

八段锦锻炼对服刑人员前额叶皮层血流动力学特征的影响： 来自功能性近红外的证据

刘洋^{1,2}, 张哲³, 张豪天⁴, 徐航宇⁴, 苏健蛟^{1,4,5}

(1.武汉体育学院 东北亚民族传统体育研究中心, 湖北 武汉 430079;

2.国家体育总局武术运动管理中心, 北京 100029; 3.中央司法警官学院, 河北 保定 071000;

4.武汉体育学院 武术学院, 湖北 武汉 430079; 5.湖北省非物质文化遗产研究中心, 湖北 武汉 430079)

摘 要: 考察八段锦锻炼对服刑人员前额叶皮层的影响并分析心理健康促进的应用价值, 为特殊场所制定科学的锻炼方案提供参考。从某监狱 13 个监区招募男性服刑人员 129 名。依据 SCL-90 量表测评结果, 交叉验证监狱心理咨询师的评估意见, 对受试者心理健康水平进行划分。共计 117 名服刑人员完成全部实验流程, 其中对照组 53 人、实验组 64 人。采用 fNIRS 采集前额叶皮层血流动力学指标, 所有受试者接受每周 3 次、每次 40 min、共 12 周的中低强度八段锦锻炼干预后, 使用二元 Logistic 回归分析筛选相关指标并进行工作特征曲线分析。结果显示: 实验组干预后, 前额叶区域激活水平较干预前显著升高; 二元 Logistic 回归分析表明, 实验组积分值与前额叶区激活水平有关; ROC 分析表明, 实验组前额叶区积分值的曲线下面积为 0.770, 最佳诊断界值为 209.50 mm*mm, 敏感度为 56.6%, 特异度为 84.4%。研究认为: 八段锦作为一种有氧运动, 在锻炼过程中能够有效提升心理异常服刑人员前额叶皮层的血流动力学特征, 显著激活前额叶皮层功能活动, 改善前额叶神经激活模式, 为服刑人员心理健康改善提供神经生理基础。

关 键 词: 运动生理学; 八段锦锻炼; 前额叶皮层; 血流动力学; 功能性近红外光谱技术

中图分类号: G804.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2026)05-0152-07

Effect of Baduanjin exercise on blood flow dynamics characteristics in prefrontal cortex of prisoners: Evidence from the functional near-infrared spectroscopy

LIU Yang^{1,2}, ZHANG Zhe³, ZHANG Haotian⁴, XU Hangyu⁴, SU Jianjiao^{1,4,5}

(1. Research Centre for Northeast Asian Ethnic Traditional Sports, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China;

2. Wushu Administrative Center of the General Administration of Sport of China, Beijing 100029, China;

3. National Police University for Criminal Justice, Baoding 071000, China;

4. College of Wushu, Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China;

5. Hubei Provincial Research Center for Intangible Cultural Heritage, Wuhan 430079, China)

Abstract: To investigate the effects of Baduanjin exercise on the blood flow dynamic characteristics of the prefrontal cortex in prisoners with different mental health statuses, exploring its multifaceted fitness value and providing a reference for prison authorities in implementing scientific exercise programs. 129 male inmates were recruited from 13 prison wards to participate in the test, and based on the results of the SCL-90 scale and cross-validation by prison psychologists, a total of 117 people completed the overall experiment, including 53 people in the control group and 64 people in the experimental group. Near-infrared brain functional imaging was

收稿日期: 2026-03-09

基金项目: 湖北省教育厅哲学社会科学项目(25D095); 山西省第三监狱科技服务项目(JF20230201)。

作者简介: 刘洋(1982-), 男, 硕士, 研究方向: 校园武术可行性研究、武术散打可持续发展研究。E-mail: ly5255@126.com

通信作者: 苏健蛟

used to collect blood flow dynamic characteristics of the prefrontal cortex. After a 12-week Baduanjin intervention conducted three times per week, 40 minutes per session, at low-to-moderate intensity, binary logistic regression analysis was used to identify key indicators affecting prefrontal cortex activation, followed by receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. Results show that after the intervention, the experimental group showed higher activation in the prefrontal cortex than before the intervention, and no significant change was observed in the control group. Binary logistic regression showed that the integral value in the experimental group was associated with prefrontal activation. ROC analysis showed an area under the curve of 0.770 for the prefrontal integral value in the experimental group, yielding a sensitivity of 56.6% and specificity of 84.4%. Conclusion is that as an aerobic exercise, Baduanjin can effectively improve the flood flow dynamic characteristics of the prefrontal cortex for prisoners, significantly activating the functional activity of the prefrontal cortex and improving the neural activation pattern of the prefrontal cortex, providing a neurophysiological basis for improving the mental health of them.

