

团 体 标 准

T/CAAP XXXX—20XX

步态与近红外脑功能同步测试方法

Test method of gait and near-infrared brain function synchronization

（征求意见稿）

XXXX - XX - 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国康复辅助器具协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理 1

5 环境条件 1

6 测试设备 2

7 测试过程 2

 7.1 测试平台构建 2

 7.2 测试步骤 2

8 数据处理 3

 8.1 功能性近红外光谱信号的数据处理 3

9 统计分析 5

参 考 文 献 6

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国康复辅助器具协会提出并归口。

本文件起草单位：国家康复辅具研究中心、武汉资联虹康科技有限公司、复旦大学附属华山医院、大连乾函科技有限公司、中山大学附属第三医院、苏州爱琴生物医疗电子有限公司。

本文件主要起草人：刘颖、李增勇、陶帅、孔丽文、白玉龙、尧利书、华艳、张丽颖、李岳。

步态与近红外脑功能同步测试方法

1 范围

本文件规定了步态与近红外脑功能同步测试方法的原理、环境条件、测试设备、测试过程，描述了数据处理和统计分析的方法。

本文件适用于认知与运动功能的评估。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

步态 Gait

人体步行时的姿态和行为特征，是通过髋、膝、踝、足趾等一系列连续活动来实现正常行走功能时所表现出的姿态。

3.2

近红外脑功能 Near-Infrared Brain Function

是指利用近红外光谱技术（Near-Infrared Spectroscopy, NIRS）对大脑神经活动及其功能状态进行探测与研究的领域。该技术基于血红蛋白对近红外光的吸收特性，通过测量脑皮层区域氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度变化，间接反映神经元活动时的脑血流动力学响应，从而实现对大脑功能（如认知、感知、运动等相关脑区的激活模式）的无创性监测与分析。

4 原理

根据采集到的脑血氧信号计算出小波相位相干性，通过采集得到步态参数。小波相位相干性与步态参数进行相关性计算。

5 环境条件

测试环境条件应满足：

——温度：15℃~30℃，且测量时温差应在 5℃/h 以内。

——相对湿度：45%~80%

——场地：6m（长）×8m（宽），2.5m~3m（高），不应出现强烈振动或者连续性振动。

6 测试设备

步态与近红外脑功能同步测试方法配置以下设备：

- 便携式功能性近红外光谱（fNIRS）；
- 三维运动捕捉系统或可穿戴的步态检测系统；
- 电子人行道（包括测力板）或室内室外。

7 测试过程

7.1 测试平台构建

脑血氧设备：便携式功能性近红外光谱（fNIRS）；

步态设备：三维运动捕捉系统或穿戴式步态分析仪；

7.2 测试步骤：

7.2.1 测试准备

7.2.1.1

实验前受试者完成脑功能测试前的仪器佩戴、调试、预采集工作和步态测试前的仪器佩戴、调试、预采集工作。正式实验室时在同步打标下，受试者在执行实验任务时同时得到脑血氧和步态同步监测。

7.2.1.2

测试中的受试者是在4 种不同的步行任务中同时进行脑功能测试和步态测试。

7.2.2 脑功能测试步骤

- a) 在实验开始前，装配好头帽，检查发射极与接受极是否按照规定的位置装配，长按电源开启设备，打开和设备相匹配的软件；
- b) 登记被试的姓名，年龄，出生日期，ID，填写备注；
- c) 选择与头帽相匹配的通道，将帽子带到被试的头上，帽子需要戴到与大脑相匹配的位置，固定好头帽；
- d) 在实验开始前进行预采集，观察信号的质量，绿色为最佳，灰色需要进行拨头发处理，信号质量达到理想状态后结束预采集，点击信号增益，将预采集的信号质量进行平衡，然后开始正式的实验数据采集；
- e) 在正式开始实验数据采集之后，对数据进行打标，在到达设置的实验时间之后，停止数据的采集，数据会自动保存；
- f) 将头帽摘下，放置在合适的位置。点击数据库，将被试的实验数据导出。之后实验数据要进行数据处理（见 8.1.1 和 8.1.2）。

7.2.3 步态测试步骤

7.2.3.1 三维运动捕捉系统测试步骤

- a) 受试者穿着实验室提供的下身紧身服装并且鞋袜不反光；
- b) 在受试者下肢大腿两侧各粘贴 8 个步态反光球（左、右髂前上棘，左、右髂后上棘，膝关节、大腿、小腿、踝关节、脚趾、足跟），进行步态数据采集；
- c) 在电子步道上，实验人员的引导下，受试者先在步道区域步行数个来回适应环境，并了解测试

经过;

- d) 开始测试时, 对数据进行打标, 设置每种任务的实验时间;
- e) 按照顺序先后执行 4 种步行任务: 单独步行任务、工作记忆任务一步行任务、言语流畅任务一步行任务、计算任务一步行任务; 在双重任务过程中要记录正确的认知任务的个数。每种任务之间休息 10 min;
- f) 每种任务结束的时候, 点击“结束”按钮结束采集, 数据和步态参数报告也会自动生成保存。

