



太极(八法五步)对大学生刷新功能的影响: 来自脑自发神经活动的证据

申其淇, 崔 蕾, 张静怡, 王东岭, 罗 锐, 辛振雷, 殷恒婵*

(北京师范大学 体育与运动学院, 北京 100875)

摘要:目的:探讨太极(八法五步)对大学生刷新功能的影响及其脑机制,为提升大学生刷新功能提供新的途径和科学依据。方法:以36名大学生为研究对象,采用3(组别:太极组、健步走组、对照组)×2(时间:前测、后测)的两因素混合实验设计,8周运动干预前、后使用3-back任务评价刷新功能,同时采用静息态功能磁共振技术检测脑自发神经活动。结果:1)在刷新功能上,太极(八法五步)显著降低了刷新功能反应时,且显著优于健步走组、对照组。2)在比率低频振幅(fALFF)上,太极(八法五步)显著增强了2个脑区的fALFF,即右侧梭状回、左侧内侧额上回,显著减弱了2个脑区的fALFF,即右侧背外侧额上回、右侧中央旁小叶;健步走显著增强了1个脑区的fALFF,即右侧梭状回,显著减弱了2个脑区fALFF的增强,即右侧背外侧额上回、右侧中央旁小叶;与健步走相比,太极组左侧内侧额上回的fALFF显著增强。进一步进行相关和回归分析发现,太极(八法五步)干预前后刷新功能反应时变化与右侧背外侧额上回fALFF变化存在正相关关系,右侧背外侧额上回fALFF的减弱能够显著预测刷新功能反应时的降低,预测力为80.2%。3)在功能连接上,以右侧背外侧额上回为种子点进行全脑功能连接分析发现,太极(八法五步)干预显著增强了右侧背外侧额上回与左侧角回的功能连接。4)在脑网络全局拓扑属性上,太极(八法五步)干预显著提升了局部效率、全局效率,且局部效率的增强显著优于健步走组。结论:1)8周太极(八法五步)能够提升大学生刷新功能的运行效率,且效果优于健步走。2)8周太极(八法五步)、健步走能够促进脑自发神经活动的优化,且太极(八法五步)具有独特优势,主要体现在左侧内侧额上回fALFF的增强、右侧背外侧额上回与左侧角回功能连接的增强、脑功能网络局部信息传输效率的提升。3)太极(八法五步)提升大学生刷新功能运行效率的脑机制可能是促进了脑自发神经活动的优化。

关键词:太极(八法五步);大学生;刷新功能;比率低频振幅;功能连接;脑网络拓扑属性

中图分类号:G852.11 **文献标识码:**A

刷新功能是执行功能的重要组成部分,是指根据新呈现的信息不断更新工作记忆内容的过程,与学习、记忆、决策等息息相关(赵鑫等,2014;Ma et al.,2014),对个体的身心健康发展至关重要。刷新功能具有可塑性,探索提升刷新功能的有效手段已经成为多学科领域研究者关注的前沿热点。研究表明,体育运动能够提高个体的刷新功能(殷恒婵等,2015)。脑可塑性假说指出,任何一种心理现象都是以大脑的活动为基础的,运动产生的认知改善是运动引起大脑可塑性变化的结果(陈爱国等,2018;赵琦等,2017)。现有关于运动与刷新功能的研究多以儿童、老年人为研究对象,大学生处于成年早期,脑可塑性仍有发展空间。此外,不同运动方案对刷新功能的提升可能存在差异(殷恒婵等,2018),这提示我们,选择适合、易于大学生群体锻炼的运动手段十分必要。

太极拳是身心合一、心静体松的中华传统养生功法,

受到越来越多研究者的关注。已有研究发现,太极拳能够改善老年人的记忆、注意等认知功能(Tao et al.,2017)。研究发现,长期坚持太极拳锻炼的老年人左侧额中回的比率低频振幅(fALFF)值大于长期步行的老年人,且左侧额中回的fALFF值与刷新功能显著相关(梅剑等,2019)。但现有研究较少涉及对太极拳与刷新功能因果关系的探讨,且以往太极拳套路存在门槛过高、动作结构复杂等现

收稿日期:2022-03-23;修订日期:2022-06-10

基金项目:国家社会科学基金重点项目(19ATY010)。

第一作者简介:申其淇(1994-),女,在读博士研究生,主要研究方向为运动与身心脑健康前瞻性基础与应用研究,E-mail:shenqiqi@mail.bnu.edu.cn。

*通信作者简介:殷恒婵(1963-),女,教授,硕士,博士研究生导师,主要研究方向为体育运动心理学理论与实践、运动与身心脑健康前瞻性基础与应用研究、竞技心理能力评价与提升研究,E-mail:yinhengchan@bnu.edu.cn。

实问题。在全面贯彻落实健康中国战略的背景下,国家体育总局委托研究团队研发创编了太极(八法五步)套路。前期ERP研究发现,短时太极(八法五步)能够改善大学生抑制功能,增大N2振幅(李秀娟等,2020);功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究发现,8周的太极(八法五步)能够促进脑结构重塑和脑功能的优化重组(Cui et al., 2019)。这提示我们太极(八法五步)可能是促进大学生刷新功能提升的有效手段,揭示太极(八法五步)对大学生刷新功能的影响效果及脑机制,能够为提升大学生刷新功能提供新的科学途径。

人脑在静息状态下的活动具有特殊作用,能够反映个体自发神经活动(Soares et al., 2016)。研究发现,自发神经活动消耗的能量占大脑总能量消耗的95%左右,远远大于任务诱发神经活动的能量消耗(Raichle et al., 2006)。静息态功能磁共振成像技术(resting-state fMRI, rs-fMRI)依赖于自发的大脑耦合活动,能够揭示在不施加外部刺激或任务时的大脑自发/内在功能信号的活动(Friston et al., 2014),已成为探索人类心理和行为底层神经机制的重要手段。fALFF能够反映大脑中单个体素的自发神经活动强度,揭示大脑的区域自发神经活动。功能连接(functional connectivity, FC)通常用于研究某一种子点与其他脑区功能活动的相互作用,揭示解剖学上分离的脑区之间神经元活动的时域相关性。基于图论(graph theory)的全脑复杂网络分析方法可以全面而细致地刻画大脑内部的组织和运行模式,进而理解大脑的内部工作机制(Zang et al., 2007),其中聚类系数(clustering coefficient, Cp)和局部效率率(local efficiency, Eloc)反映了脑网络的功能分离程度,特征路径长度(characteristic path length, Lp)和全局效率(global efficiency, Eg)反映了脑网络的整合程度。上述多

元化的静息态自发脑功能活动指标的综合应用,可以加深对运动与大脑内部工作机制关系的理解,对采用运动手段促进个体身心脑健康具有重要意义。

因此,本研究以大学生为对象,采用运动干预研究设计,综合运用体育测量、心理测量、rs-fMRI技术,探讨8周太极(八法五步)对大学生刷新功能及fALFF、FC、脑网络全局拓扑属性的影响,揭示太极(八法五步)对大学生刷新功能的影响及其脑机制,以期为提升大学生刷新功能提供新的途径,为太极(八法五步)的推广普及提供科学依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

招募并筛选出无锻炼习惯的在校大学生36名[年龄(21.83±2.34)岁,男性6名,女性30名],分为太极组、健步走组、对照组,各组性别比例一致。要求3组被试在实验期间保持原有的运动习惯。

筛选标准:右利手;无神经精神障碍及遗传病史,且目前精神状况良好;无药物滥用;无重大躯体疾病,无脑部损伤史;视力正常或矫正后正常,无色盲色弱;采用脑成像中心被试检查单评价是否满足磁共振扫描条件,如体内无植入金属(如金属假牙)等;适合参加本实验的运动强度(通过身体活动准备问卷评价),体力活动水平满足要求(通过国际体力活动问卷评价);状态特质量表和抑郁量表得分在正常范围内;被试签署知情同意书。本实验获北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室伦理审查委员会批准。