Keywords: sports physiology; Baduanjin exercise; prefrontal cortex; blood flow dynamics; functional near-infrared spectroscopy technology

随着《“健康中国 2030”规划纲要》的实施以及“体医融合”概念的提出,被誉为“动药”的太极拳、八段锦等传统体育项目在精神卫生领域得到高度重视^[1]。八段锦作为一项有氧运动,动作柔和、舒缓,强调肢体运动与呼吸配合的练习形式,具有调身、调心和调息的健身功能^[2]。前额叶皮层是情绪调节与注意分配的重要脑区,其功能状态映射出个体心理健康水平。近期研究表明,焦虑状态会显著抑制前额叶皮层的大脑活动,导致血氧浓度变化异常^[3]。临床研究显示,八段锦锻炼可以通过改善抑郁和焦虑等负性情绪^[4]、改变大脑神经活动和功能连接^[5]、调节大脑神经递质分泌^[6-7]等途径促进心理健康。服刑人员作为特殊群体,长期生活于封闭的监管环境中,在面对心理问题时普遍存在不愿求助现象并存在强烈病耻感^[8]。研究发现,20%的服刑人员有心理疾病,70%服刑人员的认知能力低于正常群体水平^[9]。另外,监管环境会让服刑人员的行为模式产生一系列改变,而且服刑期限越长所受影响越明显^[10]。因此,探索八段锦锻炼对服刑人员身心健康的调节机制具有重要的临床价值。

近年来,运动与认知神经科学的交叉研究进入快速发展阶段,尤其是通过近红外脑功能成像技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)和语言流畅性任务(verbal fluency task, VFT)在客观诊断前额叶皮层激活与认知功能表现方面的研究备受关注,且已证实认知功能较差的患者在执行动态任务过程中前额叶皮层激活水平较低^[11]。目前,八段锦锻炼相关研究多聚焦于老年人和慢性病患者,而针对服刑人员心理健康干预的研究仍较少,尤其是结合脑功能证据开展分析的研究更为有限。基于此,本研究选取服刑人员作为研究对象,实施为期12周的八段锦锻炼干预。采用fNIRS记录VFT任务中的前额叶皮层血流动力学变

化,旨在分析八段锦锻炼对服刑人员前额叶功能活动的影响,为监狱管理部门制定科学运动方案提供理论参考。本研究提出以下假设:H1:12周八段锦锻炼可提高心理异常服刑人员在VFT任务中的前额叶皮层激活水平;H2:前额叶皮层氧合血红蛋白积分值可能反映服刑人员的心理健康状态,并对心理异常风险具有一定识别价值。

1 研究对象与方法

1.1 实验对象

以同期关押在S省L市监狱13个监区的129名男性服刑人员为实验对象。样本量依据G*Power 3.1软件估算^[12],根据既往类似研究,将效应量设定为 $f=0.25$,检验功效设为0.80,显著性水平为 $\alpha=0.05$ 。结果显示,本研究所需最小样本量为111人。研究实际纳入129名受试者,以确保统计功效满足要求并提高结果稳健性。纳入标准:(1)自愿参与并同意接受fNIRS采集和八段锦锻炼干预;(2)无脑创伤,近3个月内未服用过镇静或抗炎症药物或者安眠药;(3)身体运动能力正常;(4)四肢健全;(5)右利手;(6)无传染性疾病、造血或内分泌系统疾病、代谢性疾病、运动禁忌症等由于躯体疾病不能参加运动者。排除标准:(1)酒精及其他药物滥用者;(2)感染疾病者;(3)患有精神疾病者;(4)未签署知情同意书者。研究伦理审批号:2023059。

1.2 研究方法

1)人口学资料收集。被试者姓名、身高、体重、出生日期、文化程度、婚姻状况、已服刑期、犯罪类型、既往病史等一般人口学资料由监狱管理部门提供,睡眠时间、BMI等由研究者对其进行收集与统计。

2)心理健康评定与实施流程。干预前,被试者统

一填写 SCL-90 量表^[13]。参照相关评定标准,将总症状指数 ≥ 2 且因子平均分 ≥ 2 ^[14]者判定为阳性并纳入实验组。随后,由监狱心理咨询师对分组结果进行面谈核验,以减少单一量表评定可能带来的偏差。Knapp^[15]提出,在特定临床或现场研究中,单组前后测设计或非随机对照设计在无法剥夺干预机会的现实情境下具有重要的应用价值。

