

不同剂量太极拳运动对大学生刷新功能的影响：基于 fNIRS 的研究

张琼月¹，申其淇¹，宋安琦¹，柴秋月¹，肖杨¹，吕承颖¹，赵起越¹，李佳奇¹，殷恒婵^{1*}，崔蕾^{1*}

1 北京师范大学，北京 100875

*为通讯作者：cuilei@bnu.edu.cn, yinhengchan@bnu.edu.cn

目的：刷新功能是指根据当前任务需要或者根据新呈现的信息，主动储存与提取工作记忆信息的能力，是执行功能的重要组成部分，是高级认知活动的核心。太极拳是具有鲜明中华优秀传统文化特征的身心合一的健身养生运动，可以在没有特殊设施和设备的条件下练习。以往研究表明太极拳运动能够提升刷新功能，并且与大脑功能的改善有关。然而，目前较少研究探讨太极拳促进刷新功能发展的优选剂量。本研究拟采用近红外脑成像（fNIRS）技术，探讨 8 周不同剂量太极拳运动对大学生刷新功能的影响及其脑机制，旨在确定促进大学生刷新功能的优选剂量，为促进大学生刷新功能的发展提供更精准、高效、可选择的太极拳运动方案。**方法：**以 90 名大学生为研究对象。采用 3 组别（太极组 1、太极组 2、空白对照组） $\times$ 2 时间（前测、后测）两因素混合实验设计。其中，组别（运动剂量）为被试间因素，时间为被试内因素。因变量为被试的刷新功能正确率和反应时以及刷新功能任务进行时 21 个脑区的氧合血红蛋白浓度变化的 β 值。本次运动干预采用国家体育总局推出的太极（八法五步），其中太极组一每周运动 3 次，50min/次，太极组二每周运动 5 次，30min/次，太极组一与太极组二运动总量相同（150min/周），强度控制为中等强度，即平均心率处于 $(220-\text{年龄})\times(60\sim69\%)$ ，强度监控采用 Polar Team 心率遥测系统，对运动过程中的心率进行实时监控。所有被试均在运动干预前后采用 3-back 任务测量刷新功能，同时采用 fNIRS 监测其任务期间的 Oxy-Hb 水平变化。本实验采用 Artinis Brite 便携式功能性近红外光谱成像仪采集太极组一、太极组二与对照组在 8 周干预前后脑血流动力学变化。采样率为 25HZ。采用 2 台设备进行联合共形成 49 个通道（其中 2 个通道为短距离通道）。行为学指标中刷新功能正确率越高，代表刷新功能的运行效能越好；反应时越短，代表刷新功能的运行效率越好。刷新功能任务条件下 49 个通道氧合血红蛋白浓度变化的 β 值。其反映氧合血红蛋白的浓度变化。对行为学任务指标数据进行 3 组别（实验组一、实验组二、空白对照组） $\times$ 2 时间（前测、后测）的两因素重复测量方差分析，探讨组别、时间两因