1.2 运动干预方案

1)对运动项目:太极组进行太极(八法五步)运动干预(表1),对健步走组进行健步走运动干预,对照组正常学习生活。

表1 太极(八法五步)干预主要内容安排
Table 1 The Main Contents of Tai Chi Intervention

阶段	目标	周数	主要内容
动作学习	形正招熟	第1周	学练太极(八法五步)桩功部分;学练马步云手等基本功。
		第2周	学练太极步等基本功;练习太极(八法五步)桩功内容;学练太极(八法五步)行功上半部分(棚、捋、挤、按4种劲法)。
		第3周	练习太极步等基本功;练习太极(八法五步)桩功及行功上半部分;学练太极(八法五步)行功下半部分(採、捋、肘、靠4种劲法);练习太极(八法五步)全套动作。
呼吸配合	以气催力	第4周	练习太极(八法五步)全套动作,学练太极(八法五步)桩功的呼吸法。
	以气运身	第5周	练习太极(八法五步)全套动作,学练太极(八法五步)行功的呼吸法。
意念融合	形气意和谐统一	第6周	练习太极(八法五步)全套动作,学习太极(八法五步)桩功的用意法。
		第7周	练习太极(八法五步)全套动作,学习太极(八法五步)行功的用意。
		第8周	复习并巩固太极(八法五步),注重形气意配合,上下相随,内外合一。

2)运动强度:太极组与健步走组均控制运动强度为中等强度,即平均心率处于(220-年龄)×(60%~69%)。采

用polar表监测运动强度,太极组的平均心率为135次/min,达到了最大心率的68.1%左右,健步走组的平均心率为

136次/min, 达到了最大心率的68.6%左右。2组均处于中等强度区间内。

3) 每次运动时间: 太极组60 min, 包含5 min准备活动、50 min太极(八法五步)练习、5 min整理活动; 健步走组60 min, 包含5 min准备活动、50 min健步走练习、5 min整理活动。

4) 运动周期与频率: 太极组、健步走组均进行8周运动干预, 运动频率均为3次/周。

1.3 实验程序

采用3(组别: 太极组、健步走组、对照组)×2(时间: 前测、后测)两因素混合实验设计, 其中组别为被试间因素, 时间为被试内因素, 因变量为刷新功能反应时、正确率和静息态脑功能活动指标。实验过程由3部分组成: 前测、8周运动干预、后测。

1.4 刷新功能测量

采用3-back任务测量刷新功能, 每个任务开始前均首先呈现6 000 ms指导语, 之后开始任务测试。每个试次中, 先呈现500 ms的注视点, 紧接着在屏幕中央呈现1个数字(1~9), 呈现时间为1 500 ms, 要求被试在保证正确的前提下, 尽可能快地判断当前数字与之前第3个数字(中间间隔2个数字)是否相同, 共60个试次。平均正确率越高、平均反应时越短, 代表刷新功能运行效率越高。正式测试前进行任务练习, 当练习正确率≥70%后正式开始测试。

1.5 磁共振数据采集及预处理

采用SIEMENS MAGNETOM Prisma 3T MRI系统进行图像采集。

T1-MPRAGE结构像扫描参数: 重复时间(repetition time, TR)=2 530.00 ms, 回波时间(echo time, TE)=2.98 ms, 间隔时间(inversion time, TI)=1 100.00 ms, 层厚=1.00 mm, 翻转角(flip angle, FA)=7°, 层数=192, 体素大小=0.5 mm×0.5 mm×1.0 mm, 视野(field of view, FOV)=224 mm×256 mm, 扫描时间300 s。

静息态功能磁共振扫描参数: TR=2 000.00 ms, TE=30.00 ms, 层数=33, 层厚=3.5 mm, 体素大小=3.5 mm×3.5 mm×3.5 mm, FA=90°, FOV=224 mm×224 mm, 扫描时间480 s, 获得每名被试图像240幅。扫描期间要求被试睁眼(无注视点), 保持清醒, 保持头部与身体不动。

采用GRETNA工具包进行预处理(<https://www.nitrc.org/projects/gretna>), 包括以下常规步骤: 1) 去除前10个时间点, 剩下230个时间点; 2) 时间层校正; 3) 头动校正, 本研究使用的所有数据均满足任何方向头动平动<2 mm或旋转<2°的空间标准; 4) 标准化, 标准化到MNI空间模板, 标准化后的图像分辨率为3 mm×3 mm×3 mm; 5) 平滑, 采用FWHM 4 mm高斯核进行空间平滑; 6) 去线性趋势; 7) 回归协变量, 去除24个头动参数(Friston-24)及白质、脑脊液平均信号等无关信号的影响。

1.6 数据统计与分析

1.6.1 行为数据分析

采用两因素重复测量方差分析, 探讨组别、时间2个因素的单独及交互作用, 当交互作用显著时, 进一步进行简单效应分析。以运动干预前后刷新功能反应时、正确率变化(后测-前测)为因变量, 对太极组、健步走组、对照组之间各因变量的差异进行多重比较。统计分析均在SPSS 25.0上进行, 统计分析显著性为 $P<0.05$ 。

1.6.2 磁共振数据分析

fALFF计算与分析: 采用REST工具包(<http://restfmri.net/forum/index.php?Q=rest>), 对预处理后某体素的时间序列进行快速傅立叶变换, 得到其功率谱, 对0.01~0.08 Hz下信号的功率谱进行开方, 得到ALFF值, 将此范围内的ALFF值相加得到其总值, 与0.01~0.25 Hz的全频段振幅总值相除, 得到fALFF值, 并进行Z分数标准化处理。采用SPM12进行统计检验, 确定交互作用显著的脑区。提取交互作用显著脑区的fALFF值在SPSS 25.0中进行事后统计分析以及与刷新功能变化值的关系分析。

功能连接计算与分析: 基于fALFF的重复测量方差分析结果, 选取与刷新功能变化存在关系的脑区作为种子点, 采用CONN工具包(<https://web.conn-toolbox.org/>)进行ROI-ROI的功能连接分析, 分别计算种子点与全脑脑区的时间序列相关, 在CONN工具包中进行重复测量方差分析及事后分析。

脑网络全局拓扑属性计算与分析: 采用GRETNA软件包构建全脑网络。1) 定义网络节点, 采用AAL90模板, 将每个个体空间的大脑分割为90个网络节点, 提取每个节点所有体素的时间序列; 2) 定义网络的边, 分别计算90个节点两两之间时间序列的Pearson相关系数, 得到每个个体空间的90×90的功能连接矩阵, 采用Fisher's Z变换将功能连接矩阵转换为Z值矩阵, 使数据更接近正态分布; 3) 构建网络, 采用稀疏度阈值法将功能连接矩阵进行阈值化, 得到二值无向矩阵, 其中, 节点表示大脑区域, 边表示区域之间的连接, 本研究将稀疏度阈值设置为0.05~0.50, 稀疏度间隔为0.02, 共包括23个阈值点。计算并提取脑网络全局拓扑属性(Cp, Eloc, Lp和Eg), 在SPSS 25.0中进行重复测量方差及事后统计分析。

2 研究结果与分析

2.1 不同组别人口统计学特征、刷新功能前测的同质性检验

对太极组、健步走组、对照组前测的人口统计学指标、刷新功能的正确率和反应时进行同质性检验, 结果发现3组的年龄、性别、受教育年限、身体质量指数(body mass index, BMI)、体力活动量、刷新功能正确率、刷新功能反应时均无显著性差异(表2), 表明3组在人口学指标上具有同质性。