7.2.3.2 可穿戴的步态检测系统测试步骤

- a) 受试者穿戴数据采集模块: 躯干数据采集模块置于受试者后腰位置; 左右大腿数据采集模块置于受试者左右后大腿肚上, 站立状态下传感器下底面与地面平行; 左右小腿数据采集模块置于受试者左右后小腿肚上, 站立状态下传感器下底面与地面平行; 选择与受试者日常穿戴相同尺码的步态采集鞋;
- b) 在步态检测软件中按要求进行注册、系统登录、信息录入; 打开软件中的行走测试模块;
- c) 在室内或室外环境中, 实验人员的引导下, 受试者先在步道区域步行数个来回适应环境, 并了解测试经过;
- d) 开始测试时, 对数据进行打标, 设置每种任务的实验时间;
- e) 按照顺序先后执行 4 种步行任务: 单独步行任务、工作记忆任务一步行任务、言语流畅任务一步行任务、计算任务一步行任务; 在双重任务过程中要记录正确的认知任务的个数。每种任务之间休息 10 min;
- f) 每种任务结束的时候, 点击“结束”按钮结束采集, 数据会自动保存, 点击“生成测试报告”生成步态参数报告。

8 数据处理

8.1 功能性近红外光谱信号的数据处理

8.1.1 脑血氧信号的预处理

- a) 滑动平均的表达式为:

$$y(n) = \frac{1}{2N+1} \sum_{i=1}^{2N+1} x(n-i) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$x(n)$ ——原始信号的时间序列;

$y(n)$ ——滑动平均后的时间序列。

- b) 运动伪迹去除

该方法包含以下几个步骤:

- 1) 计算移动标准偏差。
- 2) 检测运动伪影的信号段, 找出起始点和终点。
- 3) 按照运动伪影的周期分割时间序列。

- 4) 对存在运动伪影的信号段进行样条插值。
- 5) 对样条插值函数进行减法运算。
- 6) 重组整个事件序列。

c) 巴特沃斯滤波器

n 阶巴特沃斯滤波器的表达式为:

$$|H(f)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}} = \frac{1}{1 + E^2 \left(\frac{f}{f_p}\right)^{2n}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

n——阶数;

f_c ——截止频率;

f_p ——通频带边缘频率。

8.1.2 脑功能连接

a) 连续小波变换

其公式为:

$$W(s, t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{u-t}{s}\right) g(u) du \dots\dots\dots (3)$$

式中:

ψ ——采用 Morlet 小波;

s——尺度因子;

$f = 1/s$;

选用 Morlet 函数变换得到的小波系数 $W_k(t_n)$ 在时-频域是复数:

$$\omega_k(t_n) = W_k(f, t_n) \cdot e^{i\phi_k(f, t_n)} = a_k(f, t_n) + ib_k(f, t_n) \dots\dots\dots (4)$$

小波系数含有原始信号在某一频率 f 和时刻 t 下的相位信息 $\phi_k(f, t_n)$ 和振幅信息 $W_t(f, t_n)$ 。

$\phi_k(f, t_n)$ 定义为:

$$\phi_k(f, t_n) = \arctan \left[\frac{b_k(f, t_n)}{a_k(f, t_n)} \right] \dots\dots\dots (5)$$

$W_t(f, t_n)$ 定义为:

$$W_t(f, t_n) = \sqrt{a_k^2(f, t_n) + b_k^2(f, t_n)} \dots\dots\dots (6)$$

b) 小波相位相干性

计算小波相位相干性包含以下几个步骤:

1) 通过两次小波变换得到两个时间序列 $x_1(t_n)$ 和 $x_2(t_n)$ 。它们对应的瞬时相位分别为 $\phi_1(f, t_n)$ 和 $\phi_2(f, t_n)$ 。

2) 计算瞬时相位差:

$$\Delta\phi(f, t_n) = \phi_1(f, t_n) - \phi_2(f, t_n) \cdots \cdots \cdots (7)$$

3) $\cos\Delta\phi(f, t_n)$ 和 $\sin\Delta\phi(f, t_n)$ 在时域中平均。

4) 将相位相干函数定义为:

$$WPCO(f) = \sqrt{\langle \cos\Delta\phi(f) \rangle^2 + \langle \sin\Delta\phi(f) \rangle^2} \cdots \cdots \cdots (8)$$

9 统计分析

- a) Shapiro-Wilk 检验和 Levene 检验用于检验老年人群的正态分布和方差齐性。
- b) 对于非正态分布或方差不齐, 非参数方法 Mann-Whitney U 检验比较老年人群的数据。
- c) 对于正态分布且方差齐性, 使用参数方法 T 检验。
- d) 重复测量数据方差分析不同的状态的功能连接和步态参数。校正多重比较使用 Bonferroni 方法。
- e) Pearson 相关系数用于分析小波相位相干值与步态参数的相关性, 其中 Pearson 相关性的 $p < 0.05$, 则认为差异具有统计学意义。

参 考 文 献

[1]中国医师协会神经内科医师分会, 认知训练中国指南写作组. 认知训练中国指南(2022年版)[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(37):2918-2925.

[2]中国痴呆与认知障碍诊治指南写作组, 中国医师协会神经内科医师分会认知障碍疾病专业委员会. 2018中国痴呆与认知障碍诊治指南(五): 轻度认知障碍的诊断与治疗[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(17):1294-1301.

[3]秦彤, 郝文思, 贾宇, 周琪琳, 杜佳琳, 周骁, 吴兴启. 认知障碍患者个体化智能康复训练技术规范[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2021, 48(03):211-218.

[4]王结群, 张卫, 郑晓然, 聂志余, 李云霞, 郑加麟. 认知评估新技术在痴呆诊断中的探索与进展[J]. 重庆医科大学学报, 2021, 46(11):1296-1301.
