



## 中等强度运动积极影响注意缺陷多动障碍儿童的问题行为及心率变异性研究

### Research on Positive Effects of Moderate-Intensity Exercise on Problem Behaviors and Heart Rate Variability in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder

苏余, 张韧仁\*, 何毅

SU Yu, ZHANG Renren\*, HE Yi

**摘要:**目的:探究单次中等强度运动对注意缺陷多动障碍(attention deficit hyperactivity disorder, ADHD)儿童问题行为和心率变异性(heart rate variability, HRV)的影响。方法:采用SNAP-IV量表测量13名ADHD儿童[男生10名,女生3名;(9.00±1.15)岁]完成1次20 min中等强度运动(挥拍运动、台阶测试、折返跑、开合跳)前、后的问题行为;采用芬兰心电图测试仪(Mega Faros 180)监测运动前、后以及运动期间HRV指标,并将运动前、后以及运动期间全程30 min均分为6个时段( $t_0 \sim t_5$ ),分析不同时段HRV的变化特征以及时段差异。结果:1)运动后,ADHD儿童注意力不集中、多动冲动、对立违抗得分非常显著低于运动前( $P < 0.01$ );2)运动后,RMSSD、SDNN、HF、LF、TP显著低于运动前( $P < 0.05$ ),LF/HF较运动前有上升趋势;3)运动期间时域指标RMSSD、SDNN时段差异显著,呈持续下降趋势( $P < 0.01$ ),频域指标LF、TP、LF/HF时段差异显著,LF持续下降( $P < 0.05$ )、TP在 $t_4$ 时段明显下降( $P < 0.05$ )、LF/HF先上升后下降( $P < 0.01$ ),HF时段差异不显著。结论:中等强度运动能在一定程度上弱化ADHD儿童负性情绪,有效改善问题行为、注意力不集中、多动冲动、对立违抗,运动期间伴随HRV降低且呈逐步下降趋势,提示,中等强度运动可以通过增强自主神经系统功能的调节能力为ADHD儿童问题行为的改善提供生理基础。

**关键词:**中等强度运动;注意缺陷多动障碍;儿童;心率变异性;问题行为

**Abstract:** Objective: To explore the effects of moderate-intensity exercise on problem behaviors and heart rate variability (HRV) in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). Methods: Thirteen ADHD children (ten boys and three girls) (9.00±1.15) years old were required to complete a 20 min moderate-intensity exercise (swing movements, step tests, turn-back runs, opening and closing jumps). The problem behaviors were measured by the SNAP-IV scale before and after the exercise, and the HRV indicators were monitored by the Finnish electrocardiogram tester (Mega Faros 180) before, after, and during the exercise. The whole 30 min (before, after, and during the exercise) was divided into six time periods ( $t_0 \sim t_5$ ), and the variation characteristics and differences of HRV in different time periods were analyzed. Results: 1) The scores of inattention, hyperactivity-impulsivity, and oppositional defiance of ADHD children after exercise are significantly lower than before exercise ( $P < 0.01$ ); 2) RMSSD, SDNN, HF, LF, and TP after exercise are significantly lower than before exercise ( $P < 0.05$ ). LF/HF shows an increasing trend compared with before exercise; 3) the time domain indicators RMSSD and SDNN during exercise have significant differences in time periods, with a continuous decreasing trend ( $P < 0.01$ ), and frequency domain indicators LF, TP, and LF/HF have significant differences in time periods, with a continuous decrease in LF ( $P < 0.05$ ), a significant decrease in TP at  $t_4$  time period ( $P < 0.05$ ), an increase and then a decrease in LF/HF ( $P < 0.01$ ), and a non-significant difference in HF time period. Conclusions: Moderate-intensity exercise can weaken the negative emotions of ADHD children to a certain extent, and effectively im-

#### 基金项目:

四川省教育厅第二批省级教育体制机制改革试点项目(G8-02);四川省科技计划项目(2022JDR0182)

#### 第一作者简介:

苏余(1994-),男,助教,硕士,主要研究方向为锻炼心理学,E-mail:597482342@qq.com。

#### \*通信作者简介:

张韧仁(1972-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为运动及锻炼心理学理论与应用,E-mail:zhangrenren2007@126.com。

#### 作者单位:

四川师范大学,四川成都610101  
Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China.

prove problem behaviors, inattention, hyperactivity-impulsivity, and oppositional defiance are all effectively improved. During the exercise, HRV decreases gradually, suggesting that moderate-intensity exercise can provide a physiological basis for the improvement of problem behaviors of ADHD children by enhancing the ability to regulate autonomic nervous system function.

**Keywords:** moderate-intensity exercise; ADHD; children; HRV; problem behaviors

**中图分类号:**G804.2 **文献标识码:**A

注意缺陷多动障碍 (attention deficit hyperactivity disorder, ADHD) 又称多动症, 根据美国《精神障碍诊断与统计手册第四版》中注意缺陷多动障碍的评判标准, 主要分为多动冲动型、注意缺陷型和综合型 3 类 (Posner et al., 2021)。ADHD 儿童身体素质、生理机能、心理机能发育缓慢, 且智力低于正常儿童 (杨波, 2021)。有相关报道显示, 我国 ADHD 儿童患病率为 5.7% (舒瑶等, 2021)。ADHD 儿童的治疗与康复等健康问题已成为实现《“健康中国 2030”规划纲要》全民健康目标的重点关注部分。

ADHD 儿童康复干预的相关研究主要集中于药物控制 (Lee et al., 2022)、生物反馈 (许明超等, 2021)、体育锻炼 (Groeneveld et al., 2019) 等方面, 长期药物治疗的副作用较大 (Jiang et al., 2022), 生物反馈治疗周期过长且时效性低 (杨波, 2021), 而体育锻炼的平均效应量最高 (Lambert et al., 2020)。体育锻炼对 ADHD 儿童康复积极影响的相关研究主要集中于评估长期运动对问题行为的影响 (苏余等, 2019), 鲜见单次运动对问题行为的影响以及单次运动前、后和运动期间的生理状态监测的研究。

心率变异性 (heart rate variability, HRV) 是指逐次心跳之间所存在的微小差异 (林华等, 2016)。运动与 HRV 的研究成果主要集中在长期运动 (Hammami et al., 2017)、单次竭力运动 (Isar et al., 2022) 对 HRV 的影响以及单次运动期间 HRV 的变化 (宋涛, 2016)。HRV 可反映自主神经系统 (autonomic nervous system, ANS) 适应环境变化的能力 (Dolezal et al., 2014)。ADHD 儿童的 ANS 功能与正常儿童存在群体差异 (Robe et al., 2021)。鲜见 ADHD 儿童运动前、后、期间 HRV 的监测研究, 运动期间 HRV 的变化有待进一步探究, 以及 HRV 作为运动干预时 ADHD 儿童自我调节改善的生理指标是否合适有待验证。