表2 不同组别人口统计学特征、刷新功能前测的差异

Table 2 The Differences among Three Groups in Demographics and Updating					M±SD	
	太极组	健步走组	对照组	F	P	
年龄/岁	21.83±2.48	21.92±2.28	21.75±2.45	0.014	0.986	
受教育年限/年	16.33±2.23	16.41±2.27	16.33±1.50	0.007	0.993	
BMI/(kg·m ⁻²)	20.21±2.54	19.15±2.06	21.71±2.96	3.070	0.060	
体力活动量/(MET·min·w ⁻¹)	1 802.00±1 418.37	1 064.42±999.67	1 483.63±1 529.00	0.921	0.408	
刷新功能正确率/%	68.95±12.29	68.14±8.20	69.68±8.26	0.075	0.928	
刷新功能反应时/ms	891.05±185.05	864.48±212.97	906.68±261.96	0.111	0.896	

注: 各组均含男性2名, 女性10名。

2.2 不同运动干预对刷新功能的影响

采用重复测量方差分析探讨太极(八法五步)、健步走干预对大学生刷新功能正确率、反应时的影响, 结果发现, 在正确率上, 组别 [$F_{(2,33)}=0.02, \eta_p^2=0.001, P=0.976$]、时间 [$F_{(1,33)}=3.30, \eta_p^2=0.091, P=0.079$] 主效应, 以及时间×组别的交互作用 [$F_{(2,33)}=0.15, \eta_p^2=0.009, P=0.863$] 均不显著。在反应时上, 组别 [$F_{(2,33)}=0.94, \eta_p^2=0.054, P=0.402$]、时间 [$F_{(1,33)}=0.71, \eta_p^2=0.021, P=0.405$] 主效应不显著, 时间×组别的交互作用显著 [$F_{(2,33)}=3.99, \eta_p^2=0.195, P=0.028$]。

进一步对反应时交互作用进行简单效应分析发现, 太极组后测较前测反应时显著降低 [$F_{(1,33)}=7.51, P=0.010$]; 健

步走组 [$F_{(1,33)}=0.40, P=0.835$]、对照组 [$F_{(1,33)}=1.14, P=0.293$] 前后测均无显著差异; 太极组、健步走组、对照组3组后测反应时无显著性差异。

以反应时变化值(后测-前测)为因变进行多重比较, 分析太极(八法五步)、健步走运动干预对大学生刷新功能影响的差异(图1)。太极组与对照组之间 ($P=0.011$)、太极组与健步走组之间 ($P=0.045$) 刷新功能反应时变化具有显著性差异, 健步走组与对照组之间无显著性差异 ($P=0.548$)。结果表明, 8周太极(八法五步)能够提升大学生的刷新功能运行效率, 且效果优于健步走。

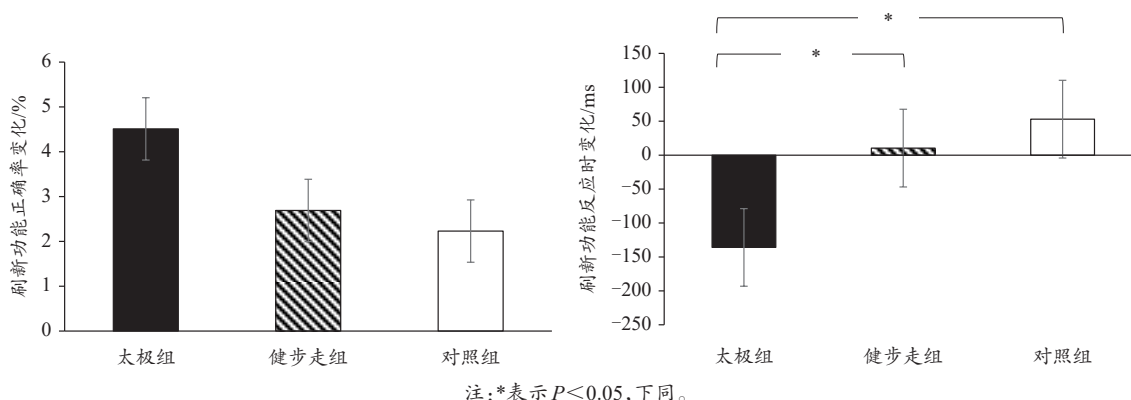


图1 不同运动干预前后刷新功能正确率和反应时变化值的差异

Figure 1. The Differences of Accuracy and Reaction Time in Updating among Three Groups

2.3 不同运动干预对fALFF的影响

采用重复测量方差分析探讨太极(八法五步)、健步走干预对大学生fALFF的影响, 结果发现(表3, 图2), 在左侧内侧额上回、右侧背外侧额上回、右侧中央旁小叶、右侧梭状回上时间×组别的交互作用显著, 表明在不同组别运动干预前后上述脑区的fALFF变化存在差异。

以左侧内侧额上回、右侧背外侧额上回、右侧中央旁小叶、右侧梭状回4个脑区的fALFF变化值(后测-前测)为因变量进行多重比较, 分析太极(八法五步)、健步走运动干预对大学生fALFF的影响的差异, 结果发现(图3): 1) 在左侧内侧额上回, 太极组后测fALFF较前测显著升高 ($P=0.003$), 太极组fALFF变化值与对照组具有极显著

性差异 ($P=0.000$), 与健步走组具有显著性差异 ($P=0.041$), 表明太极(八法五步)干预显著增强了左侧内侧额上回的fALFF, 且效果优于健步走; 健步走组fALFF变化值与对照组差异不显著 ($P>0.05$), 表明健步走干预对左侧内侧额上回的fALFF无显著影响。2) 在右侧背外侧额上回, 太极组后测fALFF较前测降低 ($P=0.194$), 对照组后测fALFF较前测升高 ($P=0.181$), 太极组fALFF变化值与对照组具有极显著性差异 ($P=0.001$), 与健步走组无显著性差异, 表明太极(八法五步)干预显著降低了右侧背外侧额上回fALFF; 健步走组后测fALFF较前测升高 ($P=0.220$), 但升高幅度低于对照组, 健步走组fALFF变化值与对照组具有显著性差异 ($P=0.018$), 表明健步走干预显

著减缓了右侧背外侧额上回 fALFF 的增强。3) 在右侧中央旁小叶, 太极组后测 fALFF 较前测降低 ($P=0.543$), 对照组后测 fALFF 较前测极显著升高 ($P=0.002$), 太极组 fALFF 变化值与对照组具有极显著性差异 ($P=0.003$), 与健步走组无显著性差异, 表明太极(八法五步)干预显著降低了右侧中央旁小叶 fALFF; 健步走组后测 fALFF 较前测升高 ($P=0.881$), 但升高幅度低于对照组, 健步走组 fALFF 变化值与对照组具有显著性差异 ($P=0.016$), 表明健步走干预显著减缓了右侧中央旁小叶 fALFF 的增强。4) 在右侧梭状回, 太极组后测 fALFF 较前测升高 ($P=0.429$), 对照组后测 fALFF 较前测极显著降低 ($P=0.000$), 太极组 fALFF 变化值与对照组具有极显著性差异 ($P=0.001$), 与健步走组无显著性差异, 表明太极(八法五步)

干预显著增强了右侧梭状回的 fALFF; 健步走组后测 fALFF 较前测升高 ($P=0.848$), 健步走组 fALFF 变化值与对照组具有极显著性差异 ($P=0.006$), 表明健步走干预显著增强了右侧梭状回 fALFF。

表 3 不同运动干预对 fALFF 影响的重复测量方差分析
Table 3 The Differences of fALFF among Three Groups

