·临床研究·

# 基于近红外脑功能成像技术分析改良八段锦对脑卒中患者上肢运动功能相关大脑变化的影响

胡 凡[1,2],朱光跃[2],张光沪[2],蒋奕晨[2],黄 勇[1],许东升[2*]

1 上海中医药大学附属普陀医院,上海 200062;

2 上海中医药大学康复医学院,上海 201203

* 通信作者:许东升,E-mail:dxu0927@163.com

收稿日期:2025-01-20;接受日期:2025-05-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFC2004202);上海市区级综合(专科)医院中西医结合专科能力提升项目(QJZXYJK-202411)

DOI:10.3724/SP.J.1329.2025.04013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**摘要** **目的** 通过近红外脑功能成像技术(fNIRS)分析改良八段锦对脑卒中患者上肢运动功能相关大脑变化的影响。**方法** 选择2024年1—3月在上海中医药大学附属普陀医院治疗的脑卒中患者21例(观察组),并选择与之年龄相匹配的健康人21例(对照组),其中对照组2例因探头信号及近红外数据不理想而脱落,最终对照组、观察组分别纳入19、21例。采用Fugl-Meyer评估量表上肢部分(FMA-UE)评估上肢运动功能;采用Chedoke上肢功能活动量表9项香港版(CAHAI-9 HK)评估脑卒中偏瘫后双侧上肢协调功能和日常作业能力;采用改良Barthel指数评定量表(MBI)评估患者日常生活活动能力;采用便携式近红外脑功能成像系统采集静息态任务和改良八段锦任务下每个受试者大脑的血流动力学反应,以氧合血红蛋白($HbO_2$)为主要结局指标,分析其小波幅值(WA)和小波相位相干性(WPCO)。**结果** ① WA:与对照组比较,观察组静息态任务下前额叶皮质CH2、CH4、CH21通道WA均明显更高,差异均具有统计学意义($P<0.05$);改良八段锦任务下患侧前额叶皮质CH2、CH3通道和感觉运动皮质CH10、CH33通道WA均明显更高,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。② WPCO:与对照组比较,观察组静息态CH1～CH29通道WPCO明显更高,差异均具有统计学意义($P<0.05$);观察组改良八段锦任务CH25～CH36通道WPCO均明显更高,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。③ WA差值与FMA-UE、MBI和CHAIH-9 HK评分相关性:观察组静息态与改良八段锦任务态中,CH1、CH2和CH20通道脑激活WA差值与FMA-UE评分均呈正相关关系($P<0.05$);CH1和CH23通道脑激活WA差值与MBI评分均呈正相关关系($P<0.05$);CH1、CH22、CH23和CH31通道脑激活WA差值与CHAIH-9 HK评分均呈正相关关系($P<0.05$)。**结论** 改良八段锦可促进脑卒中患者大脑皮质激活,改变脑功能连接模式,脑激活改变与上肢运动功能、日常生活活动能力和协调认知功能密切相关。

**关键词** 脑卒中;上肢运动功能;脑激活;脑功能连接;改良八段锦;近红外脑功能成像技术

脑卒中是中国最常见的脑血管疾病之一,是导致我国成年人残疾的重要原因之一[1]。约80%脑卒中患者会出现肢体功能障碍,在发病6个月之后,超过60%患者仍遗留有上肢运动功能障碍或手功能障碍[2-3]。即使处于脑卒中康复后期,上肢及手功能障碍依然严重影响患者的日常生活活动能力,无法

引用格式:胡凡,朱光跃,张光沪,等. 基于近红外脑功能成像技术分析改良八段锦对脑卒中患者上肢运动功能相关大脑变化的影响[J]. 康复学报,2025,35(4):424-432.

HU F,ZHU G Y,ZHANG G H,et al. Effects of modified Baduanjin on brain changes associated with upper limb motor function in stroke patients based on functional near-infrared spectroscopy [J]. Rehabil Med,2025,35(4):424-432.

DOI:10.3724/SP.J.1329.2025.04013

©《康复学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议 © *Rehabilitation Medicine*, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

独立回归社会,严重影响生活质量[4]。有研究表明,现有的临床治疗对脑卒中后上肢运动功能障碍效果并不理想,仅有5%患者恢复了较为完整的上肢运动功能[5]。脑卒中发生后,患侧上肢的活动表现一般都会变差,常伴有运动和感觉功能障碍,导致双侧上肢废用[6]。有研究认为,脑卒中后双上肢残存的协调能力可能取决于任务要求、病变位置、受损后大脑功能连接情况(如半球间连接或者同脑区内连接)以及上肢活动中出现的感觉运动障碍等复杂因素[7-9]。在临床实践中,即使部分恢复较好的脑卒中患者依然会留存双上肢协调较差、活动参与度较低、难以完成复杂动作等功能障碍。