鉴于此, 本研究旨在探究中等强度运动对 ADHD 儿童问题行为的影响, 以及运动前、后 HRV 的变化特征和运动期间 HRV 的时段差异。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

13 名 ADHD 儿童 (男生 10 名, 女生 3 名), 年龄为 7~11 岁, 平均年龄为 (9.00±1.15) 岁; 身高为 115~145 cm, 平均身高为 (132.46±9.64) cm; 体质量为 16~48 kg, 平均体质量为 (29.46±10.63) kg。被试无广泛性的身体发育缺

陷、儿童精神分裂症、抑郁症; 无心血管系统疾病; 均通过 SNAP-IV 量表评分, 符合实验要求, 具体筛选过程如图 1 所示。本实验已获得被试本人及其监护人或重要他人同意, 实验过程中被试的重要他人全程参与。本研究通过了四川师范大学伦理委员会批准 (编号: 2020LSTY01)。

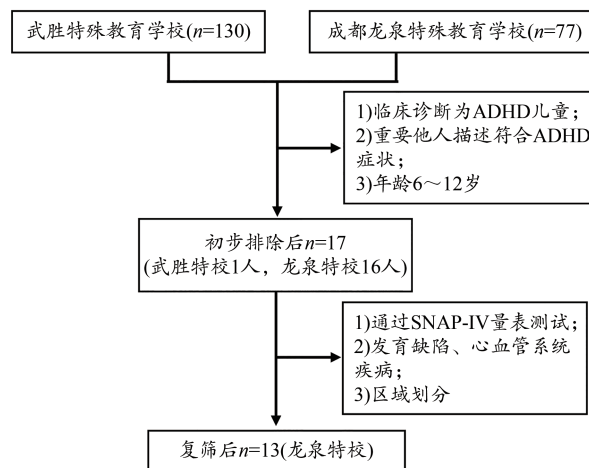


图1 实验对象筛选过程

Figure 1. Screening Process of Experimental Subjects

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 实验设计

为了探究单次中等强度运动对 ADHD 儿童问题行为及 HRV 的影响, 被试完成 1 次 20 min 中等强度运动, 并对被试运动前 5 min、运动期间 20 min、运动后 5 min 共 30 min 的心电数据进行统计与分析; 将实验全过程 30 min 划分为 6 个时段, 即  $t_0$  (0~5 min)、 $t_1$  (6~10 min)、 $t_2$  (11~15 min)、 $t_3$  (16~20 min)、 $t_4$  (21~25 min)、 $t_5$  (26~30 min)。通过对比 ADHD 儿童运动前 ( $t_0$ )、后 ( $t_5$ ) 行为状态和 HRV 的变化情况, 评价运动所产生的积极效应以及 ADHD 儿童运动后 ANS 的兴奋性。自变量为单次 20 min 中等强度运动, 因变量为问题行为、HRV 指标。

通过监测 HRV 变化情况评价 ADHD 儿童各运动时段的 ANS 兴奋性, 探究运动期间 HRV 的时段特征。自变量为运动时段 ( $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ ), 因变量为 HRV 指标。通过监测心率计算运动强度, 中等强度运动的运动强度计算公式为: 心率 = (220 - 年龄) × (60%~70%) (刘阳等, 2018)。

### 1.2.2 预实验

ADHD 儿童进行 20 min 中等强度运动。运动项目包

括挥拍运动、台阶测试、10 m折返跑、开合跳(Pan et al., 2019),其中挥拍运动、台阶测试、开合跳由节拍器控制,以1个/s动作节奏进行;10 m折返跑以8 s为1个往返节奏进行;通过预实验对运动强度予以验证和确定,结果表明,运动项目简单、易操作、与运动强度匹配、仪器设备完好,被试能按要求执行。

### 1.2.3 研究工具和测评指标

采用SNAP量表的汉化版SNAP-IV(Chinese version of Swan-son Nolan and Pelham, Version IV Scale-parent form, SNAP-IV)量表作为状态性评价工具,该量表是国内用于ADHD儿童诊断的常见量表之一,量表共包含3个维度26个条目,其中注意力不集中9个条目、多动冲动9个条目、对立违抗8个条目,Cronbach's  $\alpha$ 系数为0.95(朱琳等,2020)。针对部分无法准确对被试进行状态性的条目,评价标准均达到了统一,实验前后保持一致,整个测试过程只进行客观打分。

采用芬兰心电图测试仪(Mega Faros 180)记录运动前、运动期间、运动后共30 min的HRV,使用HRV-Scanner系统对参数进行分析。HRV指标包括连续相邻正常窦性心动周期差值的均方根(RMSSD/ms)、R-R间期总体平均标准差(SDNN/ms)、总频功率(TP/ms<sup>2</sup>,  $\leq 0.40$  Hz)、高频功率(HF/ms<sup>2</sup>, 0.15~0.40 Hz)、低频功率(LF/ms<sup>2</sup>, 0.04~0.15 Hz)、低频与高频之比(LF/HF)作为生理状态的测评指标。SDNN、TP反映了变异的整体特征,RMSSD、HF反映了迷走神经张力(副交感神经交叉作用),LF主要反映交感神经张力,LF/HF反映交感与副交感神经活动的均衡性。其中,RMSSD、SDNN为时域指标;HF、LF、TP为频域指标。

### 1.2.4 实验任务

被试完成1次20 min中等强度运动,运动项目依据ADHD儿童的康复与体能训练,选择简单易行的挥拍运

动、台阶测试、折返跑、开合跳(Pan et al., 2019)。运动中由节拍器控制运动节奏,实验助手引领并示范动作,依次进行挥拍运动、台阶测试、10 m折返跑、开合跳,每个项目运动5 min,运动期间生理指标同步监测,同时,在运动开始前5 min及结束后5 min对被试行为状态进行量表打分。实验包括1名主试、1名助手、1名被试重要他人,每日固定时间完成1名被试的测试,测试前没有体育课或从事体育运动,身体状态符合实验要求。