脑区	大脑半球	Cluster size	MNI coordinate			F	P
			X	Y	Z		
内侧额上回	左	5	-12	69	9	55.33	0.001***
背外侧额上回	右	7	18	27	42	46.37	0.001***
中央旁小叶	右	6	3	-42	60	50.56	0.003**
梭状回	右	8	30	-66	-6	54.63	0.006**

注: 采用 FWE 校正, *表示 $P < 0.05$, ***表示 $P < 0.001$, 下同。

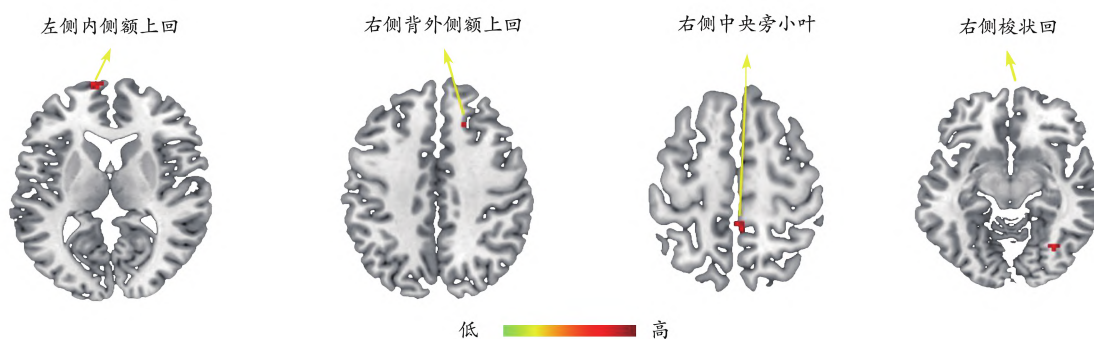


图 2 时间×组别交互作用显著的脑区

Figure 2. The Brain Region of the Interaction Effect in fALFF

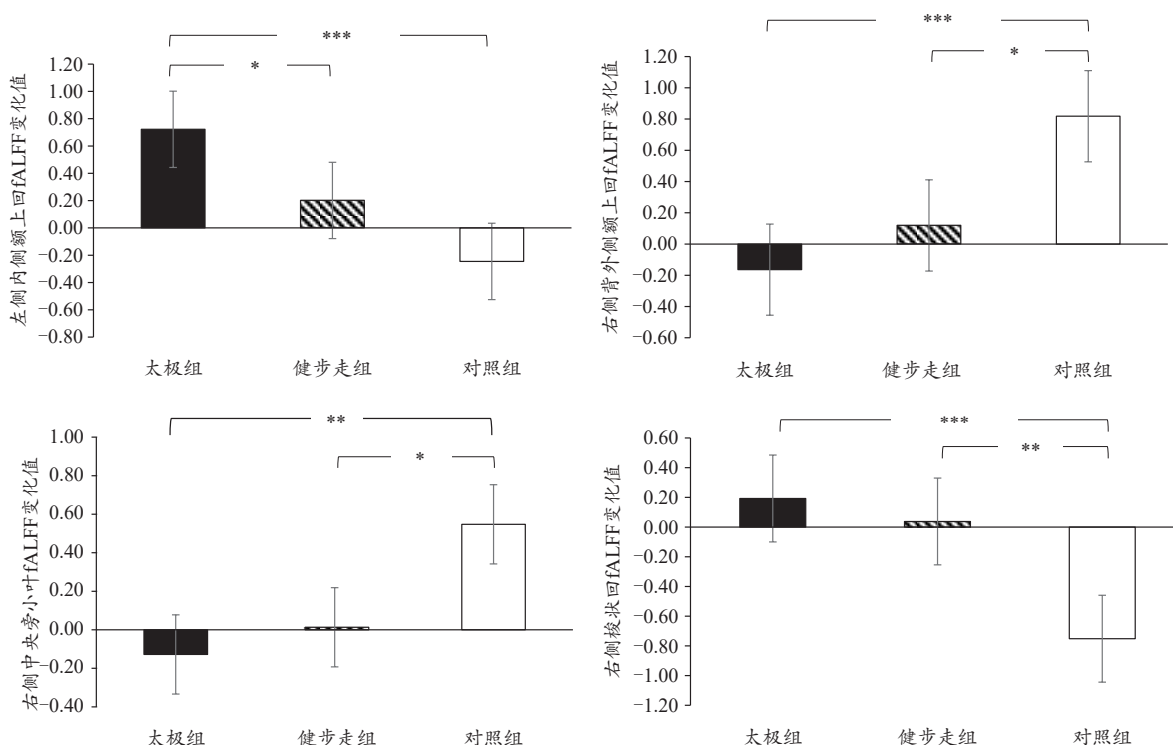


图 3 不同运动干预前后 fALFF 的变化

Figure 3. The Differences of fALFF Changes among Three Groups

2.4 太极(八法五步)干预前后刷新功能变化与fALFF变化的关系

对太极组运动干预前后刷新功能反应时和fALFF变化值进行Pearson相关分析发现(图4),刷新功能反应时的降低与右侧背外侧额上回fALFF的减弱存在高度正相关($r=$

0.895, $P=0.000$),其他脑区fALFF变化与刷新功能反应时变化无显著相关($P_s>0.05$)。进一步以刷新功能反应时变化值为因变量,以右侧背外侧额上回fALFF变化值为自变量进行回归分析发现,右侧背外侧额上回fALFF变化能够显著预测刷新功能反应时的变化,预测力为80.2%。

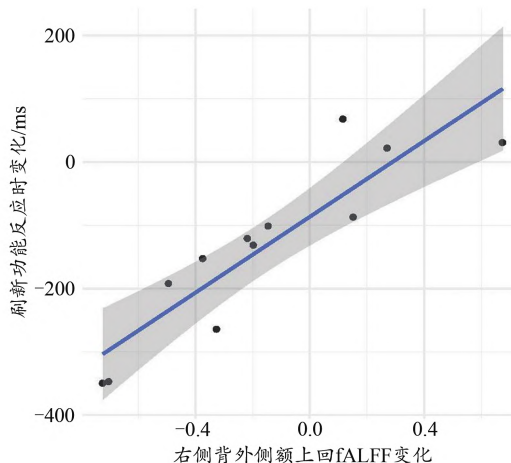
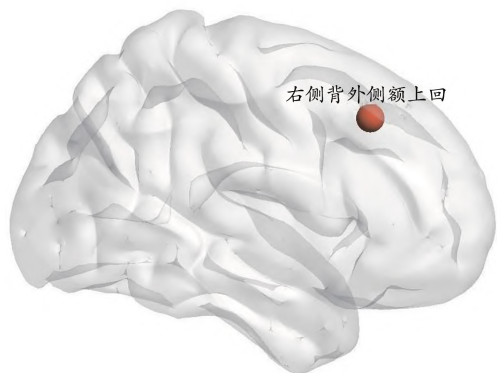


图4 太极(八法五步)干预前后刷新功能反应时变化与fALFF变化的关系
Figure 4. Correlation between fALFF Changes and Reaction Time of Updating in Tai Chi Group

