只能度量信号间的线性相干;PLV会严重受到容积传导的影响;PLI虽然能够避免容积传导效应,但容易受到微小扰动的影响。针对这些问题,近年来文献中发展了一种新的相位同步度量算法,加权相位滞后指数(weighted phase lag index,WPLI),WPLI在PLI的基础上进行加权操作,从而达到降低微小相位差的影响。

[0005] 在演绎推理任务过程中,分析数学天分被试和普通被试在频带的功率变化,计算出数学天分被试和普通被试 $f_{m\theta}$ 功率谱密度组间统计差异。接着在 θ 频带皮质源信号基础上,进行加权相位滞后指数计算,构建相位同步性网络。在此基础上运用复杂图论,从网络的全局拓扑结构和节点水平上,分析 θ 频带脑网络功能连接性的被试组间差异。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是：为了克服现有技术中存在的不足，本发明提供基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法。所提供的基于加权滞后指数对 θ 频带皮质源信号构建功能连接网络的分析方法，获取的连接网络特征简便、普适；降低微小相位差的影响以及连接网络分析中的不确定因素。

[0007] 本发明解决其技术问题的解决方案是：基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法，包括以下步骤：步骤一、采集数学天分青少年及对照组的任务态头皮EEG信号；步骤二、根据数学天分被试和普通被试在演绎推理过程中所有电极功率变化的时频图，分析数学天分被试和普通被试在 θ 频带的功率变化；步骤三、计算 θ 频带皮质偶极子源信号之间的加权相位滞后指数，构建相位同步性网络，并转化成功能连接性网络，计算出相应的图论度量值；步骤四、从网络的特征路径长度、全局效能、节点的中介中心性等度量值，研究分析两组被试网络功能整合的差异性。

[0008] 具体地，所述步骤一的具体方法是：按照数学天分的选取标准，选取20个数学天分的青少年，作为实验组；选取年龄分布相似的18个普通青少年，作为对照组。采用国际10-20标准，采集两组共38个青少年健康被试在执行演绎推理任务时的EEG信号，用于后续的对比分析。

[0009] 具体地，所述步骤二的具体方法是：对EEG信号进行预处理，去除噪声和伪迹干扰。根据数学天分被试和普通被试在演绎推理过程中所有电极功率变化的时频图，分析数学天分被试和普通被试在 θ 频带的功率变化，计算出数学天分被和普通被试 θ 功率谱密度组间统计差异。

[0010] 具体地，所述步骤三的具体方法是：将头皮EEG信号转换成皮质偶极子源信号，计算 θ 频带皮质偶极子源信号之间的加权相位滞后指数，构建相位同步性网络，并转化成功能连接性网络，计算出相应的图论度量值。包括以下步骤：

[0011] (1) 采用开源软件Brainstorm神经信号处理工具包提供的源电流估计方法，对EEG信号进行源空间转换。将原始EEG时间序列转换成同等时间长度的皮质偶极子源信号时间序列，即实现皮质偶极子源信号重建。

[0012] (2) 相位滞后指数 (phase lag index, PLI) 是衡量相位差序列以零为中心的分布的不对称性。为了克服PLI的这一缺点，研究员在PLI的基础上根据超前的幅值对每个相位差赋予权值，使得零附近的相位差对计算值的影响变小，提出了WPLI算法。WPLI的算法公式如下：

$$[0013] \quad WPLI_{x,y}(\omega) = \frac{|l_1 l_2 \sin(\Delta\theta) |sgn(\sin(\Delta\theta))|}{\langle |l_1 l_2 \sin(\Delta\theta)| \rangle}$$

[0014] 其中 l_1, l_2 分别表示信号 x 和 y 经过希尔伯特变换后的幅值。

[0015] (3) 根据以上方法计算得到功能连接矩阵后，接着皮质偶极子源信号的顶点抽象为节点，有效的功能连接性作为边，构建脑功能连接性网络。

[0016] (4) 计算时间序列任意两节点间的相位同步性，得到的功能连接矩阵(connectivity matrix)。该矩阵为对称矩阵，其中每一个矩阵元素代表对应节点信号同步性的强弱。