### 1.2.5 实验流程

实验流程(图2):1)让被试监护人或重要他人熟悉实验流程,了解实验的基本要求及内容,知悉不会对被试产生任何负面作用,并签署实验知情同意书。2)实验前主试安排,告知被试实验开始后听从实验主试指令,需跟随实验助手进行同样的动作。主试在实验过程中重点关注电脑屏幕,电脑摆放位置不超过被试运动范围半径的5 m。3)电脑插入密码匙U盘,每次实验开始前进入HRV-Scanner系统创建被试基本信息:姓名、性别、出生年月、身高、体质量。4)给被试贴电极片处用酒精擦拭,粘贴电极片,佩戴Mega Faros 180,如被试为女童,由班主任老师或科任老师(女老师)负责佩戴仪器。5)在运动前 $t_0$ (0~5 min)对被试行为状态进行评价(生理监测同步):要求被试安静地坐到指定凳子上,主试根据被试实际状态及实验助手、重要他人的综合评价进行打分。6)根据HRV-Scanner系统显示,5 min的行为状态测评结束后,被试进行20 min中等强度的运动,运动过程均分为4个时段对生理状态进行监测( $t_1$ : 6~10 min)、( $t_2$ : 11~15 min)、( $t_3$ : 16~20 min)、( $t_4$ : 21~25 min)。运动结束后,实验助手引领被试立即就坐休息,并进行运动后5 min( $t_5$ : 26~30 min)的行为状态评价,生理状态同步监测,该过程设置为 $t_5$ 。7)检查被试心电图数据,并下载数据参数到计算机,存U盘备份。

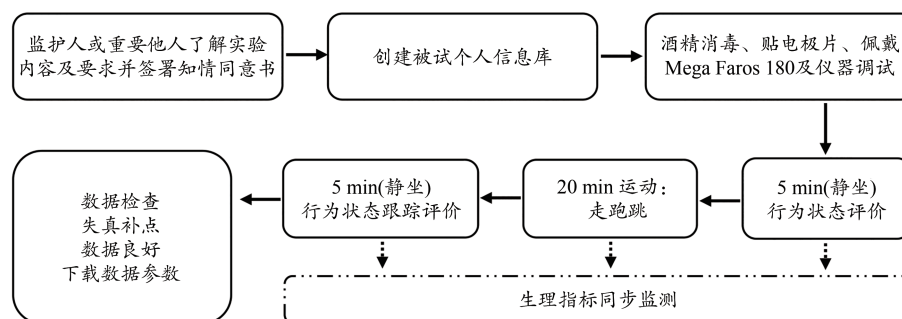


图2 实验流程图

Figure 2. Experimental Flow Chart

### 1.2.6 数据统计分析

使用SPSS 22.0对所有数据进行统计分析,结果数据均以平均值±标准差( $M \pm SD$ )表示,运动前后( $t_0$ 和 $t_5$ )间

题行为、HRV采用配对样本 $t$ 检验进行对比分析。运动期间4个时段( $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ )的HRV采用单因素重复测量方差分析进行对比,并通过Mauchly球形检验对结果进行评

估,不满足球形度检验则采用球对称 Greenhouse-Geisser 系数对分析结果进行校正,事后两两对比采用 LSD 法。数据分析结果差异显著性水平设定  $P < 0.01$  为非常显著、 $0.01 < P < 0.05$  为显著。

## 2 结果

### 2.1 运动前、后问题行为的变化特征

#### 2.1.1 SNAP-IV 量表总分

中等强度运动前( $t_0$ )、运动后( $t_5$ )ADHD 儿童问题行为 SNAP-IV 量表总分情况分析结果显示:13 名 ADHD 儿童运动前 SNAP-IV 量表得分为( $55.08 \pm 8.02$ )分、运动后

得分为( $40.08 \pm 4.42$ )分,运动后问题行为总分低于运动前,运动前、后 ADHD 儿童 SNAP-IV 量表得分差异非常显著( $t=11.277, P < 0.01$ )。

#### 2.1.2 注意力不集中

中等强度运动前( $t_0$ )、运动后( $t_5$ )ADHD 儿童注意力不集中得分分析结果显示:运动前、后 ADHD 儿童注意缺陷得分差异非常显著( $t=9.157, P=0.000$ ),运动后 ADHD 儿童注意缺陷得分低于运动前,具体表现在注意力不集中条目 2( $t=3.207, P=0.008$ )、条目 3( $t=3.742, P=0.003$ )、条目 5( $t=4.382, P=0.001$ )、条目 6( $t=3.207, P=0.008$ )、条目 8( $t=5.196, P=0.000$ )得分显著降低(表 1)。

表 1 运动前、后注意力不集中得分均值比较

Table 1 Comparison of Mean Values in Attention before and after Exercise

$n=13$

维度及具体条目	时段		$t$	$P$
	运动前( $t_0$ )	运动后( $t_5$ )		
注意力不集中	21.62±2.39	17.54±2.02	9.157	0.000**
1.在学校做作业或者其他活动时,无法专注于细节的部分或出现粗心的错误	2.61±0.50	2.38±0.50	1.897	0.082
2.很难持续专注于工作或游戏活动	2.30±0.48	1.84±0.38	3.207	0.008**
3.看起来好像没有听到别人对她(他)说话的内容	2.23±0.59	1.69±0.63	3.742	0.003**
4.没有办法遵循指示,也无法完成学校作业或家事	2.15±0.55	1.92±0.49	1.897	0.082
5.很难组织规划工作及活动	2.15±0.80	1.53±0.51	4.382	0.001**
6.逃避、表达不愿意、很难从事于需要持续性动脑的工作	2.61±0.50	2.15±0.37	3.207	0.008**
7.会弄丢作业或活动所必需的东西	2.23 <sup>a</sup> ±0.43	2.23 <sup>a</sup> ±0.43	—	—
8.很容易受外在刺激影响而分心	2.76±0.59	1.61±0.50	5.196	0.000**
9.在日常生活中健忘	2.53 <sup>a</sup> ±0.66	2.53 <sup>a</sup> ±0.66	—	—

注:a表示差异数的标准差为0,无法计算 $t$ ;\*\* $P < 0.01$ ,下同。

#### 2.1.3 多动冲动

中等强度运动前( $t_0$ )、运动后( $t_5$ )ADHD 儿童多动冲动得分情况分析结果显示:运动前、后 ADHD 儿童多动冲动得分差异非常显著( $t=13.885, P=0.000$ ),运动后 ADHD 儿童多动冲动得分低于运动前,具体表现在多动冲动条目 1( $t=$

$9.815, P=0.000$ )、条目 2( $t=6.743, P=0.000$ )、条目 3( $t=5.099, P=0.000$ )、条目 4( $t=4.430, P=0.001$ )、条目 5( $t=6.062, P=0.000$ )、条目 6( $t=8.832, P=0.000$ )、条目 7( $t=3.742, P=0.003$ )得分显著降低(表 2)。