2.5 不同运动干预对功能连接的影响

以与刷新功能反应时变化存在关系的右侧背外侧额上回为种子点,进行全脑功能连接分析发现(图5),与对

照组相比,太极组后测右侧背外侧额上回与左侧角回的功能连接显著增强($P=0.018$, FDR 矫正),其他组别均无显著性差异。

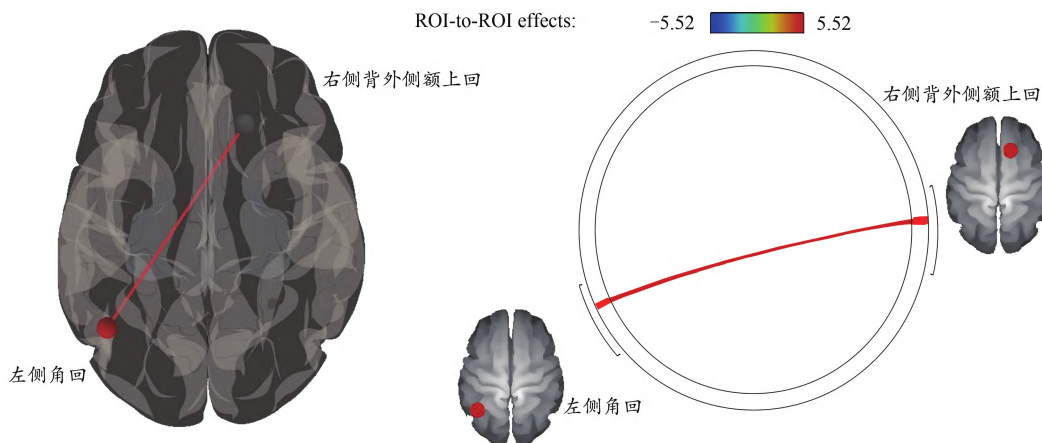


图5 太极组与对照组运动干预前后功能连接差异图
Figure 5. The Differences of FC Changes between Tai Chi Group and Control Group

2.6 不同运动干预对脑功能网络全局拓扑属性的影响

进一步构建全脑网络,进行拓扑属性分析,揭示不同运动干预前后脑功能网络的底层工作机制。采用重复测量方差分析发现(图6),在Eloc上,时间 \times 组别交互作用显著 [$F_{(1,33)}=3.84, \eta_p^2=0.189, P=0.032$],表明不同组别运动干预前后的Eloc变化存在差异。进一步进行简单效应分析发现,在前测 [$F_{(2,33)}=1.38, P=0.266$]和后测 [$F_{(2,33)}=0.98, P=$

0.384]中,3组之间均无显著性差异;与前测相比,太极组后测Eloc显著升高 [$F_{(1,33)}=6.20, P=0.018$],健步走组 [$F_{(1,33)}=1.17, P=0.287$]、对照组 [$F_{(1,33)}=0.47, P=0.498$]均无显著性变化。在Lp [$F_{(1,33)}=5.42, \eta_p^2=0.141, P=0.026$]、Eg [$F_{(1,33)}=4.51, \eta_p^2=0.120, P=0.041$]上,时间主效应显著。进一步对时间主效应进行分析发现,与前测相比,太极组后测Eg显著提升 ($t=-2.287, P=0.043$),其他组别均无显著性差异。

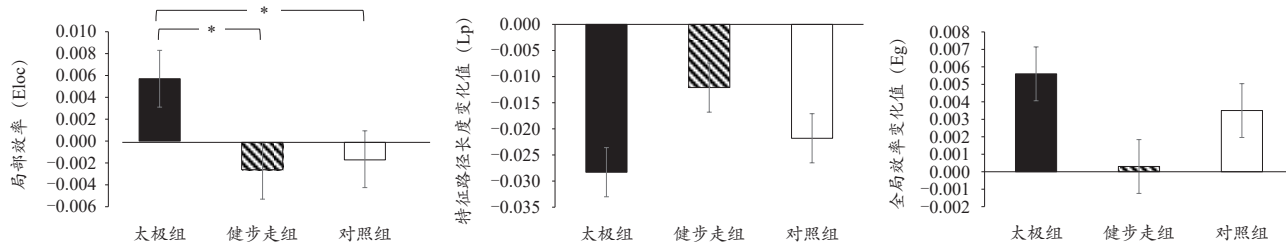


图6 运动干预前后各组整体稀疏度Eloc、Lp、Eg变化图

Figure 6. The Differences of Eloc, Lp, and Eg Changes among Three Groups

3 讨论

3.1 太极(八法五步)对大学生刷新功能的影响

本研究发现,8周太极(八法五步)能够提升大学生刷新功能运行效率。刷新功能的本质是主动、有意识地根据情景或实际的需要,储存及提取相应工作记忆的信息(赵鑫等,2014),太极(八法五步)可能是通过以下几个方面提升刷新功能。首先,从项目特征上看,太极(八法五步)干预时要求恪守“心静体松”的基本法则,在此基础上将“形、气、意”3个核心要素有机结合,在意念的引导下,结合呼吸,全神贯注地正确完成动作。在整个运动干预过程中,个体要专注当下,使其专注力、觉知力等得到改善,能够更好地监控信息的输入,以及根据任务的需要及时修正工作记忆的信息,从而提升了刷新功能运行效率。其次,从动作特征上看,该套路提炼了太极拳中最核心的“棚、掤、挤、按、採、捩、肘、靠”8种劲法,以及“进、退、顾、盼、定”5种步法(李秀娟等,2020),动作之间的衔接更加紧密。在完成一套动作的过程中,需要个体不断刷新出当前招式所对应的正确动作,并做到上下相随,和谐统一,涉及了丰富的动作学习和控制过程,兼具有氧锻炼和认知训练的功能,从而提升了大学生刷新功能。

本研究还发现,健步走对大学生刷新功能无显著影响,可能是由于以下几方面原因。首先,可能与项目特征有关,健步走属于相对简单重复性的运动,以粗大动作为主,在运动过程中无需记忆动作序列,不涉及工作记忆的储存和提取。殷恒婵等(2018)提出了运动改善执行功能的多路径模型,动作特征是其中一个重要因素。有研究发现与简单重复运动相比,复杂运动促进认知的效果更佳(陈爱国等,2016);也有研究表明,太极拳对认知功能的益处大于快步行走(Ji et al., 2017)。其次,可能与研究对象有关,本研究的被试为大学生,已有证据表明身体活动对执行功能等认知功能的影响在青少年和老年人中更明显,而在年轻成年人中效应会被减弱(Voss et al., 2011);最近的研究也指出身体活动对年轻人认知的作用依赖于特定的干预和措施(Gooderham et al., 2019)。最后,还可能与运动干预周期有关,本研究周期为8周,且已经发现健步走能够优化自发神经活动,但其积极效应还未显现在行为上,可能需要更长的干预周期。

3.2 太极(八法五步)提升大学生刷新功能的脑机制

3.2.1 fALFF

本研究发现,太极(八法五步)能够增强右侧梭状回、左侧内侧额上回的fALFF,减弱右侧背外侧额上回、右侧中央旁小叶的fALFF;健步走运动增强了右侧梭状回的fALFF,减弱了右侧背外侧额上回、右侧中央旁小叶fALFF的增强。这表明太极(八法五步)与健步走在一定程度上均能提升脑功能,前人研究也提出,运动干预可以改善大脑的可塑性,包括脑功能活动的优化(Best et al., 2017; Rogge et al., 2018)。

右侧梭状回位于视觉联合皮层,涉及面部知觉(Uono et al., 2017)和身体知觉(Grewe et al., 2015)等过程。本研究结果表明,太极(八法五步)、健步走均能增强右侧梭状回局部自发神经活动,这提示我们,长期的运动干预可能提升大学生面部知觉和身体知觉的能力。前人研究发现,12周瑜伽干预后,早期精神病患者的梭状回皮质厚度和体积增加(Woodward et al., 2020);也有学者指出,长期练习太极拳能够增强梭状回的局部一致性,改善记忆能力(Yue et al., 2020a)。太极(八法五步)对右侧梭状回的影响可能与太极拳所蕴含的觉知、冥想元素有关,已有研究发现太极拳能够提升正念水平(Chen et al., 2021)。太极(八法五步)运动过程中,个体需要用意念引导,更加注重持续地觉察动作、呼吸等,不断提升的觉知能力可能会增强感知觉能力,进而提升与面部知觉、身体知觉相关脑区的自发神经活动。