[0017] (5) 选定某一阈值，对连接矩阵二值化处理。阈值的选择与功能性网络的连接密度

相关,它们之间的关系如下:

$$[0018] \quad 0 \leq p \leq 1 = \frac{\varepsilon_t}{N(N-1)}$$

[0019] (6) 生成和该二元网络具有相同特性的随机网络,包括相同的节点数、边数和相同的度分布,计算网络参数。

[0020] 所述步骤三中,根据复杂脑网络理论,N是网络节点的集合,(i,j)代表节点i与节点j之间的连接关系,在格兰杰因果网络的基础上,计算下列图论度量值:

[0021] (1) 节点度:度表示为节点i在网络中与其他节点相连的连接边的数量;

$$[0022] \quad S_i = \sum_{j \in N} a_{ij}$$

[0023] (2) 节点中介中心性:节点中介中心性表示为网络中两两节点间必通过节点i的最短路径条数的总和;其中,最短路径的选择运用狄克斯特拉算法。

$$[0024] \quad C_i = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{\substack{q,j \in N \\ q \neq j, q \neq i, j \neq i}} \frac{k_{qj}(i)}{k_{qj}}$$

[0025] 式中 k_{qj} 网络内两个节点q和j之间最短路径的数量, $k_{qj}(i)$ 指的是q和j之间必须经过节点i的最短路径数;

[0026] (3) 节点聚类系数:节点i的聚类系数指的是围绕着i的邻居节点之间相互存在的连接边数量和理论上它们之间可能具有的最多连接边数量所成的比;

$$[0027] \quad J_i = \frac{2t_i}{S_i(S_i - 1)}$$

[0028] 式中 t_i 是节点i的相邻节点中每三个节点构成的连接三角形的数量;

[0029] (4) 特征路径长度:对于全局网络,特征路径长度指的是网络中从一个节点到另一个节点之间所经过的平均最少数量的连接边;特征路径长度的计算公式为:

$$[0030] \quad L = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} L_i = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j \in N, j \neq i} m_{ij}}{n-1}$$

[0031] 其中 L_i 表示节点i和网络中其它节点的平均距离, m_{ij} 表示节点i和j之间的最短路径;

[0032] (5) 全局效能:网络全局效能与网络的特征路径长度相关;

$$[0033] \quad G = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} E_i = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j \in N, j \neq i} m_{ij}^{-1}}{n-1}$$

[0034] 将数学天分组与对照组的聚类系数和特征路径长度进行比较,分析是否有显著差异,若有显著差异,则可作为数学天分青少年脑功能连接网络的特征标记。

[0035] 根据邻接矩阵计算出相应的图论度量值。重点从网络的特征路径长度、全局效能、节点的中介中心性等度量值,研究分析两组被试网络功能整合的差异性。

[0036] 具体的,所述步骤四的具体方法是:采用ANOVA方法,检验数学天分组和对照组功能网络的图论度量指标(特征路径长度和全局效能)是否存在显著差异。另外,研究还检验了不同被试组间节点中介中心性是否有显著性差异。

[0037] 本发明的有益效果是:本发明基于任务态EEG信号,计算 θ 频带皮质偶极子源信号之间的加权相位滞后指数,构建相位同步性网络,并转化成功能连接性网络,计算出相应的图论度量值。研究分析两组被试网络功能整合的差异性。与现有技术相比,本发明中提供的方法有如下优势:基于任务态EEG信号刻画数学天分青少年的连接网络特征,采用加权相位滞后指数,构建相位同步性网络,并转化成功能连接性网络。这降低了在容积传导的噪声源间相位差为零时检测到“假阳性”的概率,并且增加了检测相位同步的灵敏度。

附图说明

[0038] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单说明。显然,所描述的附图只是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例,本领域的技术人员在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他设计方案和附图。

[0039] 图1为本发明的流程图;

[0040] 图2为采集任务态EEG信号时的电极分布图;

[0041] 图3为数学天分组和对照组在演绎推理过程中所有电极功率变化时频图;

[0042] 图4为数学天分被试和普通被试的任务相关 θ 频带功率响应的脑地形图;

[0043] 图5为数学天分被试组和对照组的 $f_m\theta$ 功率谱密度的组间比较箱线图;

[0044] 图6为数学天分组和对照组 θ 频带功能网络度量值组间比较箱线图;