近年来,八段锦逐渐在脑卒中的预防和康复中广泛应用。该运动通过对"气、神、形"进行调控与锻炼,兼具易学习、易操作的特点。多项研究表明,八段锦与其他康复方法的结合能有效提高脑卒中患者的整体临床疗效,减轻抑郁程度,改善运动功能、肌力、肌张力、日常生活活动能力和整体认知功能等[10-12]。李建敏等[13]研究发现,八段锦运动与中医体针巨刺法结合可改善脑卒中患者偏瘫侧上肢痉挛,提高运动功能和日常生活活动能力。王异之[14]通过八段锦辅以动作观察疗法干预脑卒中患者,结果显示上肢运动功能和肌力明显提升。但上述研究多采用量表作为评价标准,对脑卒中患者上肢运动功能相关的大脑改变并无深入研究。近红外脑功能成像(functional near-infrared spectroscopy,fNIRS)技术是一种创新的、非侵入性的工具,用于监测大脑皮层的血流动力学变化,由脑激活、功能连接等数据对大脑皮层运动后的变化进行客观描述。其具有适宜的时间和空间分辨率,可以进行长时间的监测且便携,适合于中医传统功法类研究[15]。本研究基于fNIRS技术分析改良八段锦对脑卒中患者上肢运动功能相关大脑皮层响应特征的影响。

## 1　临床资料

### 1.1　病例选择标准

**1.1.1**　诊断标准　符合《中国脑卒中防治指导规范(2021年版)》[16]中关于急性缺血性脑卒中和脑出血的诊断标准。

**1.1.2**　纳入标准　① 首次发生脑卒中;② 病程≥2周;③ 年龄22～80岁;④ 简易智能状态检查量表(Mini-Mental State Examination,MMSE)≥25分;⑤ 存在单侧上肢运动功能障碍,上肢Brunnstrom分期≥4期,Fugl-Meyer评估量表上肢部分(Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity Scale,FMA-UE)评分≥40分;⑥ 患者对本研究知情同意,并自愿签署知情同意书。

**1.1.3**　排除标准　① 合并严重心肺功能障碍;② 合并视觉等影响八段锦训练完成的功能障碍;③ 影响八段锦训练的严重骨关节疾病;④ 已有八段锦练习经验。

**1.1.4**　中止和脱落标准　① 出现严重不良事件;② 因各种原因未完成全部评估;③ 近红外数据失真导致无法分析。

### 1.2　一般资料

基于前期研究对于脑卒中患者脑功能的fNIRS相关研究进行样本量计算[17-18]。本研究采用G·Power 3.1.9.2软件进行样本量估算,效应值设置为0.5,$\alpha=0.05$,$\beta$设置为0.20(检验效能为0.8),根据计算结果,每组需要19例,考虑脱落率10%,最终每组纳入21例,共42例。选择2024年1—3月在上海中医药大学附属普陀医院治疗的脑卒中患者21例(观察组),并选择与之年龄相匹配的健康人21例(对照组)。其中对照组2例因探头信号及近红外数据不理想而脱落,最终对照组、观察组分别纳入19例、21例。2组年龄、性别、学历等一般资料进行比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。观察组脑卒中类型、病程、偏瘫侧、FMA-UE评分、Chedoke上肢功能活动量表9项香港版(The Hong Kong Version of Chedoke Arm and Hand Activity Inventory-9,CHAIH-9 HK)评分、改良Barthel指数评定量表(Modified Barthel Index,MBI)评分见表1。该研究通过上海中医药大学附属普陀医院伦理委员会审批通过[审批号:PTEC-A-2024-1(S)-1],并在中国临床试验注册中心完成注册(注册号:ChiCTR 2400090490)。

## 2　方　法

### 2.1　观察指标

**2.1.1**　上肢运动功能　采用FMA-UE评分评估上肢运动功能。总分66分,评分越高表示上肢运动功能越好。

**2.1.2**　双手协调功能　采用CHAIH-9 HK量表评估脑卒中偏瘫后双侧上肢协调功能和日常作业能力[19]。该量表包含9个项目,总分为63分,评分越高表示任务完成越好[20]。

表 1　2 组一般资料比较

Table 1　Comparison of general data between two groups

| 组别 | 例数 | 性别 | | 年龄/($\bar{x}\pm s$,岁) | 学历 | | | 脑卒中类型 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 男 | 女 | | 文盲 | 小学 | 初中及以上 | 脑出血 | 脑梗死 |
| 对照组 | 19 | 8 | 11 | 60.4±12.1 | 0 | 3 | 16 | — | — |
| 观察组 | 21 | 12 | 9 | 63.9±11.5 | 0 | 1 | 20 | 4 | 17 |

| 组别 | 例数 | 病程/($\bar{x}\pm s$,月) | 偏瘫侧 | | FMA-UE 评分/($\bar{x}\pm s$,分) | CHAIH-9HK 评分/($\bar{x}\pm s$,分) | MBI 评分/($\bar{x}\pm s$,分) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 左侧 | 右侧 | | | |
| 对照组 | 19 | — | — | — | — | — | — |
| 观察组 | 21 | 20.67±11.96 | 10 | 11 | 57.29±5.22 | 53.09±7.23 | 91.94±7.03 |