右侧中央旁小叶属于运动感觉网络的关键脑区(刘明等,2016)。有研究发现急性有氧运动后,2-back条件下右侧中央旁小叶激活减弱(Li et al., 2014);还有研究发现舞蹈干预后大脑中央旁小叶的灰质体积增加(Trinkler et al., 2019)。本研究发现,8周太极(八法五步)减弱了右侧中央旁小叶自发神经活动,而健步走减缓了该脑区自发神经活动的增强。这可能是由于太极(八法五步)干预初期涉及全新的动作学习,在8周干预过程中,大学生由最初的动作学习阶段逐渐过渡到了动作自动化的阶段,进行动作执行时无需调动太多资源,自发神经活动减弱。

左侧内侧额上回位于内侧额前叶,与抑制控制有关,对情感和动机具有重要的作用(Miller et al., 2001)。前人

研究发现训练引起的大脑皮层功能活动的变化主要体现在前额叶和顶叶区域(Wei et al., 2017)。Yin等(2014)的研究表明,6周的太极拳干预能够增强老年人左侧额上回的ALFF。本研究结果表明,太极(八法五步)显著增强了左侧额上回的fALFF,且效果优于健步走,而健步走对其无显著影响。这可能与太极(八法五步)的动作特征、练习法则及核心要素有关。太极(八法五步)是一种多模式的身心运动,它强调觉察、体验广泛的内在感觉与身体外部现象的重要性,包括了大量的动作学习和运动控制过程,兼具身体训练和认知训练的特征。以往研究发现,身体训练和认知训练相结合的方式可能会使干预效果同时增强(Hotting et al., 2013)。

右侧背外侧额上回位于背外侧前额叶,在认知、刷新功能及执行控制方面起到重要的作用,还与注意、自我相关的加工、自传体记忆的加工等有关(Miller et al., 2001; Northoff et al., 2006; van der Meer et al., 2010; Whitfield-Gabrieli et al., 2011)。人体和动物实验研究均表明,体育活动促进了大脑的神经可塑性,从而改善认知功能。通过体育锻炼,个体的注意、刷新等认知活动得到频繁锻炼,这些认知活动的加工过程逐渐自动化,进行相关认知加工时无需动用太多的资源,自发神经活动减弱。本研究结果也发现,太极组右侧背外侧额上回fALFF的减弱能够显著预测其刷新功能的提升。背外侧前额叶位于执行控制网络,与运动过程中的控制有关,还参与工作记忆等需要外部导向注意力的认知任务(Beaty et al., 2015)。太极拳运动中涉及大量的运动控制以及动作的记忆与提取过程,8周的训练使得该区域得到频繁锻炼,随着对动作的控制逐渐形成自动化,对该区域资源的调动逐渐降低,对该脑区能量的供应减少,脑区自发神经活动也趋于减弱。因此,太极(八法五步)对右侧背外侧额上回的自发神经活动优化的效果更强,对大学生刷新功能的提升效果更好。此外,本研究中右侧梭状回、右侧中央旁小叶、左侧内侧额上回的fALFF变化与刷新功能的变化没有显著性关系,这也提示我们,这些脑区fALFF的变化可能与太极(八法五步)引起的其他行为变化有关,如认知控制、认知灵活性、情绪、注意力、长时记忆等,今后研究可以进一步分析太极(八法五步)对这些行为学指标的影响并揭示其脑机制。

本研究结果还发现,太极(八法五步)增强了2个脑区fALFF,减弱了2个脑区fALFF,健步走增强了1个脑区fALFF,减缓了2个脑区的fALFF增强趋势。有研究指出,大脑的总血流量在运动期间无显著变化(Globus et al., 1983),并且大脑会将有限的资源分配至需要的脑区(Moriarty et al., 2019)。太极(八法五步)涉及动作的学习与控制、记忆的储存与提取、注意的集中与转换、呼吸的控制、对内外部体验的觉察等,在8周干预中大脑需要

不断地将资源分配给相应的认知过程,使得相应脑区神经活动的同步性得到优化,体现在不同脑区自发神经活动的同步增强与减弱。内侧额上回属于默认网络,背外侧额上回属于执行控制网络,有研究指出,这2个网络倾向于相反的活动,即一个网络的激活通常对应另一个网络的抑制(Fox et al., 2005)。执行网络与默认网络之间的耦合增加,也反映了与认知相关的大脑网络之间的合作增强(Beaty et al., 2015)。因此,这也提示我们,太极(八法五步)可能优化了脑区间自发神经活动的同步性,促进了刷新功能运行效率的提升。

3.2.2 功能连接及脑网络拓扑属性

基于fALFF的分析结果,以与刷新功能反应时变化存在关系的右侧背外侧额上回为种子点,进行全脑功能连接分析,探究太极(八法五步)干预是否促进了脑区间自发神经活动的同步性,发现了太极(八法五步)干预后右侧背外侧额上回与左侧角回的功能连接显著增强,即太极(八法五步)干预后右侧背外侧额上回与左侧角回在静息状态下低频振荡信号同步减弱,这支持了fALFF分析的结果。功能连接体现了脑区间神经元活动模式的时间依赖性,即脑区间的功能连通性。有研究发现,与非运动员相比,长期高策略性技能训练(乒乓球)运动员连接背侧和腹侧通路脑区的白质结构更加完整,如左侧上纵束的各向异性分数更高,该白质纤维束将额区和颞盖区分别连接到顶上小叶、角回等脑区(祁亚鹏等, 2021)。本研究中右侧背外侧额上回与左侧角回功能连接的增强,也反映了背侧和腹侧通路的连通性的增强。这提示我们太极(八法五步)干预虽然不是高策略性技能,但因运动过程中“形”涉及动作回忆、动作表征编码等动作执行过程,“意”涉及思维、注意力等认知过程,其对高级认知功能的促进也可以达到相似的锻炼效果。角回位于腹侧语言区,前人研究发现,有氧运动训练后,角回的ALFF显著降低,且认知功能得到改善(赵海军等, 2021)。还有研究对轻度认知障碍老年人进行6个月的八段锦干预,发现老年人的角回灰质体积显著增加,海马的ALFF显著降低,海马体-角回的功能连接增强(Tao et al., 2019)。

最后,本研究还构建了脑功能网络,结合图论分析进一步探究太极(八法五步)干预在优化区域自发神经活动、脑区间功能连接的同时,是否还引发了脑功能网络的内在组织和运行模式的变化,结果发现太极(八法五步)显著提升了脑功能网络的Eloc和Eg。Eloc是指所有节点上的Eloc,即对于1个节点*i*,与其邻居构成的小网络之间进行信息通信的效率,反映了脑网络中每个局部集群的平均效率(Li et al., 2021),Eloc越高,表明脑网络的模块化程度越高,局部信息传输效率越强(Bullmore et al., 2009)。Eg是指网络中任意2个节点进行信息通信的效率,反映了脑网络的整合程度(Bullmore et al., 2009)。这

2个属性的同时增强反映了太极(八法五步)干预后脑网络的功能分离和整合水平的均衡提升,即大脑的组织模式更加高效。Yue等(2020b)横向对比了长期进行太极拳锻炼与步行锻炼的老年女性脑白质网络的拓扑属性差异,发现长期太极拳锻炼的老年女性小世界属性更强,且与刷新功能运行效率呈正相关。脑网络的小世界属性体现了大脑网络的功能分离与整合的平衡性,即高水平的局部模块负责高效的局部信息处理,在局部模块间再加上几个远程连接,通过这些网络确保全脑及不同脑区间高水平的信息传输效率。本研究结果表明,太极(八法五步)能够提升脑网络的局部及全局运行效率、优化脑功能组织模式,与健步走相比,太极(八法五步)对Eloc的提升作用更强。