[0045] 图7为数学天分组和对照组活跃节点和非活跃节点分布图。

具体实施方式

[0046] 以下将结合实施例和附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果进行清楚、完整地描述,以充分地理解本发明的目的、特征和效果。显然,所描述的实施例只是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例。基于本发明的实施例,本领域的技术人员在不付出创造性劳动的前提下所获得的其他实施例,均属于本发明保护的范围。另外,文中所提到的所有联接/连接关系,并非单指构件直接相接,而是指可根据具体实施情况,通过添加或减少联接辅件,来组成更优的联接结构。本发明创造中的各个技术特征,在不互相矛盾冲突的前提下可以交互组合。

[0047] 下面结合附图和实例来对本发明进行详细阐述。

[0048] 本发明公开了基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法,步骤1:采集数学天分青少年及对照组的任务态头皮EEG信号。步骤2:根据数学天分被试和普通被试在演绎推理过程中所有电极功率变化的时频图,分析数学天分被试和普通被试在 θ 频带的功率变化,计算出数学天分被试和普通被试 $f_m\theta$ 功率谱密度组间统计差异。步骤3:将头皮EEG信号转换成皮质偶极子源信号,计算 θ 频带皮质偶极子源信号之间的加权相位滞后指数,构建相位同步性网络,并转化成功能连接性网络,计算出相应的图论度量值。步骤4:根据图论度量值,研究分析两组被试网络功能整合的差异性。具体的步骤3中,基于加权滞后

指数对 θ 频带皮质源信号构建功能连接网络的分析方法,包括以下步骤:

[0049] (1) 计算时间序列任意两节点间的相位同步性,得到的功能连接矩阵(connectivity matrix)。该矩阵为对称矩阵,其中每一个矩阵元素代表对应节点信号同步性的强弱。基于加权相位滞后指数的算法公式为:

$$[0050] \quad WPLI_{x,y}(\omega) = \frac{|\langle l_1 l_2 \sin(\Delta\theta) | \text{sgn}(\sin(\Delta\theta)) \rangle|}{\langle |l_1 l_2 \sin(\Delta\theta)| \rangle}$$

[0051] 其中, x 和 y 分别为两个通道的脑电信号的时间序列, ω 代表特定频率,脑电信号的瞬时相位可通过希尔伯特变换[45,46] (hilbert transform) 获得, $\Delta\theta$ 为瞬时相位差,表示为符号函数。 l_1, l_2 分别表示信号 x 和 y 经过希尔伯特变换后的幅值。

[0052] (2) 选定某一阈值,对连接矩阵二值化处理。节点间PLV高于阈值则表示节点间有连接,反之则无连接,以此得到邻接矩阵。阈值的选择与功能性网络的连接密度相关,它们之间的关系如下:

$$[0053] \quad 0 \leq p \leq 1 = \frac{\varepsilon_t}{N(N-1)}$$

[0054] 其中阈值为 t 是网络保留的连接边数量,是 N 个节点网络连接边的最大数量。本研究WPLI矩阵使用的固定阈值是根据根据Erdős-Rényi模型,连接密度的计算公式如下:

$$[0055] \quad p = \frac{2 \ln N}{N}$$

[0056] (3) 生成和该二元网络具有相同特性的随机网络,包括相同的节点数、边数和相同的度分布,计算网络参数。

[0057] 根据复杂脑网络理论, N 是网络节点的集合, (i, j) 代表节点 i 与节点 j 之间的连接关系,在格兰杰因果网络的基础上,我们计算下列图论度量值:

[0058] (1) 节点度(degree):度表示为节点 i 在网络中与其他节点相连的连接边的数量。

$$[0059] \quad S_i = \sum_{j \in N} a_{ij}$$

[0060] (2) 节点中介中心性(betweenness centrality, BC):节点中介中心性表示为网络中两两节点间必通过节点 i 的最短路径条数的总和。其中,最短路径的选择运用狄克斯特拉算法。

$$[0061] \quad C_i = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{\substack{q, j \in N \\ q \neq j, q \neq i, j \neq i}} \frac{k_{qj}(i)}{k_{qj}}$$