鉴于监狱管理的统一性和伦理考量,本研究采用不同心理特征群体的对照比较设计,将心理健康正常

人员设为对照组,所有纳入研究的受试者均接受 12 周八段锦锻炼干预。被试者以监区为单位进行集体锻炼,每周 3 次、每次 40 min,期间未额外安排其他运动干预,两组在锻炼时间、锻炼内容、组织形式和指导方式上保持一致。锻炼期间因疾病和禁闭等情况退出 12 人(正常 7 人、焦虑症状 3 人、抑郁症状 2 人),最终完成锻炼人员为 117 人。其中,对照组为 53 名,实验组为 64 名,锻炼时间为 2023 年 6—10 月,实施流程见图 1。

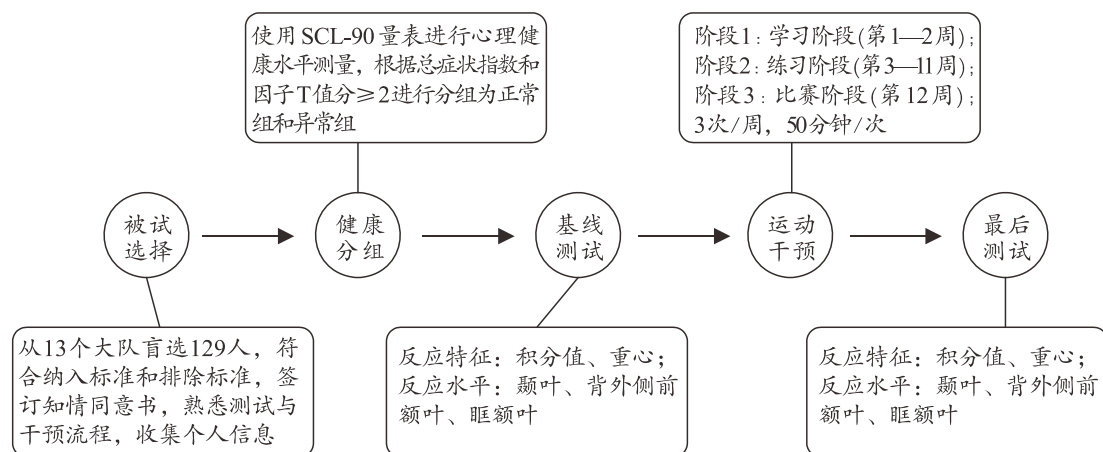


图 1 实施流程情况

3)锻炼方案实施过程。(1)热身阶段(5 min):进行简单的伸展和放松动作,预热身体以减少运动伤害。(2)八段锦练习阶段(30 min):包括 8 个柔和动作,动作设计强调身体姿势、气息调节与情绪放松。每个动作在指导员带领下逐步进行。(3)放松与冥想阶段(5 min):通过深呼吸和冥想帮助参与者放松,缓解运动中的紧张感,促进身心平衡。

4)VFT 任务^[16]。语言流畅性测验任务是评估前额叶执行功能及语义记忆的有效测验工具,所有被试者使用 VFT 任务激活前额叶皮层血流动力学反应特征。

依照以往标准化范式,本研究采取单次长区组设计 VFT 任务组词流畅性范式,记录受试者产生的有效词数及错误率,共包含 3 个阶段(见图 2),数据分析主要选取任务执行期数据。在进行 VFT 任务的同时对被试者进行 fNIRS 脑成像检测。被试者进入测试区域后静坐一段时间并熟悉环境,消除紧张情绪,然后佩戴 fNIRS 头帽。要求被试者放松并坐于有靠背的椅子上,测试期间尽量保持头部及躯干不动。对记录的行为数据与 HbO₂变化数据进行皮尔逊相关分析,以探讨脑激活与行为表现的关系^[17]。