综上所述,本研究发现了8周太极(八法五步)对大学生刷新功能运行效率的提升作用,并从区域自发神经活动、功能连接、脑网络拓扑属性的角度揭示了其作用的内在机制,为提升大学生刷新功能、促进身心脑健康提供了新的途径和科学依据。未来研究可扩大样本量,延长干预周期,探讨更长的太极拳干预周期对认知、脑可塑性的影响;引入有效连接,探究太极拳干预引起的脑区间功能连接的方向;采用扩散张量成像(diffusion tensor imaging)技术,从白质纤维束的角度探索太极拳对脑结构网络的影响。

4 结论

1)8周太极(八法五步)能够提升大学生刷新功能的运行效率,且效果优于健步走。

2)8周太极(八法五步)、健步走能够促进脑自发神经活动的优化,且太极(八法五步)具有独特优势,主要体现在左侧内侧额上回fALFF的增强、右侧背外侧额上回与左侧角回功能连接的增强、脑功能网络局部信息传输率的提升。

3)太极(八法五步)提升大学生刷新功能运行效率的脑机制可能是促进了脑自发神经活动的优化。

参考文献:

- 陈爱国, 崔蕾, 殷恒婵, 2016. 组合运动干预对语文学习困难小学生执行功能的影响[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 25(12):1123-1127.
- 陈爱国, 董晓晓, 朱丽娜, 等, 2018. 运动干预改善聋哑儿童执行控制的多模态磁共振研究[J]. 体育与科学, (4):52-59.
- 李秀娟, 崔蕾, 王源, 等, 2020. 短时太极(八法五步)对大学生负性情绪刺激下抑制功能影响的ERP研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 56(1):141-147.
- 李秀娟, 殷恒婵, 崔蕾, 等, 2020. 短时太极(八法五步)对大学生抑制功能影响的ERP研究[J]. 天津体育学院学报, 35(1):29-35.
- 刘明, 赵晶, 和清源, 等, 2016. 正常人音乐欣赏的脑功能磁共振激活模式研究[J]. 医学影像学杂志, (4):569-573.
- 梅剑, 杨子焱, 陈爽, 等, 2019. 杨氏太极拳习练者静息状态下比率

- 低频振幅及工作记忆特征[J]. 中国运动医学杂志, (6):449-453.
- 祁亚鹏, 王怡萱, 朱桦, 等, 2021. 长期高策略性技能训练对运动员大脑白质结构的影响:一项DTI研究[J]. 心理学报, (7):798-806.
- 殷恒婵, 崔蕾, 潘家礼, 等, 2018. 改善不同类型学习困难小学生脑执行功能的运动干预方案开发与实证研究[J]. 武汉体育学院学报, 2(6):78-89.
- 殷恒婵, 李鑫楠, 陈爱国, 等, 2015. 5种运动干预方案对小学生脑执行功能影响的试验研究[J]. 天津体育学院学报, 30(1):7-10.
- 赵海军, 李贞, 詹文峰, 2021. 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, (6):139-144.
- 赵琦, 陆颖之, 王莹莹, 等, 2017. 舞蹈运动员大脑感知运动系统的功能特征:一项静息态功能磁共振研究[J]. 中国运动医学杂志, (12):1081-1086.
- 赵鑫, 周仁来, 2014. 工作记忆刷新功能的可塑性[J]. 心理科学进展, 22(10):1521-1531.
- BEATY R E, BENEDEK M, KAUFMAN S B, et al., 2015. Default and executive network coupling supports creative idea production [J]. *Sci Rep*, 5:10964.
- BEST J R, ROSANO C, AIZENSTEIN H J, et al., 2017. Long-term changes in time spent walking and subsequent cognitive and structural brain changes in older adults[J]. *Neurobiol Aging*, 57:153-161.
- BULLMORE E, SPORNS O, 2009. Complex brain networks: Graph theoretical analysis of structural and functional systems[J]. *Nat Rev Neurosci*, 10(3):186-198.
- CHEN L Z, DAI A Y, YAO Y, et al., 2021. Effects of 8-week Tai Chi Chuan practice on mindfulness level[J]. *Mindfulness*, 12(6):1534-1541.
- CUI L, YIN H C, LYU S J, et al., 2019. Tai Chi Chuan vs General Aerobic Exercise in brain plasticity: A multimodal MRI study[J]. *Sci Rep*, 9(1):17264.
- FOX M D, SYNDER A Z, VINCENT J L, et al., 2005. The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 102(27):9673-9678.
- Friston K J, Kahan J, Razi A, et al., 2014. On nodes and modes in resting state fMRI[J]. *Neuroimage*, 99:533-547.
- GLOBUS M, MELAMED E, KEREN A, et al., 1983. Effect of exercise on cerebral circulation[J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 3(3):287-290.
- GOODERHAM G K, HO S, HANDY T C, 2019. Variability in executive control performance is predicted by physical activity[J]. *Front Hum Neurosci*, 13:463.
- GREWE P, WOERMANN F G, BIEN C G, et al., 2015. Disturbed spatial cognitive processing of body-related stimuli in a case of a lesion to the right fusiform gyrus[J]. *Neurocase*, 21(6):688-696.
- HOTTING K, RODER B, 2013. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 37(9 Pt B):2243-2257.
- Ji Z G, Li A M, Feng T, et al., 2017. The benefits of Tai Chi and brisk walking for cognitive function and fitness in older adults[J]. *PeerJ*, 5:e3943.
- LI L, MEN W W, CHANG Y K, et al., 2014. Acute aerobic exercise increases cortical activity during working memory: A functional MRI study in female college students[J]. *PLoS One*, 9(6):e99222.
- LI W P, ZHAO H, QING Z, et al., 2021. Disrupted network topology contributed to spatial navigation impairment in patients with mild