[0062] 式中 k_{qj} 网络内两个节点 q 和 j 之间最短路径的数量, $k_{qj}(i)$ 指的是 q 和 j 之间必须经过节点 i 的最短路径数。BC度量值可以体现节点对网络的影响程度,如果节点 i 的BC值越大,则表示该节点在网络中越重要,去除该节点网络受到影响的程度就越大。本文通过K均值聚类分析,将节点划分为活跃节点和非活跃节点。

[0063] (3) 节点聚类系数(clustering coefficient):节点 i 的聚类系数指的是围绕着 i 的邻居节点之间相互存在的连接边数量和理论上它们之间可能具有的最多连接边数量所

成的比。

$$[0064] \quad J_i = \frac{2t_i}{S_i(S_i - 1)}$$

[0065] 式中 t_i 是节点 i 的相邻节点中每三个节点构成的连接三角形的数量。

[0066] (4) 特征路径长度 (characteristic path length): 对于全局网络, 特征路径长度指的是网络中从一个节点到另一个节点之间所经过的平均最少数量的连接边。网络中短的特征路径长度表示了更高的平行信息传导能力和更高的网络全局效能。特征路径长度的计算公式为:

$$[0067] \quad L = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} L_i = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j \in N, j \neq i} m_{ij}}{n - 1}$$

[0068] 其中 L_i 表示节点 i 和网络中其它节点的平均距离, m_{ij} 表示节点 i 和 j 之间的最短路径。

[0069] (5) 全局效能 (global efficiency): 网络全局效能与网络的特征路径长度相关。

$$[0070] \quad G = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} E_i = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \frac{\sum_{j \in N, j \neq i} m_{ij}^{-1}}{n - 1}$$

[0071] 将数学天分组与对照组的聚类系数和特征路径长度进行比较, 分析是否有显著差异, 若有显著差异, 则可作为数学天分青少年脑功能连接网络的特征标记。

[0072] 具体的, 步骤2中, 对EEG信号进行预处理, 去除噪声和伪迹干扰, 计算数学天分被试和普通被试 $fm\theta$ 功率谱密度组间统计差异。

[0073] 具体的, 步骤4中, 所述步骤四的具体方法是: 采用ANOVA方法, 检验数学天分组和对照组功能网络的图论度量指标 (特征路径长度和全局效能) 是否存在显著差异。另外, 研究还检验了不同被试组间节点中介中心性是否有显著性差异。

[0074] 本实施例中采用的数据集共包含38个青少年健康被试, 其中20个为数学天分的青少年, 18个为年龄相当的对照组青少年。EEG信号采集的电极分布采用国际10-20标准, 使用60个电极, 如图2所示。数据采集过程中, 被试进行演绎推理任务, 采样频率为500Hz, 在演绎推理任务中数学天分组20个被试保留了400试次样本, 对照组18个被试保留了380试次样本。总共780个试次。

[0075] 已有的研究发现, 在脑力任务实验中, 大脑的额叶中线区域表现出较强的 θ 频带神经元振荡活动, 并且振荡的强度与个体的认知努力程度相关, 即个体认知努力程度越高, 额叶中线区域 θ 频带振荡的强度越大。因此本发明主要考察 θ 频带。EEG信号在演绎推理过程中所有电极功率变化时频图如图3所示。从图中可发现, 数学天分组显现出比对照组更高的 θ 频带功率响应, 这个结果可以解释为数学天分青少年在演绎推理过程中表现出增强的 θ 频带神经元的活动。在演绎推理任务过程中, 数学天分被试和普通被试的任务相关 θ 频带功率响应的脑地形图如图4所示。从图中可发现, 数学天分和对照组在小前提和结论阶段都显现出增强的全局频带功率响应。同时, 我们可以看到数学天分被试组在前提整合和结论阶段都表现出比对照组被试更高的事件相关频带功率响应, 尤其是额叶中线电极FZ、FCZ的 θ 频带 ($fm\theta$) 表现出明显的任务诱发响应。数学天分被试组和对照组的 $fm\theta$ 功率谱密度的组间比