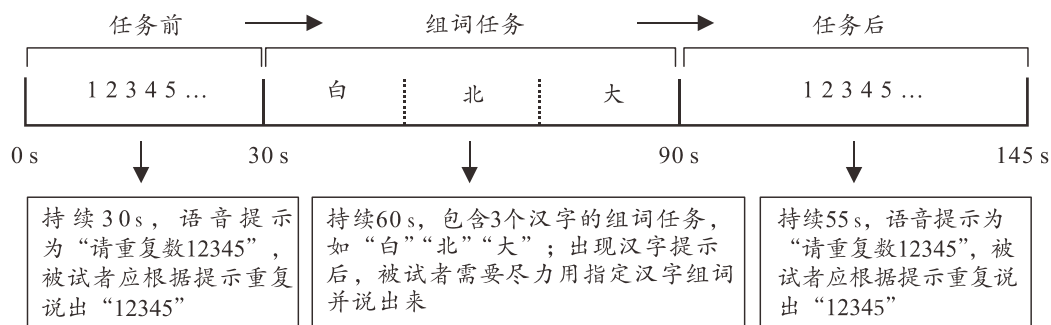


图 2 任务流程

5)fNIRS 脑成像检测。检测设备为丹阳慧创 fNIRS(NirScan-6000),采集头帽基于 10/20 国际标准导联系统设计,由 7 个接收探头、7 个发射探头组成 19 个通道(见图 3)。光源和探头间的距离均值为 3 cm(范围为 2.7~3.3 cm),光源发射 730 nm 和 850 nm 两个波长的近红外光,采样频率为 11 Hz。根据 Brodmann 分区原理及神经解剖学中神经元的组织方式,前额叶皮层设计实验 SD 模板定位于左背外侧前额叶(Left dorsolateral prefrontal cortex, LDLPFC)、右背外侧前额叶(Right dorsolateral prefrontal cortex, RDLPFC)、眶额区(Orbital frontal cortex, OFC)^[17]。

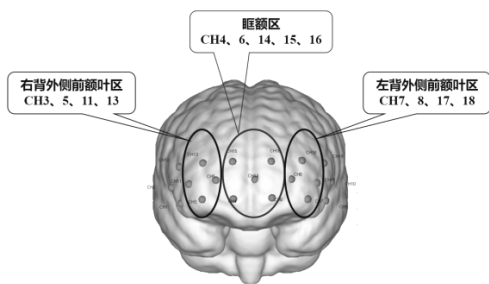


图 3 拓扑通道分布

6)数据处理。本研究使用 NirSpark 软件处理 fNIRS 原始数据。处理步骤如下:(1)去除与试验无关的时间段和运动伪迹;(2)将光强度信号转换为光密度;(3)采用 0.01~0.1 Hz 带通滤波,以减少高频噪声和低频漂移;(4)结合运动伪迹检测与短程通道回归对信号进行校正,并剔除信噪比低于 10 dB 的通道;(5)依据修正的 Beer-Lambert 定律,计算 HbO₂和脱氧血红蛋白的浓度变化。

对每个通道,提取任务执行阶段的 HbO₂时域响应曲线并计算积分值(area under the curve, AUC)与重心值(center of gravity, COG)。AUC 定义为任务期间 HbO₂浓度变化曲线下的面积总和,积分值反映大脑在执行认知任务期间神经激活的强度总量和血液供应的累积效应,数值越高代表募集的神经资源越多。COG 为 HbO₂血流动力学响应曲线的时间加权平均点,反映大脑血流动力学响应的时效性。该值越小,表明 HbO₂浓度的峰值出现越早。

1.3 统计学方法

本研究采用 2(组别)×2(时间)混合实验设计。数据经 Excel 2024 初步整理后使用 SPSS 27.0 进行统计分析。为控制潜在混杂因素,研究进一步构建线性混合效应模型,并将年龄、BMI 和睡眠时间作为协变量纳入分析,以评估八段锦锻炼对前额叶皮层激活变化的

独立影响。效应量以 Cohen's *d* 表示并计算 95% CI。使用二元 Logistic 回归分析筛选影响前额叶皮层激活的指标,筛选出来的指标进行 ROC 分析及计算 AUC,依据约登指数找出最佳诊断界值,以评价八段锦锻炼改善前额叶皮层激活的敏感度和特异度。分析结果用均值和标准差($M \pm SD$)表示,显著性水平设为 $\alpha = 0.05$ 。对所有通道水平的结果均采用错误发现率(FDR)进行校正并在结果中标明。

2 结果与分析

2.1 人口统计学特征分析

根据被试者干预前填写 SCL-90 量表的总症状指数和因子得分值,将受试者分为对照组和实验组,纳入其年龄、BMI、睡眠时间、已服刑期人口学因素进行独立样本 *t* 检验(见表 1)。按照监狱管理部门相关规定,表 1 仅展示研究纳入的相关变量。