- cognitive impairment[J]. *Front Aging Neurosci*, 13:630677.
- MA W J, Husain M, Bays P M, 2014. Changing concepts of working memory[J]. *Nat Neurosci*, 17(3):347-356.
- MILLER E K, COHEN J D, 2001. An integrative theory of prefrontal cortex function[J]. *Annu Rev Neurosci*, 24:167-202.
- MORIARTY T, BOURBEAU K, BELLOVARY B, et al., 2019. Exercise intensity influences prefrontal cortex oxygenation during cognitive testing[J]. *Behav Sci (Basel)*, 9(8): 83.
- NORTHOFF G, HEINZEL A, DE GRECK M, et al., 2006. Self-referential processing in our brain: A meta-analysis of imaging studies on the self[J]. *Neuroimage*, 31(1):440-457.
- Posner M I, 2012. Imaging attention networks[J]. *Neuroimage*, 61(2):450-456.
- RAICHLER M E, MINTUN M A, 2006. Brain work and brain imaging [J]. *Annu Rev Neurosci*, 29:449-476.
- ROGGE A K, RODER B, ZECH A, et al., 2018. Exercise-induced neuroplasticity: Balance training increases cortical thickness in visual and vestibular cortical regions[J]. *Neuroimage*, 179:471-479.
- SOARES J M, MAGALHAES R, MOREIRA P S, et al., 2016. A hitchhiker's guide to functional magnetic resonance imaging [J]. *Front Neurosci*, 10:515.
- TAO J, CHEN X L, LIU J, et al., 2017. Tai Chi Chuan and Baduanjin mind-body training changes resting-state low-frequency fluctuations in the frontal lobe of older adults: A resting-state fMRI Study [J]. *Front Hum Neurosci*, 11:514.
- TAO J, LIU J, CHEN X L, et al., 2019. Mind-body exercise improves cognitive function and modulates the function and structure of the hippocampus and anterior cingulate cortex in patients with mild cognitive impairment[J]. *NeuroImage Clinical*, 23:101834.
- TRINKLER I, CHÉHÉRE P, SALGUES J, et al., 2019. Contemporary dance practice improves motor function and body representation in Huntington's disease: A pilot study[J]. *J Huntington's Dis*, 8(1):97-110.
- UONO S, SATO W, KOCHIYAMA T, et al., 2017. Time course of gamma-band oscillation associated with face processing in the inferior occipital gyrus and fusiform gyrus: A combined fMRI and MEG study[J]. *Hum Brain Mapp*, 38(4):2067-2079.
- VAN DER MEER L, COSTAFREDA S, ALEMAN A, et al., 2010. Self-reflection and the brain: A theoretical review and meta-analysis of neuroimaging studies with implications for schizophrenia [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 34(6):935-946.
- VOSS M W, NAGAMATSU L S, LIU-AMBROSE T, et al., 2011. Exercise, brain, and cognition across the life span[J]. *J Appl Physiol* (1985), 111(5):1505-1513.
- WEI G X, GONG Z Q, YANG Z, et al., 2017. Mind-body practice changes fractional amplitude of low frequency fluctuations in intrinsic control networks[J]. *Front Psychol*, 8:1049.
- WHITFIELD-GABRIELI S, MORAN J M, NIETO-CASTANON A, et al., 2011. Associations and dissociations between default and self-reference networks in the human brain [J]. *Neuroimage*, 55(1): 225-232.
- WOODWARD M L, LIN J, GICAS K M, et al., 2020. Medial temporal lobe cortical changes in response to exercise interventions in people with early psychosis: A randomized controlled trial [J]. *Schizophrenia Res*, 223:87-95.
- YIN S F, ZHU X Y, LI R, et al., 2014. Intervention-induced enhancement in intrinsic brain activity in healthy older adults [J]. *Sci Rep*, 4:7309.
- YUE C L, ZOU L Y, MEI J, et al., 2020b. Tai Chi training evokes significant changes in brain white matter network in older women [J]. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 8(1):57.
- YUE C L, YU Q, ZHANG Y J, et al., 2020a. Regular Tai Chi practice is associated with improved memory as well as structural and functional alterations of the hippocampus in the elderly [J]. *Front Aging Neurosci*, 12:586770.
- ZANG Y F, HE Y, ZHU C Z, et al., 2007. Altered baseline brain activity in children with ADHD revealed by resting-state functional MRI[J]. *Brain Dev*, 29(2):83-91.

The Effect of Bafa Wubu of Tai Chi on Updating in College Students: Evidence from Spontaneous Neural Activity

SHEN Qiqi, CUI Lei, ZHANG Jingyi, WANG Dongling, LUO Rui, XIN Zhenlei, YIN Hengchan*

College of P. E. and Sports, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Objective: To explore the effect and neural mechanism of Bafa Wubu of Tai Chi on updating, and to provide a new approach and scientific reference for improving the updating in college students. Methods: A total of thirty-six college students participated in this study, and a 3 (group: Tai Chi group, general aerobic exercise group, control group) × 2 (time: pre, post) mixed factorial design was used in the experiments. 3-back task and rs-fMRI were used to assess the updating and monitor the spontaneous neural activity at before and after the 8-week intervention. Results: 1) Compared with pre-test, the response time (RT) of updating in BWTC was significantly decreased at post-test, and it was also significantly lower than that of BW and CG; 2) The 8-week BWTC was significantly increased the fALFF in the right fusiform gyrus (FFG.R) and left medial superior frontal gyrus (SFGmed.L), and it was significantly decreased the fALFF in the right dorsolateral superior frontal gyrus (SFGdor.R) and right central parietal lobule (PCL.R). In addition, the 8-week BW was significantly increased the fALFF in the FFG.R, and significantly decreased the increasing trend of the fALFF in the SFGdor.R and PCL.R. Compared with BW, the BWTC was significantly enhanced the fALFF in SFGmed.L. The correlation and regression analysis showed a positive correlation between the change of the RT of updating and the change of fALFF in the SFGdor.R, and the decrease of fALFF in the SFGdor.R could explain 80.2% of the observed decrease of RT of

updating; 3) The results showed a significant enhancement of the functional connectivity between the left angular gyrus and the SFGdor.R after BWTC intervention; 4) The BWTC was significantly promoted the local and global efficiency, and the enhancement of local efficiency was significantly higher than that of the BW. Conclusion: 1) 8-week of BWTC intervention can improve the efficiency of updating in college students, which is greater than that of BW; 2) 8-week of BWTC and BW intervention can effectively promote the optimization of spontaneous neural activity, and the effect of BWTC is greater which is mainly reflected through the increase of the fALFF in SFGmed.L, the functional connectivity between SFGdor.R and ANG.L, and the enhancement of local efficiency in brain functional networks; 3) BWTC has the advantage of improving college students' updating function, and the potential mechanism may be related to the optimization of spontaneous neural activity.

Keywords: *Tai Chi Chuan (Bafa Wubu of Tai Chi); college students; updating function; fALFF; functional connectivity; topological properties of functional networks*

(上接第 11 页)

这其中每一条都对体育行政部门提出工作要求,有些工作(如设立体育仲裁委员会、制定体育仲裁规则等),情况较为复杂,实践基础也不厚实,需要权衡的因素较多,需要立足中国国情并借鉴国外经验,组织力量抓紧推进,使新修订的《体育法》施行后能够较快落地、见到实效,规范引领体育事业体育产业在较高水平上加快发展规范发展,加快推进体育强国和健康中国建设。

参考文献:

国家国民体质监测中心,2021.国家国民体质监测中心发布《2020年全民健身活动状况调查公报》[EB/OL].[2022-06-20]. [https://](https://www.ciss.cn/tzgg/info/2021/32029.html)

www.ciss.cn/tzgg/info/2021/32029.html.

国家统计局,2022.中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].[2022-06-20]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202202/t20220227_1827960.html.

江小涓,2018.中国体育产业:发展趋势及支柱地位[J].管理世界,34(5):1-9.

江小涓,2019.体育产业发展:新的机遇与挑战[J].体育科学,39(7):3-11.

江小涓,李姝,2020.数字化、全球化与职业体育的未来[J].上海体育学院学报,44(3):1-16.

王进,朱恒顺,唐宁,2021.《中华人民共和国体育法》修改中的若干问题研究[J].体育科学,41(10):10-16.

中国体育报,2022.新时代体育事业发展的法治保障:体育总局政策法规司负责人解读新修订的体育法[N].中国体育报,2022-06-25(3).

Fully Implementing and Applying the Law of the People's Republic of China on Sports (2022 Revision), Accelerating the Construction of A Leading Sports Nation

—Revision Process, Key Additions and Changes, and Thoughts on Learning

JIANG Xiaojuan^{1,2}

1. Social Construction Committee of the National People's Congress, Beijing 100051, China;

2. University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100102, China

Abstract: The Law of the People's Republic of China on Sports (2022 Revision) has been revised at the 35th Meeting of the Standing Committee of the 13th National People's Congress on June 24, 2022, which represents a new stage of sports legal system construction in China. The study explains the background of the revision, the process of the legislation, the key additions and changes, and legislative consideration. The Law of the People's Republic of China on Sports (2022 Revision) takes the vision of "people-centered" throughout the whole process of revision, and puts the sports spirit promotion in a leading position, and is of great significance for promoting the development of the sports undertakings and sports industry to a new level. After the promulgation of the Law of the People's Republic of China on Sports (2022 Revision), the sports administrative departments are given higher requirements. The government should base the work on the current circumstances of China and introduce foreign experiences, and organize related powers to facilitate the making and implementation of supporting policies. The government should also guide the development of sports undertakings and sports industry on a high level in a system, standard-based, and efficient way, for the purpose of accelerating the construction of a leading sports nation and a healthy China.

Keywords: *the Sports Law; revision; a leading sports nation*