较箱线图如图5所示,图中左边箱线图代表数学天分被试组,右边代表对照组,从图中可以发现,数学天分组 fm0 频带功率谱密度显著高于对照组。数学天分组和对照组 θ 频带功能网络度量值组间比较箱线图如图6所示,图中左边箱线图代表数学天分被试组,右边代表对照组;从图中可以发现,数学天分组 θ 频带功能网络度量值显著高于对照组。数学天分被试和对照组活跃节点和非活跃节点分布图如图7所示,图中节点标记的深色表示为活跃性节点,浅色标记为非活跃性节点。从图中可以看出,数学天分组显示出全局脑区网络更高的活跃节点分布和较低的非活跃节点分布,尤其是右偏侧额叶脑区,这可以理解为数学天分被试在全脑更高整合的过程中,仍然保持了前部神经系统的局部信息的高效传导。

[0076] 以上对本发明的较佳实施方式进行了具体说明,但本发明创造并不限于所述实施例,熟悉本领域的技术人员在不违背本发明精神的前提下还可作出种种的等同变型或替换,这些等同的变型或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

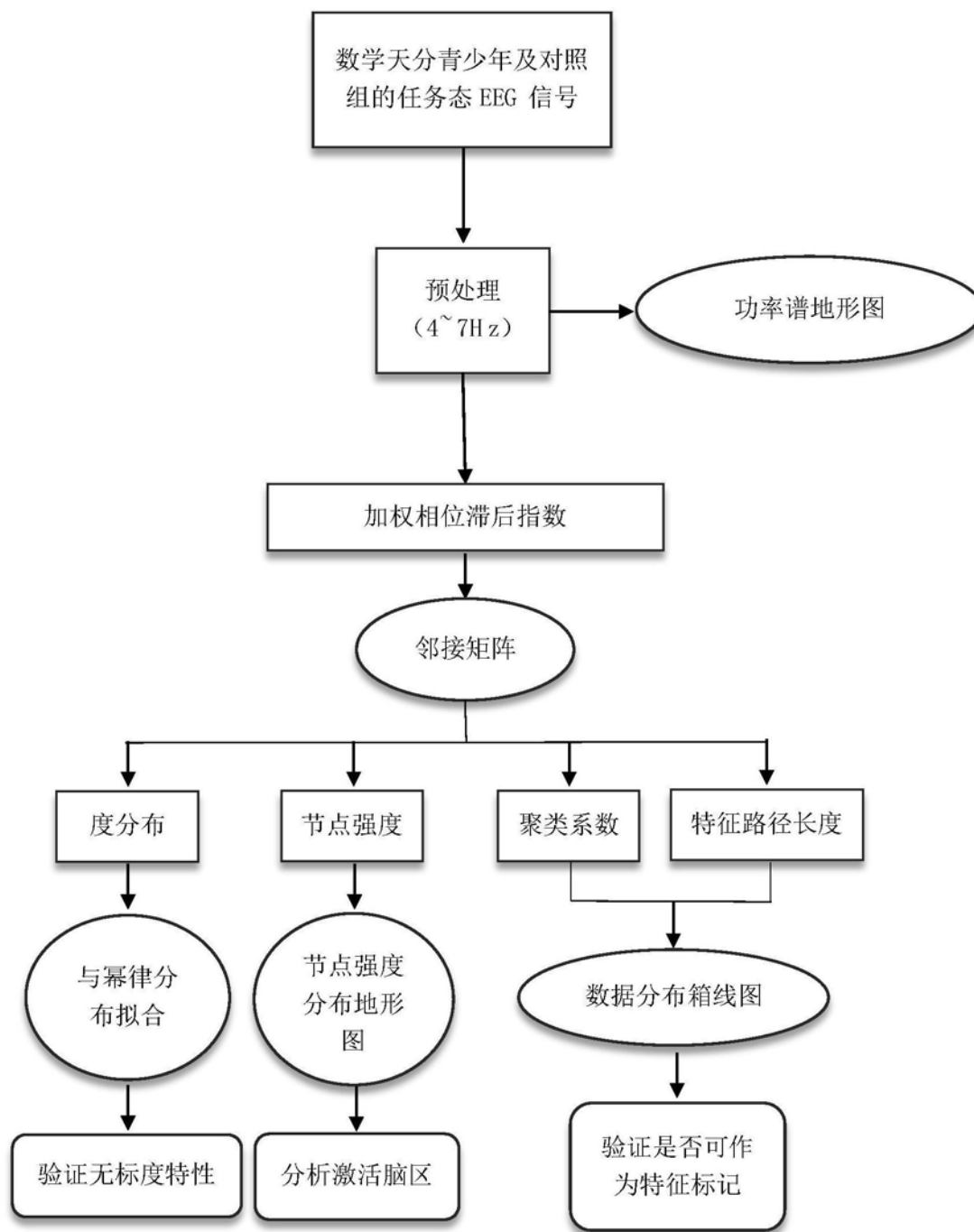


图1

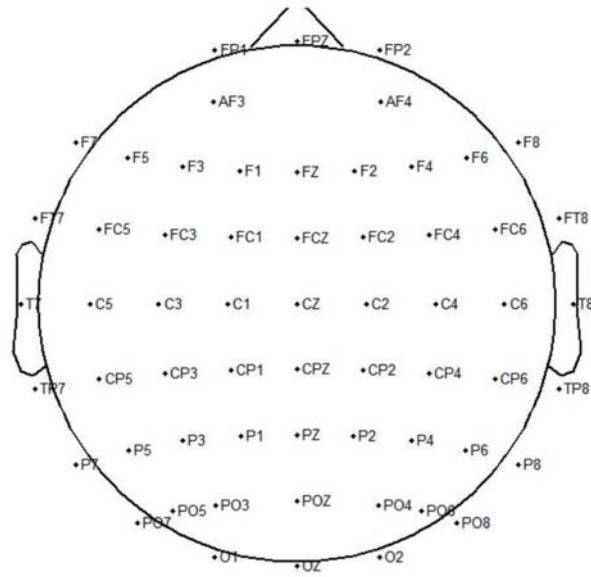


图2

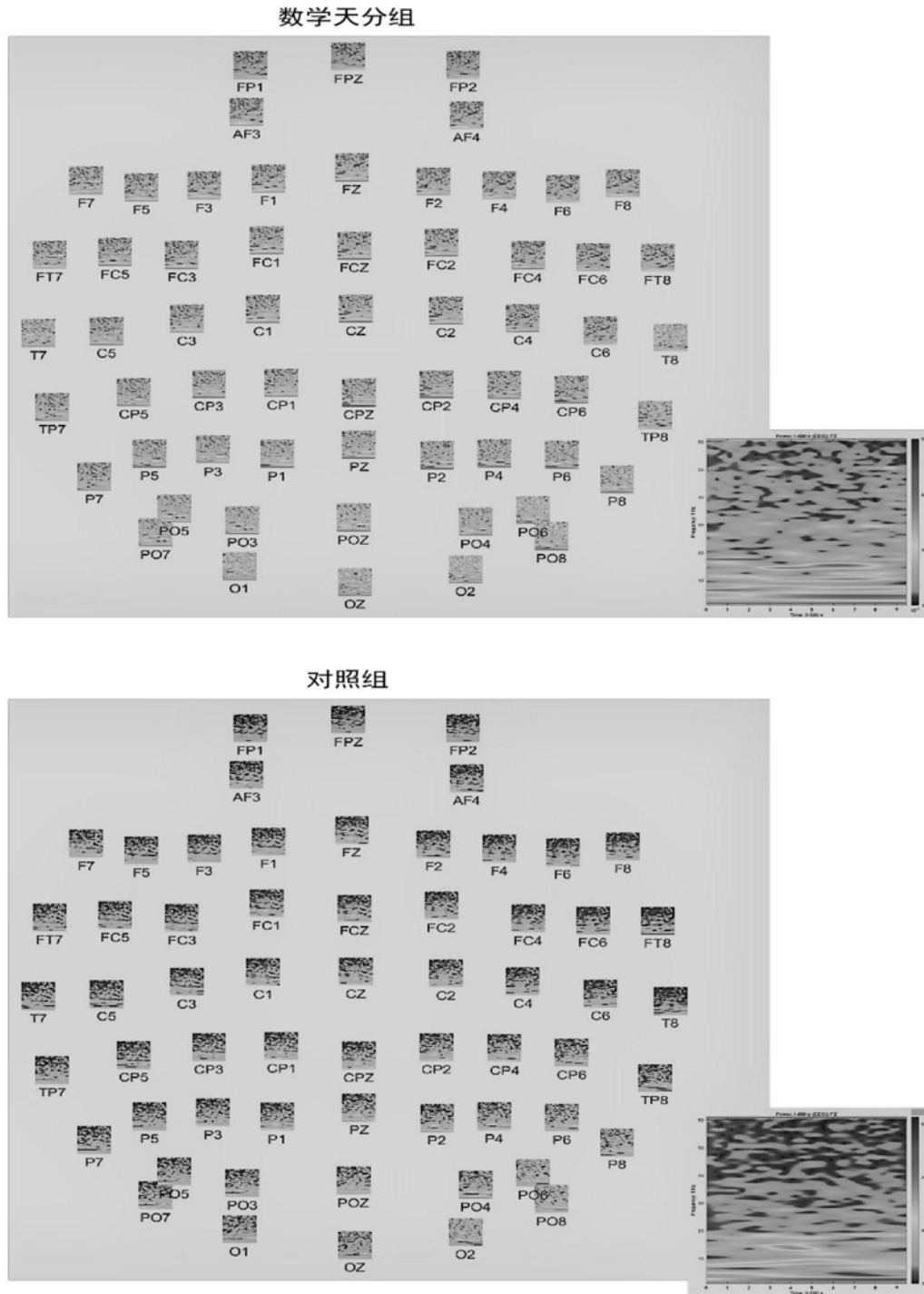


图3

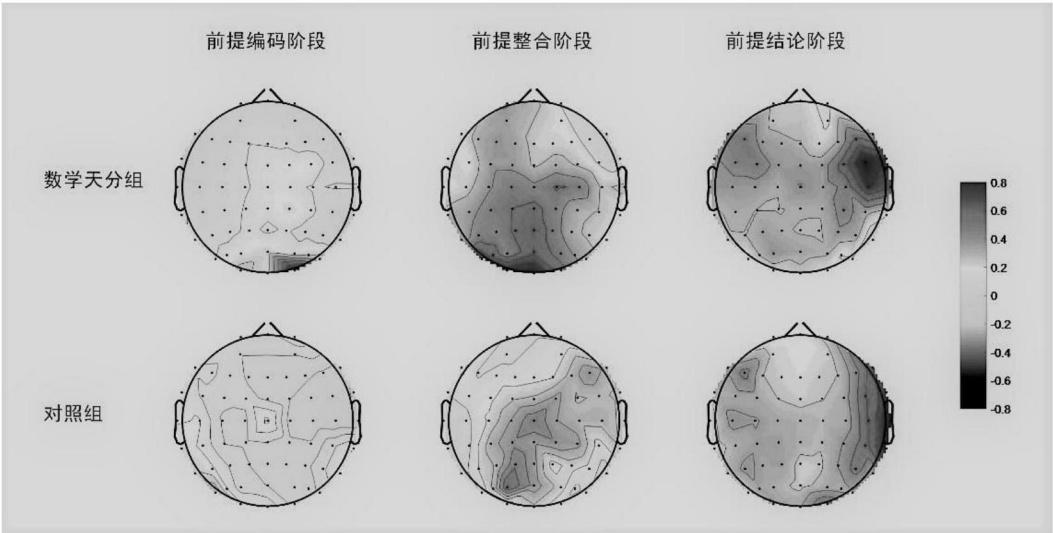


图4

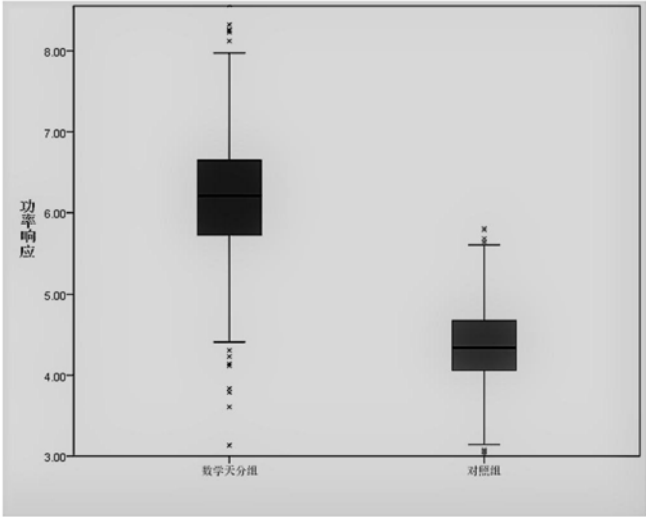


图5

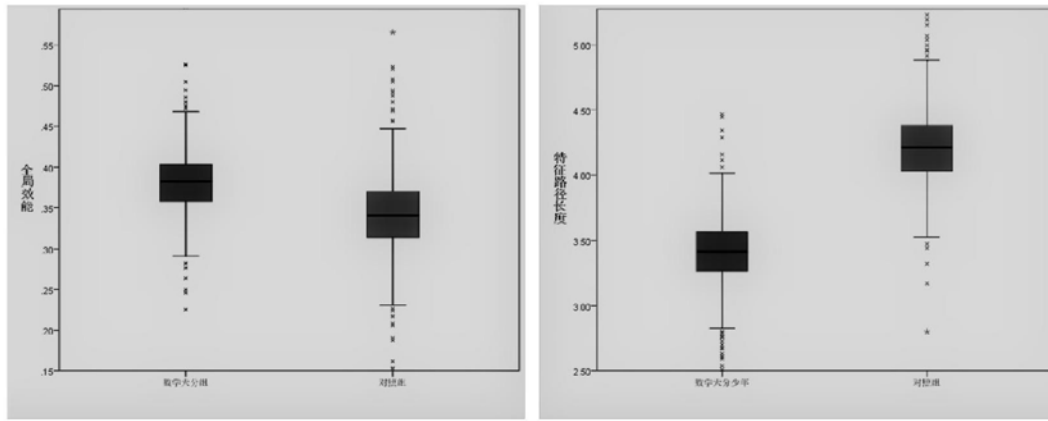