表 2 运动前、后多动冲动得分均值比较

Table 2 Comparison of Mean Values of Hyperactivity-Impulsivity before and after Exercise

$n=13$

维度及具体条目	时段		$t$	$P$
	运动前( $t_0$ )	运动后( $t_5$ )		
多动冲动	20.15±3.43	12.92±2.01	13.885	0.000**
1.在座位上玩弄手脚或不好好坐着	2.61±0.50	1.30±0.48	9.815	0.000**
2.在教室或其他必须持续坐着的场合会随意离开座位	2.15±0.55	1.23±0.43	6.743	0.000**
3.在不适当的场合乱跑或爬高爬低	2.15±0.80	1.15±0.37	5.099	0.000**
4.很难安静地玩或参与休闲活动	2.61±0.50	1.76±0.43	4.430	0.001**
5.总是一直在动	2.69±0.48	1.61±0.50	6.062	0.000**
6.话很多	2.53±0.51	1.53±0.66	8.832	0.000**
7.在问题还没问完前就急着回答	1.69±0.63	1.15±0.37	3.742	0.003**
8.在游戏中或团体活动中,无法排队或等待轮流	1.92±0.64	1.76±0.43	1.477	0.165
9.打断或干扰别人	1.76±0.72	1.38±0.50	2.132	0.054



2.1.4 对立违抗

中等强度运动前( $t_0$ )、运动后( $t_5$ )ADHD 儿童对立违抗得分情况分析结果显示:运动前、后 ADHD 儿童对立违抗得分差异非常显著( $t=5.730, P=0.000$ ),运动后 ADHD

儿童对立违抗得分低于运动前,具体表现在对立违抗条目 1( $t=5.196, P=0.000$ )、条目 2( $t=3.411, P=0.005$ )、条目 3( $t=3.207, P=0.008$ )、条目 4( $t=2.739, P=0.018$ )、条目 6( $t=3.333, P=0.006$ )的显著降低(表 3)。

表 3 运动前、后对立违抗得分均值比较

Table 3 Comparison of Mean Values of Oppositional Defiance before and after Exercise

$n=13$

维度及具体条目	时段		$t$	$P$
	运动前( $t_0$ )	运动后( $t_5$ )		
对立违抗	13.31±3.17	9.62±1.44	5.730	0.000**
1.发脾气	2.15±0.55	1.23±0.43	5.196	0.000**
2.与大人争论	1.84±0.68	1.23±0.43	3.411	0.005**
3.主动地反抗或拒绝大人的要求与规定	2.00±0.70	1.53±0.51	3.207	0.008**
4.故意地做一些事去干扰别人	1.84±0.55	1.46±0.66	2.739	0.018*
5.因自己犯的错或不适当的行为而怪罪别人	1.15±0.55	1.00±0.40	1.000	0.337
6.易怒或很容易被别人激怒	2.07±0.95	1.30±0.48	3.333	0.006**
7.生气和(或)怨恨	1.23±0.72	0.92±0.49	1.760	0.104
8.恶意或有报复心	0.92±0.27	1.00±0.00	-1.000	0.337

注:\* $0.01 < P < 0.05$ ,下同。

2.2 运动前、后 HRV 的变化特征

中等强度运动前( $t_0$ )、运动后( $t_5$ )ADHD 儿童 HRV 指标分析结果显示:运动后( $t_5$ )RMSSD、SDNN、HF、LF、TP 等参数显著低于运动前( $t_0$ )( $P=0.002, P=0.002, P=0.025, P=0.01, P=0.003$ );运动后( $t_5$ )LF/HF 与运动前( $t_0$ )不存在显著差异( $t=-1.069, P=0.306$ )。表明中等强度运动对 RMSD、SDNN、HF、LF、TP 参数产生了一定程度上的抑制作用,运动后 HRV 低于运动前(表 4)。

表 4 运动前、后 HRV 参数的均值比较

Table 4 Comparison of Mean Values of HRV Parameters before and after Exercise

$n=13$

指标	时段		$t$	$P$
	运动前( $t_0$ )	运动后( $t_5$ )		
RMSSD/ms	30.63±16.05	13.62±8.98	3.969	0.002**
SDNN/ms	52.51±15.97	35.28±13.62	3.813	0.002**
HF/ms <sup>2</sup>	530.97±610.11	112.22±185.96	2.553	0.025*
LF/ms <sup>2</sup>	987.35±839.20	274.96±293.05	3.067	0.010*
LF/HF	3.36±2.09	4.64±4.37	-1.069	0.306
TP/ms <sup>2</sup>	2 471.54±1 688.65	911.96±1 177.17	3.708	0.003**

2.3 运动期间 HRV 的时段差异

2.3.1 RMSSD

中等强度运动期间 4 个时段( $t_1, t_2, t_3, t_4$ )RMSSD 参数的平均值单因素重复测量方差分析结果显示:运动期间 RMSSD 时段差异显著 [ $F_{(1.575, 142.981)}=9.995, P=0.002$ ]。事后成对比较显示: $t_1$ 与 $t_2, t_1$ 与 $t_3, t_1$ 与 $t_4$ ,后者的 RMSSD 低于前者,差异非常显著( $P=0.000, P=0.005, P=0.004$ ); $t_2$ 与 $t_4, t_3$ 与 $t_4$ ,后者的 RMSSD 低于前者,无显著差异( $P=0.683,$

$P=0.202$ ); $t_2$ 与 $t_3$ ,后者的 RMSSD 高于前者,无显著差异( $P=0.744$ )。该结果及各时段 RMSSD 参数平均数表明,运动期间 $t_1$ 时段的 RMSSD 参数均高于 $t_2, t_3, t_4$ 时段,其中 $t_2, t_3, t_4$ 时段变化无显著差异(图 3)。