素的单独及交互作用。对脑功能指标通过模型估计提取各脑区的 β 值后，并导入 SPSS25.0 软件进行重复测量方差分析，以检验时间与组别的单独和交互作用。当交互作用显著间，进一步开展简单效应分析。统计分析显著性阈值为 $p \leq 0.05$ ，边缘显著性阈值为 $0.05 < p \leq 0.06$ 。**结果：**(1)行为学结果：对三组大学生 3-back 任务的刷新功能正确率和反应间进行重复测量方差分析，结果发现，1) 刷新功能正确率：时间主效应极显著 $[F_{(1,84)}=19.197, p=0.0000, \eta_p^2=0.186,]$ ，组别主效应非常显著 $[F_{(1,84)}=5.595, p=0.005, \eta_p^2=0.118]$ ，组别 $\times$ 时间：交互效应显著 $[F_{(2,84)}=3.328, p=0.041, \eta_p^2=0.073]$ 。进一步对刷新功能正确率进行简单效应分析，结果显示，对照组前后测无显著性差异，太极组一运动干预后极显著好于运动干预前 $[F_{(1,84)}=16.053, p=0.000, \eta_p^2=0.160]$ 。太极组二运动干预后非常显著好于运动干预前 $[F_{(1,84)}=8.493, p=0.005, \eta_p^2=0.092]$ 。在运动干预结束后，太极组一的正确率非常显著好于对照组 ($p=0.004$)，太极组二正确率极显著好于对照组 ($p=0.000$)，太极组一和太极组二无显著性差异 ($p=0.082$)。2) 刷新功能反应时：时间主效应非常显著 $[F_{(1,84)}=14.728, p=0.000 < 0.01, \eta_p^2=1.149]$ ，组别主效应边缘显著 $[F_{(1,84)}=2.947, p=0.058 < 0.06, \eta_p^2=0.066]$ ，时间 $\times$ 组别主效应不显著 $[F_{(2,84)}=2.243, p=0.112, \eta_p^2=0.051]$ 。三组的反应时在干预后都出现了下降的趋势，下降的幅度太极组一 $>$ 太极组二 $>$ 对照组。(2) fNIRS 结果：分别对 21 个感兴趣区 3-back 任务期间氧合血红蛋白浓度变化的 β 值。采用重复测量方差分析，探讨太极组一、太极组二、对照组对大学生刷新任务间脑激活的影响，结果发现：1) 在左缘上回上，时间 $\times$ 组别的交互作用显著 $[F_{(2,81)}=3.482, p=0.035, \eta_p^2=0.079]$ 。进一步对其进行简单效应分析，结果发现，太极组一的 β 后测较前测显著降低 $[F_{(1,81)}=5.531, p=0.021, \eta_p^2=0.064]$ ，太极组二、对照组在前后测无显著变化。2) 在右侧三角部额下回上，时间主效应显著 $[F_{(1,81)}=4.246, p=0.043, \eta_p^2=0.050]$ 。在干预前后三个组别 β 值都升高，升高幅度太极组二 $>$ 太极组一 $>$ 对照组。**结论：**1) 8 周太极拳运动干预能够显著提升大学生刷新功能的运行效率与效能，表现为 3-back 任务正确率的提高和反应时的缩短，并且不同剂量组合之间没有显著性差异，提示运动总量可能是对大学生刷新功能影响更关键的影响因素。2) 太极拳运动提升大学生刷新功能的脑机制可能会同时促进神经加工效率的提升和神经可塑性的增强，且不同剂量太极拳在左侧缘上回的脑区激活有差异。

关键词：大学生；刷新功能；太极拳；fNIRS

The effects of different doses of Tai Chi on updating function in college students: An fNIRS-based study

Qiongyue Zhang¹, Qiqi Shen¹, Anqi Song¹, Qiuyue Chai¹, Yang Xiao¹,
Chengying Lyu¹, Jiaqi Li¹, Qiyue Zhao¹, Hengchan Yin^{1*}, Lei Cui^{1*}

1 Beijing Normal University, Beijing 100875, China

* is the corresponding author: cuilei@bnu.edu.cn, yinhengchan@bnu.edu.cn

Abstract: **Objective:** Updating function, a key component of executive function, refers to the ability to actively store and retrieve working memory content based on task demands or new stimuli. This study aimed to investigate the dose-dependent effects of Tai Chi on updating function and its neural mechanisms in college students using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). **Methods:** Ninety college students were divided into a low-frequency, long-duration Tai Chi group (TC1: 3x50min/week), a high-frequency, short-duration group (TC2: 5x30 min/week), and a control group. The updating function was assessed using a 3-back task, and associated brain activation was measured with fNIRS before and after the intervention. **Results:** Behaviorally, both Tai Chi groups showed significant improvements in 3-back task accuracy compared to the control group, with no significant difference between the two exercise regimens. Neurally, a significant interaction was found in the left supramarginal gyrus, where the TC1 group showed decreased activation post-intervention, suggesting enhanced neural efficiency. Additionally, activation in the right inferior frontal gyrus increased over time across all groups. **Conclusion:** An 8-week Tai Chi intervention effectively improves the updating function in college students. The findings suggest that total exercise volume is a more critical factor than the specific frequency-duration combination. The underlying neural mechanisms may involve both increased neural efficiency and neuroplasticity, with different dosages potentially inducing distinct patterns of brain adaptation.

Keywords: college students; updating function; Tai Chi; fNIRS