图6

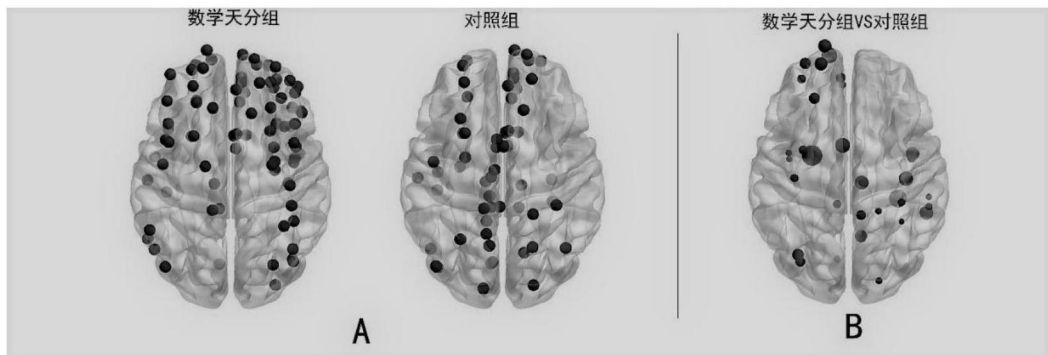


图7

专利名称(译)	基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法		
公开(公告)号	CN110859614A	公开(公告)日	2020-03-06
申请号	CN201911155264.3	申请日	2019-11-22
[标]申请(专利权)人(译)	东南大学		
申请(专利权)人(译)	东南大学		
当前申请(专利权)人(译)	东南大学		
[标]发明人	王海贤 王清赞 蒋祥		
发明人	王海贤 王清赞 蒋祥		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00 G06K9/62		
CPC分类号	A61B5/0476 A61B5/7203 A61B5/7264 G06K9/6223		
代理人(译)	李雪萍		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于加权相位滞后指数的数学天分青少年脑网络分析方法：基于任务态EEG信号，采用基于加权相位滞后指数的算法，构建相位同步性网络，并转化成功能连接性网络。进而利用图论指标对连接网络进行度量，刻画数学天分青少年的连接网络特征，包括活跃脑区、图论指标。与现有技术相比，本发明中提供的方法有如下优势：基于任务态EEG信号刻画数学超常青少年的连接网络特征，采用加权相位滞后指数，构建相位同步性网络，并转化成功能连接性网络。这降低了在容积传导的噪声源间相位差为零时检测到“假阳性”的概率，并且增加了检测相位同步的灵敏度。