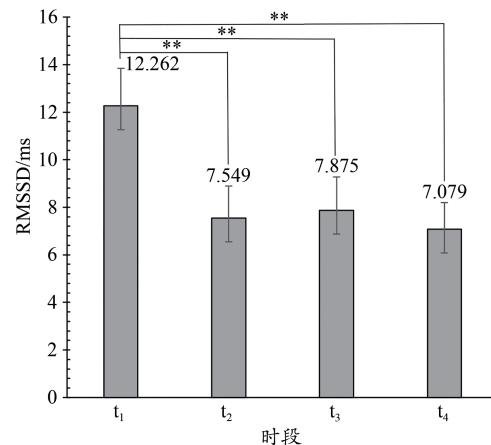


图 3 4 个时段 RMSSD 示意图

Figure 3. Schematic Diagram of RMSSD of Four Periods

2.3.2 SDNN

中等强度运动期间 4 个时段( $t_1, t_2, t_3, t_4$ )SDNN 参数的平均值通过单因素重复测量方差分析,结果显示:运动期间 SDNN 时段差异显著 [ $F_{(3, 1 337.241)}=13.357, P=0.000$ ]。事后成对比较显示: $t_1$ 与 $t_2, t_1$ 与 $t_3, t_1$ 与 $t_4$ ,后者的 SDNN 低于前者,差异非常显著( $P=0.002, P=0.001, P=0.001$ ); $t_2$ 与 $t_3, t_2$ 与 $t_4, t_3$ 与 $t_4$ ,后者的 SDNN 低于前者,无显著差异( $P=0.626, P=0.361, P=0.636$ )。该结果及各时段 SDNN 参数平均数表明,运动期间第 1 时段的 SDNN 参数均高于第 2、3、4 时段,其中第 2、3、4 时段变化无显著差异(图 4)。

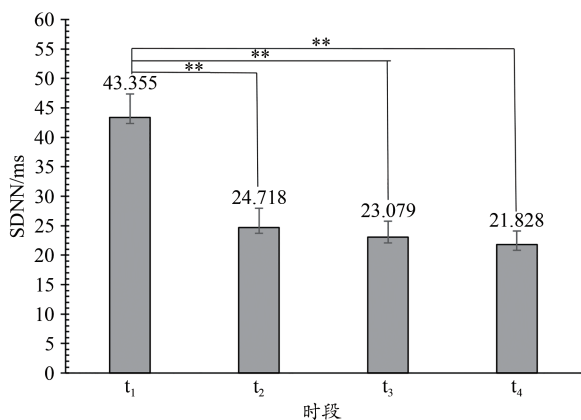


图 4 4 个时段 SNDD 示意图

Figure 4. Schematic Diagram of SNDD of Four Periods

### 2.3.3 HF

中等强度运动期间 4 个时段(t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>)HF 参数的平均值通过单因素重复测量方差分析,结果显示:运动期间 HF 时段差异不显著[F<sub>(1,212, 9 550.385)</sub>=3.370, P=0.081]。事后成对比较显示:t<sub>1</sub>与 t<sub>2</sub>,后者的 HF 低于前者,差异显著(P=0.018);t<sub>1</sub>与 t<sub>3</sub>、t<sub>1</sub>与 t<sub>4</sub>、t<sub>2</sub>与 t<sub>4</sub>、t<sub>3</sub>与 t<sub>4</sub>,后者的 HF 低于前者,无显著性差异(P=0.084、P=0.102、P=0.985、P=0.856);t<sub>2</sub>与 t<sub>3</sub>,后者的 HF 高于前者,无显著差异(P=0.977)。该结果及各时段 HF 参数平均数表明,运动期间第 1 时段的 HF 参数均高于第 2、3、4 时段,但仅有第 1 时段和第 2 时段存在差异,整个运动期间变化无差异(图 5)。

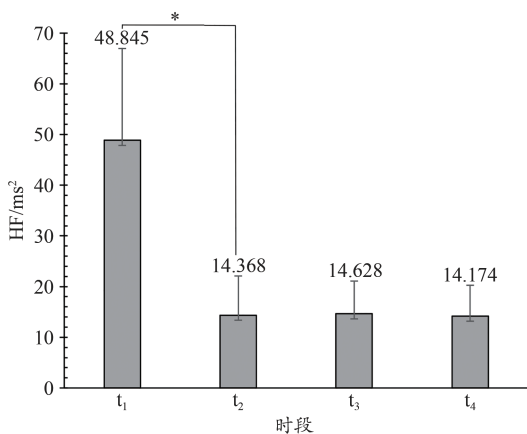


图 5 4 个时段 HF 示意图

Figure 5. Schematic Diagram of HF of Four Periods

### 2.3.4 LF

中等强度运动期间 4 个时段(t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>)LF 参数的平均值通过单因素重复测量方差分析,结果显示:运动期间 LF 时段差异显著[F<sub>(1,395, 38 126.568)</sub>=4.659, P=0.035]。事后成对比较显示:t<sub>1</sub>与 t<sub>2</sub>、t<sub>1</sub>与 t<sub>3</sub>、t<sub>1</sub>与 t<sub>4</sub>、t<sub>3</sub>与 t<sub>4</sub>,后者的 LF 低于前者,差异显著(0.01 < P < 0.05);t<sub>2</sub>与 t<sub>3</sub>、t<sub>2</sub>与 t<sub>4</sub>,后者的 LF 低于前者,无显著差异(P > 0.05)。该结果及各时段 LF 参数平均数表明,运动期间第 1 时段的 LF 参数均高于第 2、3、

4 时段且第 3 时段过后出现第 2 次显著下降(图 6)。

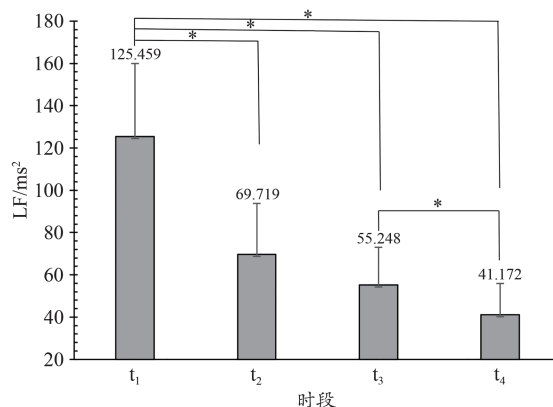


图 6 4 个时段 LF 示意图

Figure 6. Schematic Diagram of LF of Four Periods

### 2.3.5 LF/HF

中等强度运动期间 4 个时段(t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>)LF/HF 参数的平均值通过单因素重复测量方差分析,结果显示:运动期间 LF/HF 时段特征差异非常显著[F<sub>(3, 53, 214)</sub>=4.718, P=0.007]。事后成对比较显示:t<sub>1</sub>与 t<sub>2</sub>,后者的 LF/HF 高于前者的 LF/HF,差异非常显著(P=0.001);t<sub>1</sub>与 t<sub>3</sub>、t<sub>1</sub>与 t<sub>4</sub>、t<sub>2</sub>与 t<sub>3</sub>、t<sub>2</sub>与 t<sub>4</sub>、t<sub>3</sub>与 t<sub>4</sub>,后者的 LF/HF 低于前者,无显著差异(P > 0.05)。该结果及各时段 LF/HF 参数平均数表明,第 2 时段 LF/HF 参数显著高于第 1 时段,运动至第 2 时段时 LF/HF 显著上升,而后第 3、4 时段开始下降且与第 1 时段无差异(图 7)。