表 1 被试者人口统计学分析结果

类型	对照组(<i>n</i> =53)	实验组(<i>n</i> =64)	<i>t</i>	<i>P</i>
年龄	38.40±7.41	41.86±7.18	-2.561	0.01
BMI(kg/m ²)	23.19±2.65	24.13±2.59	-1.926	0.06
睡眠时间(h)	6.57±1.14	6.20±1.34	1.565	0.12
已服刑期(年)	8.30±5.02	9.86±5.19	-1.639	0.10

2.2 前额叶皮层激活水平分析

基于修正的 Beer-Lambert 定律,将原始光强信号转换为血氧浓度,以三维拓扑图的形式呈现被试者干预前后前额叶皮层血流动力学反应水平。通过观察被试者干预前后前额叶皮层激活水平,重复测量方差分析结果表明(FDR 校正),LDLPFC 区域时间主效应显著 [$F_{(1,115)}=9.48, P<0.01, \eta^2=0.08$];组别主效应显著 [$F_{(1,115)}=74.51, P<0.001, \eta^2=0.39$];时间和组别交互效应不显著($P=0.16$)。简单效应分析发现,干预后实验组激活水平变化较干预前显著提升($P<0.001$)且与对照组具有显著差异($P<0.001$),对照组干预前后没有统计学意义。

RDLPFC 区域时间主效应显著 [$F_{(1,115)}=8.72, P<0.01, \eta^2=0.07$];组别主效应显著 [$F_{(1,115)}=90.94, P<0.001, \eta^2=0.44$];时间和组别交互效应不显著($P=0.14$)。简单效应分析发现,实验组干预后激活水平变化较干预前显著提升($P<0.001$),两组干预后组间差异显著($P<0.001$),对照组干预前后没有统计学意义。

OFR 区域时间主效应不显著($P=0.18$);组别主效应显著 [$F_{(1,115)}=79.25, P<0.001, \eta^2=0.41$];时间和组别交互效应显著 [$F_{(1,115)}=7.98, P<0.01, \eta^2=0.07$]。简单效应

分析发现,干预后实验组激活水平变化较干预前显著提升($P<0.01$)且与对照组具有显著差异($P<0.001$),对照组干预前后没有统计学意义。此外,在干预前后不论是对照组抑或是实验组,结果均为 $OFR<LDLPFC<RDLPFC$ 。经过 FDR 校正,干预后 $P<0.001$,表明干预对各脑区激活的显著影响,而干预前的 P 值校正后为 0.42,表明对照组与实验组间没有显著差异。

2.3 前额叶皮层激活的血流动力学反应特征分析

观察被试者在执行任务期间前额叶皮层血流动力学反应特征结果,所报告的 HbO_2 积分值与重心值仅反映任务执行过程中的脑区皮层血流响应,而非与行为表现直接对应的指标。重复测量方差分析结果表明(FDR 校正),在积分值方面,时间主效应显著 [$F_{(1,115)}=15.71, P<0.001, \eta^2=0.12$]; 组别主效应显著 [$F_{(1,115)}=94.25, P<0.001, \eta^2=0.45$]; 时间和组别交互效应显著 [$F_{(1,115)}=8.56, P<0.01, \eta^2=0.07$]。简单效应分析发现,干预后实验组激活水平变化较干预前显著提升($P<0.001$)且与对照组有显著差异($P<0.001$),对照组干预前后均没有统计学意义($P>0.05$)。在重心值方面,时间和组别主效应以及交互效应均未达到统计学显著水平。

2.4 前额叶皮层激活的血流动力学指标交互效应分析

本研究在控制年龄、BMI 和睡眠时间的基础上,进一步采用线性混合效应模型检验八段锦锻炼对不同心理健康水平服刑人员的影响(见表 2)。结果显示,前额叶 HbO_2 在 AUC 的交互作用显著($\beta=73.76, P=0.031$)。与对照组相比,实验组在干预后 HbO_2 反应提升幅度更大,然而,前额叶 COG 的交互作用未达到显著水平($\beta=-4.00, P=0.422$)。尽管实验组反应时间有所缩短,但其变化幅度与对照组之间差异不显著。效应量分析显示,积分值的变化具有中等以上效应(Cohen's $d=0.6$)。

表 2 额叶区血流动力学的交互效应分析¹⁾

类型	组别×时间	95% CI	P	效应量 (Cohen's d)
积分值	73.76	6.59~140.13	0.031	0.60
重心值	-4.00	-13.77~5.77	0.422	0.18