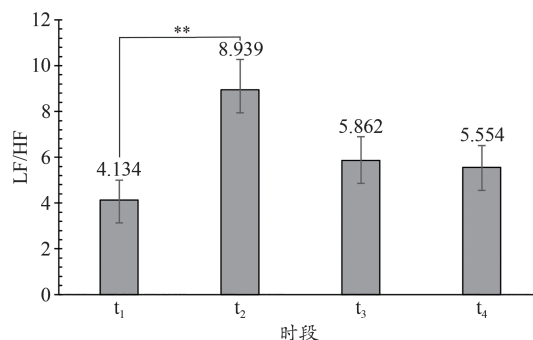


图 7 4 个时段 LF/HF 示意图

Figure 7. Schematic Diagram of LF/HF of Four Periods

### 2.3.6 TP

中等强度运动期间 4 个时段(t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>3</sub>、t<sub>4</sub>)TP 参数的平均值通过单因素重复测量方差分析,结果显示:运动期间 TP 时段特征差异显著[F<sub>(3, 930 790.430)</sub>=3.221, P=0.034]。事后成对比较显示:t<sub>1</sub>与 t<sub>4</sub>,后者的 TP 低于前者,差异显著(P=0.014);t<sub>1</sub>与 t<sub>2</sub>、t<sub>1</sub>与 t<sub>3</sub>、t<sub>2</sub>与 t<sub>3</sub>、t<sub>2</sub>与 t<sub>4</sub>、t<sub>3</sub>与 t<sub>4</sub>,后者的 TP 低于前者,无显著差异(P > 0.05)。该结果及各时段 TP 参数平均值表明,第 1、2、3 时段 TP 下降不明显,至第 4 时段出现差异(图 8)。

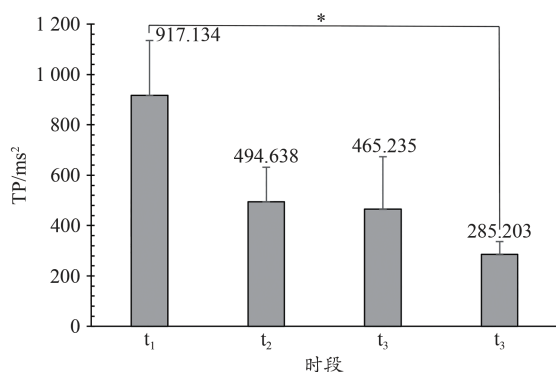


图8 4个时段TP示意图

Figure 8. Schematic Diagram of TP of Four Periods

### 3 分析与讨论

#### 3.1 运动前、后 ADHD 儿童问题行为变化特点

有关单次运动干预方案的研究,2018年美国卫生与公众服务部发布的《美国人身体活动指南》提出了关于单次运动对认知功能和大脑健康的作用,这对单次运动干预方案促进认知功能(注意力、执行功能、信息处理等)的应用具有重要意义,此前单次运动对认知功能和大脑健康的科学证据尚未成熟,因此一次性运动方案未被重视和选择(Chang et al., 2019)。单次运动方案干预后产生的积极影响能够持续维持数分钟,则表明干预具有一定的意义(Ludyga et al., 2020)。运动 20 min 能够对大脑健康和认知功能产生效益,特殊人群(包括 ADHD 儿童)相比于正常人群的效应量更高(Chang et al., 2019)。有学者开展了有关单次运动对认知功能和大脑健康的试探性研究(Tsai et al., 2021)。也有研究采用间隔 10 min(王肖等, 2019)和 20 min(李文川等, 2005)的方法进行了重复测量。本研究以单次 20 min 中等强度运动为干预方案,采用间隔 20 min 完成了 2 次对 ADHD 儿童问题行为测量,并以注意力不集中、多动冲动、对立违抗为 ADHD 儿童的问题行为评价指标。通过对比中等强度运动前、后 ADHD 儿童的问题行为状态,发现运动后 ADHD 儿童注意力不集中、多动冲动、对立违抗 3 个方面明显改善,说明中等强度运动后 ADHD 儿童在一段时间(5 min)内主动违抗被充分抑制,注意力稳定性显著提升,尖叫、乱跑、乱爬等行为显著减少,自我调控能力显著增强。

有关单次运动引起 ADHD 儿童问题行为改善的机制,相关研究表明,ADHD 的主要问题症状通常与额部执行障碍有关(Fournier et al., 2020)。ADHD 儿童与正常儿童的脑拓扑结构在全脑网络和功能子网络层面存在一定差异,尤其是额叶功能(Gracia-Tabuenca et al., 2020)。额叶功能异常会导致注意力不集中、多动冲动、对立违抗等病理症状,上述症状与执行功能密切相关(Silverstein et al., 2020)。运动可促进额叶功能发展(Jiang et al., 2022)。单次运动不仅能够激活前额叶皮层功能,前期研究还表明,

单次运动一方面可能诱发疲劳,另一方面能诱导多巴胺释放,产生积极情绪,弱化消极情绪,进而促进认知的改善,执行功能的提升以及情绪状态的积极变化(张韧仁等, 2013; Tsai et al., 2021)。提示,运动导致的上述生化反应、情绪变化、认知改善、执行功能提升积极影响 ADHD 问题行为的相关指标。也有研究表明,疲劳对注意力、情绪状态等存在负面影响(Krabbe et al., 2017)。鉴于此,本研究认为,ADHD 儿童问题行为相关指标的变化是由运动直接引起的。

综上所述,单次 20 min 中等强度运动对改善 ADHD 儿童问题行为具有一定积极作用,运动后产生的积极效益能持续至少 5 min,运动不仅能够较好激发 ADHD 儿童对体育锻炼的兴趣、产生积极情绪,而且还能一定程度上抑制多动冲动的问题行为、弱化攻击性的负性情绪。

#### 3.2 运动前、后 ADHD 儿童 HRV 的变化特点

HRV 的时域和频域指标能够反映 ANS 活性水平,变异程度与心血管的调控能力成正比(王兴泽等, 2021)。不同 HRV 指标所反映的问题指向具有一致性,ADHD 儿童对抗情绪、问题行为与迷走神经活动密切相关(Krasner et al., 2022),ADHD 儿童 HRV 恢复水平可能低于正常儿童(张润竹等, 2018)。目前鲜见有关 HRV 与 ADHD 问题行为(包括指标或维度)之间相关性的研究,暂无文献直接报道 HRV 与 ADHD 问题行为之间的直接相关性系数。但有研究表明,HRV 的频域指标与 ADHD 问题行为的注意缺陷维度之间存在显著相关性(赵娜等, 2017);HRV 与 ADHD 问题行为的多动行为和冲动情绪显著相关(张润竹等, 2018)。故本研究推断,HRV 与 ADHD 问题行为之间存在相关性。