1)采用线性混合效应模型(LMM),在模型中控制年龄、BMI、睡眠时间

2.5 前额叶皮层激活的血流动力学指标二元 Logistic 回归分析

将积分值和重心值纳入二元 Logistic 回归模型,并以心理健康分组作为因变量。表 3 显示,积分值是心理异常分组的重要预测指标($OR=0.992, P<0.001$),即积分值越高,个体归入实验组的可能性越低。

表 3 前额叶皮层激活的血流动力学指标

类型	B	P	OR	Exp(B) 95%CI	
				下限值	上限值
常量	2.875	0.01	17.731		
积分值	-0.008	<0.001	0.992	0.988	0.996
重心值	-0.024	0.18	0.976	0.942	1.011

2.6 积分值诊断前额叶皮层激活的价值分析

为进一步评价 Logistic 回归模型的判别性能,绘制受试者工作特征曲线(ROC)。通过积分值诊断前额叶皮层激活水平及 ROC 分析发现,额叶区 AUC 为 0.770 (95% CI: 0.683~0.856, $P<0.001$)(见图 4)。依据约登指数最大化为准确定义阈值,额叶区 HbO_2 积分值最佳诊断界值为 209.50 mm*mm,干预后实验组的敏感度为 56.6%,特异度为 84.4%。Hosmer-Lemeshow 检验结果显示 $\chi^2=6.42, P=0.38$,符合 Hosmer 等^[18]提出的拟合优度标准。

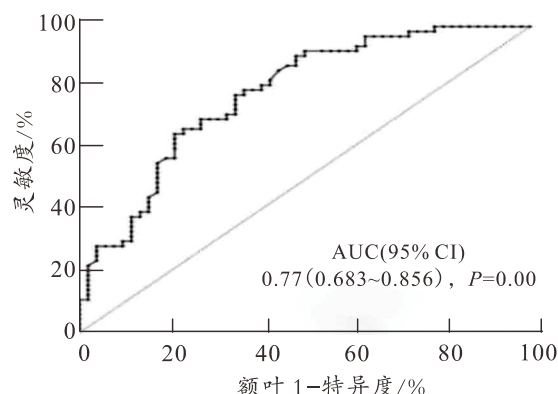


图 4 额叶积分值诊断激活的 ROC 分析

3 讨论

前额叶皮层位于额叶前端,是个体发育成熟最晚的结构,占大脑皮层总面积近 30%,是大脑皮层的重要区域之一,负责执行高级认知功能,如决策制定、情绪调节、社交行为等^[19-20]。本研究基于功能性近红外脑成像技术,探讨八段锦锻炼对不同心理健康水平服刑人员前额叶皮层血流动力学特征的影响。结果显示,干预后实验组积分值显著升高、重心值下降,这一发现印证八段锦锻炼对大脑皮层血氧供应能力的提升作用。因此,本研究认为八段锦锻炼能够显著增强服刑人员前额叶皮层的神经激活效率,同时大脑血流动力学特征的积极改变,可能为改善该特殊群体的认知功能与情绪调节能力提供神经生理学基础。

积分值和重心值是反映 VFT 任务下 HbO_2 浓度反

应随时间变化的指标。前者代表任务期间血流动力学反应总量的强度,其值越高代表与认知任务相关的神经活动越多;后者代表任务期间血流动力学反应强度到达50%时所需时间,其值越小表示进行任务后皮层反应越迅速,信息处理效率越高^[21]。本研究结果显示,实验组额叶区积分值在干预后显著增加,表明经过八段锦锻炼干预后,心理异常服刑人员前额叶皮层的整体血流反应增强。线性混合效应模型也显示,积分值存在显著的交互作用且效应量达到中等水平,说明八段锦锻炼可能提高心理异常服刑人员在认知任务中的前额叶激活水平,故该发现支持本研究假设H1。

从前额叶皮层中的不同区域激活程度来看,RDLPFC在所有脑区中的激活程度最高。研究表明,RDLPFC在视觉工作记忆、冲突监控与外部信息整合方面处于核心位置,而在习练八段锦过程中需要大量的视觉、记忆以及身心配合工作,因此本研究反映出八段锦锻炼对服刑人员身心健康水平相关神经活动的改善具有促进作用^[22]。LDLPFC的激活表明该区域在语义提取、注意控制与语言加工中发挥关键作用,支持VFT任务在激活语言执行功能网络方面的效度^[23]。OFC的显著激活提示其在奖赏评估、情绪识别及社会反馈调节中的重要功能,而且与其作为情绪调控枢纽的神经解剖角色一致^[24]。对实验组被试而言,这一激活模式可能反映情绪感知能力增强及自我调节水平改善,强调八段锦锻炼在高风险心理障碍群体中的潜在干预价值。