本研究通过分析中等强度运动前、后 5 min HRV 参数,发现 HRV 时域和频域参数差异显著,时域指标(SDNN、RMSSD)与频域指标(TP、HF、LF)平均值显著低于运动前,是 ADHD 儿童参与急性运动后出现的正常变化,与王兴泽等(2021)研究结果一致,运动或常规训练会使 HRV 显著降低。中等强度运动后 RMSSD、HF 低于运动前,提示,运动对迷走和副交感神经产生抑制作用;SDNN、TP 低于运动前,提示,运动后 ANS 整体活性下降;LF 低于运动前,提示,运动对交感神经产生抑制作用;运动前、后 LF/HF 保持恒定,提示,交感神经与迷走神经均衡性的参数值始终保持平衡。本研究结果说明,中等强度运动使 ADHD 儿童 HRV 显著降低,原因可能是 ADHD 儿童生理状态的特殊性,运动前情绪和行为异常兴奋,使静息状态下 HRV 水平处于较高水平,以及在运动后恢复阶段 HRV 抑制时间延长(Robe et al., 2021),从而使 HRV 保持在较低的水平。

#### 3.3 运动期间 ADHD 儿童 HRV 的时段特征

本研究发现中等强度运动期间 4 个时段(t<sub>1</sub>~t<sub>4</sub>)RMS-

SD 差异显著,  $t_1$  显著高于  $t_2$ , 其余时段无显著差异, 表明  $t_2$  的 RMSSD 显著下降后逐渐恢复, 变化基本恒定; SDNN 差异显著,  $t_1$  显著高于  $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ , 其余时段无显著差异, 表明  $t_2$  的 SDNN 显著下降后保持在一个较低的水平; TP 差异显著,  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  时段无显著变化,  $t_4$  显著低于  $t_1$ , 表明  $t_4$  时段 TP 下降到一个显著较低的水平。可见, 运动初期 HRV 水平出现大幅下降, 主要表现为运动初期 SDNN、RMSSD 和 TP 大幅下降, 运动期间迷走神经被抑制, 使得 HRV 整体特征保持在较低水平, 应激后 ANS 调节能力增强且逐渐适应运动强度, 从而使 HRV 保持在稳定水平, 与宋涛 (2016)、Vacher 等 (2019) 的研究结果基本一致。

本研究发现, 中等强度运动期间 4 个时段 ( $t_1 \sim t_4$ ) HF 无显著差异, 仅  $t_1$  时段显著高于  $t_2$  时段, 表明  $t_2$  时段 HF 显著下降后, 随着运动的逐渐恢复, HF 处于稳定水平; 4 个时段 LF 差异显著,  $t_1$  时段显著高于  $t_2$  时段,  $t_3$  时段显著高于  $t_4$  时段, 表明  $t_1$  时段 LF 显著下降后,  $t_4$  时段再次显著下降; 4 个时段 LF/HF 差异显著,  $t_1$  时段显著高于  $t_2$  时段, 其他时段无显著差异, 表明  $t_2$  时段 LF/HF 显著上升, 之后开始逐渐下降, 直至稳定水平。可见, 运动期间 ADHD 儿童交感神经活动水平降低, 副交感神经变化无明显差异,  $t_2$  时段交感神经与副交感神经的均衡性显著上升, LF、HF 均低于  $t_1$  时段, 说明交感神经张力大于副交感神经, 但随着运动的继续, 交感与副交感神经的均衡性逐渐保持平衡; 而 LF 持续下降, 说明运动期间交感神经被抑制, 副交感神经被激活。本研究结果进一步解释了中等强度运动后交感神经、副交感神经同时下降的情况下, LF/HF 保持恒定; 验证了中等强度运动能增强 ADHD 儿童自我调节能力, 改善问题行为。王兴泽等 (2021) 研究发现, 副交感神经的激活提示 ANS 调节能力增强, 从而提高受试者的自我控制能力, 与本研究结果一致。

综上所述, 运动期间 HRV 时段特征产生了一定程度上的改变, 运动抑制了 ADHD 儿童交感神经和迷走神经的活性, 从而显著降低  $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$  时段的 RMSSD、SDNN、LF 参数值; 其中 RMSSD、SDNN 的变化集中于  $t_1$  时段, LF 的变化集中于  $t_1$  时段和  $t_3$  时段。然而, ADHD 儿童交感神经降低伴随着副交感神经的活性在一定程度上得到激活, 使交感神经与副交感神经之比始终保持平衡, 进一步揭示了中等强度运动带来的积极效应的生理基础, 提示, HRV 可以作为测评运动干预 ADHD 儿童问题行为效果的生理指标。此外, 后续可扩大研究范围和样本量, 完善可直接观测的心理和行为指标, 延长对 ADHD 儿童 HRV 的监测时间, 增加对运动期间行为和情绪的测评。

#### 4 结论

1) 单次中等强度运动能一定程度上弱化 ADHD 儿童多动、易怒、对抗以及攻击等负面情绪, 突出表现为有效改

善运动后问题行为、注意力不集中、多动冲动、对立违抗。

2) 单次中等强度运动能一定程度上降低 ADHD 儿童 HRV 水平, 且运动期间呈逐步下降趋势, 提示, 中等强度运动可以通过增强 ADHD 儿童 ANS 功能的调节能力, 而为其问题行为的改善提供生理基础。

3) 单次中等强度运动在改善 ADHD 儿童问题行为的同时, 伴随着 HRV 水平的相应降低, 提示, HRV 可以作为测评运动干预 ADHD 儿童问题行为效果的生理指标。