前额叶皮层作为高级认知中枢,其神经可塑性受多种内外因子调节。Romero等^[25]研究发现,规律性有氧运动可通过增加脑源性神经营养因子表达水平,激活磷脂酰肌醇3-激酶/蛋白激酶B、丝裂原活化蛋白激酶等信号通路,促进神经发生、突触生成及长时程增强(LTP)效应^[26]。本研究观察到的HbO₂浓度提升和激活模式变化,很可能就是脑源性神经营养因子诱导下突触效能提升和神经网络重构的具体表现,这一点也可从VFT任务范式中得到印证^[16]。VFT任务具有较强的认知负荷,涉及语言生成、注意抑制和操作记忆等多个皮层模块,干预后脑区更高效的血流供应与激活反映出大脑皮层信息处理能力提升,而八段锦锻炼正是通过神经代谢和突触效率等通路介入调节情绪障碍和认知功能下降的神经生理基础。

积分值在本研究中具有良好的识别性和判别效能。ROC分析显示,前额叶皮层AUC为0.770,最佳诊断界值为209.50 mm*mm,敏感度为56.6%,特异度为84.4%,这与田菊等^[27]和张福旭等^[28]研究一致。本研究还发现,八段锦锻炼干预后实验组前额叶皮层血流

动力学反应特征明显高于干预前,说明前额叶HbO₂积分值具有较好地区分不同心理健康水平服刑人员的能力,从而验证本研究假设H2。因此,本研究认为积分值可作为评估八段锦锻炼促进前额叶皮层激活的潜在指标。另外,这种变化与不同类型神经元长时程效应增强及局部连接改变可能有着直接关联,从而增强跨区信息整合与局部调控能力,为运动改善脑功能提供新的理论依据^[29]。八段锦锻炼对前额叶皮层神经元连接异常或功能异常的改善具有积极影响,突显八段锦锻炼的健身作用与价值。

然而,本研究仍存在一定局限:第一,受限于监管环境的特殊性,研究未采用随机对照设计;第二,样本均来自男性监狱,较为单一;第三,在干预后未再次收集心理量表数据。因此,后续研究应采用随机对照设计并结合心理量表等数据,进一步检验八段锦锻炼在特殊群体身心健康促进方面的作用。

参考文献:

- [1] 曾倩,李艳,刘玉雪,等.八段锦锻炼对乳腺癌术后康复期患者抑郁情绪、睡眠质量及生活质量的影响[J].中国运动医学杂志,2024,43(6):458-464.
- [2] 邹红,肖和,王雅茹,等.八段锦对阳虚质大学生睡眠质量的影响[J].中国运动医学杂志,2023,42(12):948-952.
- [3] REN H, WANG Y, YANG Y, et al. Anxiety suppressed prefrontal cortex brain activity: Insights from a large sample of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) data[J]. *Depress Anxiety*, 2026, 20(6): 9910013.
- [4] 韩娟娟,张新安.八段锦对脑外伤康复期患者认知功能和负性情绪的疗效[J].中国康复理论与实践,2019,25(9):1084-1088.
- [5] 石莉杰,章劲夫,王虹霞,等.八段锦运动对腹泻型肠易激综合征的疗效及对患者心理状态的影响[J].中国运动医学杂志,2023,42(6):453-459.
- [6] 陈一凡,蒋丰,王姁如,等.不同运动方式对女性甲基苯丙胺成瘾者冲突抑制能力的影响:一项近红外功能成像研究[J].中国运动医学杂志,2022,41(12):933-940.
- [7] 赵海军,李贞,詹文峰.基于动态低频振幅的有氧运动训练后大脑功能可塑性研究[J].体育学刊,2021,28(6):139-144.
- [8] SOLBAKKEN L E, BERGVIK S, WYNN R. Breaking down barriers to mental healthcare access in prison: A qualitative interview study with incarcerated males in Norway[J]. *BMC Psychiatry*, 2024, 24(1): 292.