#### 参考文献:

- 李文川, 刘春梅, 2005. 不同强度一次性有氧运动对不同锻炼频度女大学生状态焦虑的影响 (英文) [J]. 中国临床康复, (40): 183-185.
- 林华, 贺业恒, 徐瑞, 2016. 心率变异性在大众健身领域的研究进展与展望 [J]. 体育科学, 36(6): 55-60, 83.
- 刘阳, 杨宁, 2018. 定向运动练习对 ADHD 儿童认知能力影响的实验研究 [J]. 中国特殊教育, (11): 39-44.
- 舒瑶, 张英波, 2021. 运动疗法对儿童多动症影响的研究综述 [J]. 中国特殊教育, (9): 47-53.
- 宋涛, 2016. 24 式太极拳运动前、中、后 HRV 的变化特征 [J]. 中国体育科技, 52(1): 78-83, 112.
- 苏余, 张韧仁, 陈宏, 等, 2019. 运动干预改善注意缺陷多动障碍儿童平衡能力及认知功能研究 [J]. 四川体育科学, 38(6): 51-54, 67.
- 王肖, 高淑, 2019. 急性中等强度有氧运动影响情绪的时程效应 [C]// 第十一届全国体育科学大会论文摘要汇编. 南京: 中国体育科学学会: 5290-5291.
- 王兴泽, 于杰, 陈佩杰, 2021. 基于心率变异性监测中医刮痧抗运动性疲劳的效果 [J]. 上海体育学院学报, 45(7): 76-83.
- 许明超, 蒋长好, 2021. 身体活动改善注意缺陷多动障碍儿童认知神经功能的系统综述 [J]. 中国康复理论与实践, 27(12): 1422-1429.
- 杨波, 2021. ADHD 儿童执行功能的运动干预效果 Meta 分析 [J]. 中国体育科技, 57(8): 96-102.
- 张韧仁, 周成林, 2013. 一次性身体活动期间情绪变化及其短期情绪效益 [J]. 体育科学, 33(1): 52-61, 71.
- 张润竹, 赵一萌, 秦荣彩, 等, 2018. 学前儿童迷走神经活动与情绪反应、情绪调节及冲动性的关系 [J]. 心理发展与教育, 34(1): 1-9.
- 赵娜, 任凤龙, 程海燕, 2017. 注意力缺陷多动障碍患儿哌甲酯治疗期间心率变异性变化的临床研究 [J]. 实用药物与临床, 20(8): 913-916.
- 朱琳, 李斐, 陈立, 2020. 4 种常见评定量表在儿童注意缺陷多动障碍诊断与随访管理中的应用 [J]. 重庆医科大学学报, 45(1): 32-35.
- CHANG Y K, ERICKSON K I, STAMATAKIS E, et al., 2019. How the 2018 US physical activity guidelines are a call to promote and better understand acute physical activity for cognitive function gains [J]. Sports Med, 49(11): 1625-1627.
- DOLEZAL B A, CHUDZYNSKI J, DICKERSON D, et al., 2014. Exercise training improves heart rate variability after methamphetamine dependency [J]. Med Sci Sports Exerc, 46(6): 1057-1066.
- FOURNIER A, GAUTHIER B, GUAY M C, et al., 2020. Design fluency in children with ADHD and comorbid disorders [J]. Brain Sci, doi: 10.3390/brainsci10030172.
- GRACIA-TABUENCA Z, DÍAZ-PATÍÑO J C, ARELIO I, et al., 2020. Topological data analysis reveals robust alterations in the whole-brain and frontal lobe functional connectomes in attention-deficit/hy-



- peractivity disorder[J].eNeuro,doi: 10.1523/ENEURO.0543-19.2020.
- GROENEVELD K M, MENNENGA A M, HEIDELBERG R C, et al., 2019. Z-score neurofeedback and heart rate variability training for adults and children with symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder: A retrospective study [J]. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 44(4): 291-308.
- HAMMAMI A, KASMI S, RAZGALLAH M, et al., 2017. Recreational soccer training improves heart-rate variability indices and physical performance in untrained healthy adolescent [J]. *Sport Sci Health*, 13(3): 507-514.
- ISAR N E N M, HALIM M H Z A, ONG M L Y, 2022. Acute massage stimulates parasympathetic activation after a single exhaustive muscle contraction exercise[J]. *J Bodyw Mov Ther*, 30: 105-111.
- JIANG K, XU Y, LI Y, et al., 2022. How aerobic exercise improves executive function in ADHD children: A resting-state fMRI study[J]. *Int J Dev Neurosci*, 82(4): 295-302.
- KRABBE D, ELLBIN S, NILSSON M, et al., 2017. Executive function and attention in patients with stress-related exhaustion: Perceived fatigue and effect of distraction[J]. *Stress*, 20(4): 333-340.
- KRASNER A, DENNIS M, SHOULBERG E K, et al., 2022. ADHD behaviors and social functioning in preschool children: The moderating role of emotion recognition[J]. *J Psychopathol Behav Assess*, 44(3): 725-737.
- LAMBEZ B, HARWOOD-GROSS A, GOLUMBIC E Z, et al., 2020. Non-pharmacological interventions for cognitive difficulties in ADHD: A systematic review and Meta-analysis [J]. *J Psychiatr Res*, 120: 40-55.
- LEE Y H, OUYANG C S, CHIU Y H, et al., 2022. Early and objective evaluation of the therapeutic effects of ADHD medication through movement analysis using video recording pixel subtraction[J]. *Int J Environ Res Public Health*, doi: 10.3390/ijerph19063163.
- LUDYGA S, GERBER M, MÜCKE M, et al., 2020. The acute effects of aerobic exercise on cognitive flexibility and task-related heart rate variability in children with ADHD and healthy controls[J]. *J Atten Disord*, 24(5): 693-703.
- PAN C Y, TSAI C L, CHU C H, et al., 2019. Effects of physical exercise intervention on motor skills and executive functions in children with ADHD: A pilot study[J]. *J Atten Disord*, 23(4): 384-397.
- POSNER J, POLANCZYK G V, SONUGA-BARKE E, 2020. Attention-deficit hyperactivity disorder[J]. *Lancet*, 395(10222): 450-462.
- ROBE A, PĂSĂRELU C R, DOBREAN A, 2021. Exploring autonomic regulation in children with ADHD with and without comorbid anxiety disorder through three systematic levels of cardiac vagal control analysis: Rest, reactivity, and recovery[J]. *Psychophysiology*, doi: 10.1111/psyp.13850.
- SILVERSTEIN M J, FARAONE S V, LEON T L, et al., 2020. The relationship between executive function deficits and DSM-5-defined ADHD symptoms[J]. *J Atten Disord*, 24(1): 41-51.
- TSAI Y J, HSIEH S S, HUANG C J, et al., 2021. Dose-response effects of acute aerobic exercise intensity on inhibitory control in children with attention deficit/hyperactivity disorder [J]. *Front Hum Neurosci*, doi: 10.3389/fnhum.2021.617596.
- VACHER P, FILAIRE E, MOUROT L, et al., 2019. Stress and recovery in sports: Effects on heart rate variability, cortisol, and subjective experience[J]. *Int J Psychophysiol*, 143(1): 25-35.

(收稿日期:2022-05-26; 修订日期:2023-04-21; 编辑:尹航)