- [9] BARANYI G, SCHOLL C, FAZEL S, et al. Severe mental illness and substance use disorders in prisoners in low-income and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis of prevalence studies[J]. *The Lancet Global Health*, 2019, 7(4): 461-471.
- [10] 张萌, 窦逸飞. 服刑人员焦虑和心理资本关系的追踪研究[J]. *中国人民公安大学学报(社会科学版)*, 2023, 39(6): 11-18.
- [11] 欧阳一毅, 罗炯, 王坤, 等. 身体活动对艾滋病强制戒毒人员复吸倾向的影响——内在抑制力、用药渴求的链式中介分析[J]. *上海体育学院学报*, 2020, 44(10): 48-57+67.
- [12] FAUL F, ERDFELDER E, BUCHNER A, et al. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses[J]. *Behavior Research Methods*, 2009, 41(4): 1149-1160.
- [13] 刘媛媛, 武圣君, 李永奇, 等. 基于 SCL-90 的中国人心理症状现状调查[J]. *中国心理卫生杂志*, 2018, 32(5): 437-441.
- [14] 宛锐, 王红利, 高峰. 正念减压疗法对护士职业获益感、职业倦怠和心理健康的影响[J]. *中国健康心理学杂志*, 2021, 29(11): 1679-1683.
- [15] KNAPP T R. Why is the one-group pretest-posttest design still used?[J]. *Clinical Nursing Research*, 2016, 25(5): 467-472.
- [16] JIA L A, ZHANG H G, WANG X H, et al. Cortical activation patterns in generalized anxiety and major depressive disorders measured by multi-channel near-infrared spectroscopy[J]. *Journal of Affective Disorders*, 2025, 379: 549-558.
- [17] 苏健蛟, 刘世瑾, 周澳, 等. 我国服刑人员心理健康水平对前额叶皮层激活的影响: 来自功能性近红外的证据[J]. *武汉体育学院学报*, 2024, 58(7): 70-77.
- [18] HOSMER J R D W, LEMESHOW S, STURDIVANT R X. Applied logistic regression[M]. John Wiley & Sons, 2013: 157-160.
- [19] 容浩, 刘佳宁, 刘旭东, 等. 有氧运动改善甲基苯丙胺成瘾者执行控制能力的脑机制研究[J]. *体育学刊*, 2019, 26(3): 138-144.
- [20] 殷春宇, 史利, 张文, 等. 定向运动练习对大学生空间定向能力的影响: 来自行为学和 fNIRS 的证据[J]. *体育学刊*, 2024, 31(5): 135-142.
- [21] LI Z, MCINTYRE R S, HUSAIN S F, et al. Identifying neuroimaging biomarkers of major depressive disorder from cortical hemodynamic responses using machine learning approaches[J]. *EBio Medicine*, 2022, 79: 104027.
- [22] 王思思, 库逸轩. 右侧背外侧前额叶在视觉工作记忆中的因果性作用[J]. *心理学报*, 2018, 50(7): 727-738.
- [23] WU P, WANG C, WEI M, et al. Prefrontal cortex functional connectivity changes during verbal fluency test in adults with short-term insomnia disorder: A functional near-infrared spectroscopy study[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2023, 17: 1277690.
- [24] ROLLS E T. Emotion, motivation, decision-making, the orbitofrontal cortex, anterior cingulate cortex, and the amygdala[J]. *Brain Struct Funct*, 2023, 228(5): 1201-57.
- [25] ROMERO G A, DÍAZ M V, JUÁREZ C E, et al. Impact of physical exercise on the regulation of brain-derived neurotrophic factor in people with neurodegenerative diseases[J]. *Front Neurol*, 2024, 15: 1505879.
- [26] 王姁如, 陈一凡, 周成林. 有氧运动对甲基苯丙胺戒断者康复效益的促进作用及其机制研究进展[J]. *中国运动医学杂志*, 2024, 43(2): 155-161.
- [27] 田菊, 权文香, 王久菊, 等. 近红外光成像技术辅助诊断抑郁症的灵敏度和特异度研究[J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2017, 26(2): 149-152.
- [28] 张福旭, 魏燕燕, 陈琪, 等. 重性抑郁障碍患者言语流畅性任务的脑血流动力学特征研究[J]. *中国神经精神疾病杂志*, 2020, 46(10): 587-591.
- [29] 汪敏加, 吴姝雅, 张纯, 等. 太极拳对老年人运动功能及相关脑区的影响——来自 fNIRS 的证据[J]. *上海体育大学学报*, 2025, 49(7): 63-74.