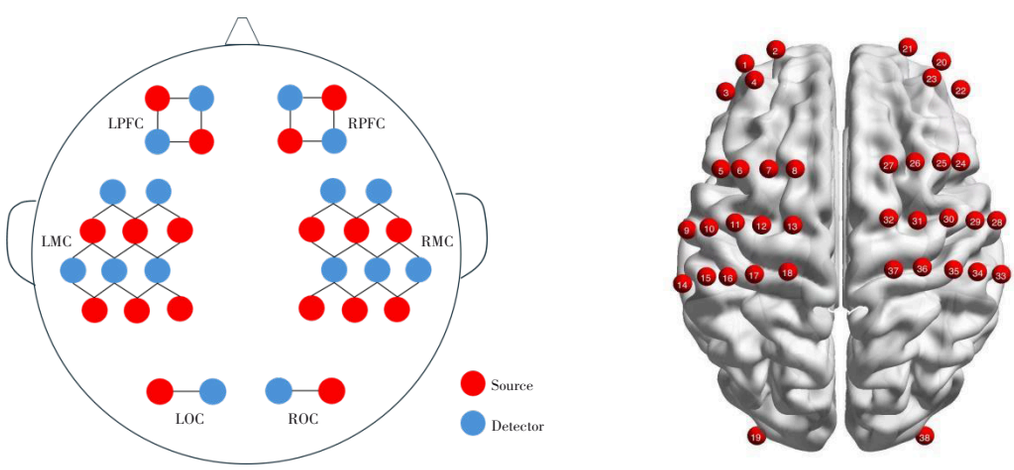
**2.1.3**　日常生活活动能力　采用 MBI 评分评估患者日常生活活动能力。MBI 评分越高表示日常生活活动能力越好。

**2.1.4**　基于 fNIRS 的上肢运动功能相关大脑变化分析

**2.1.4.1**　数据采集方法　采用便携式近红外脑功能成像系统(丹阳慧创医疗设备有限公司,型号:NirSmart Ⅱ-3000A)采集静息态任务和改良八段锦任务下每个受试者大脑的血流动力学反应。

光源选择 760、850 nm 的双波长近红外光。该系统的采集模型搭建参考国际 10-10 系统,配备了 18 个光源和 16 个接收器,组成 38 个测量通道。为了降低心跳、呼吸以及其他环境噪声的影响,提升信噪比,采样率为 10 Hz。

实际检测通道覆盖以下大脑区域,包括左前额叶皮质(left prefrontal cortex,LPFC)、右前额叶皮质(right prefrontal cortex,RPFC)、左运动皮质(left motor cortex,LMC)、右运动皮质(right motor cortex,RMC)、左枕叶皮质(1eft occipital cortex,LOC)和右枕叶皮质(right occipital cortex,ROC)。分析时,在运动皮质中进一步细分为背外侧前额叶皮质(dorsolateral prefrontal cortex,DLPFC)、初级运动皮质(primary motor cortex,M1)、初级躯体感觉皮质(primary somatosensory cortex,S1)和辅助运动区(supplementary motor cortex,SMA)。见图 1。




fNIRS 系统的光源与接收器位置　　实际检测通道

图 1　fNIRS 检测通道示意图

Figure 1　Schematic diagram of fNIRS detection channel

数据采集时,采用光极帽(丹阳慧创有限公司)进行光源和接收器的固定。佩戴时,先沿中心线方向佩戴光极帽,随后用皮尺在受试者头部测量出 Cz 点,并调整光极帽的 Cz 点对齐以减少不同受试对象的定位差异。受试者佩戴采集设备后,被要求坐在椅子上休息 1 min 以消除之前其他活动引起的血流动力学反应。

(1)静息态任务

受试者被要求坐下后保持清醒,目视前方,自然呼吸,不可说话或者进行肢体活动,尽力而为保持舒适、固定的坐姿不动,尽量不要积极进行性思维活动。测试持续时间 12 min。

(2)改良八段锦任务

测试开始之前,受试者首先通过图片了解改良八段锦训练方法。受试者保持坐姿,目视屏幕,跟随国家体育总局版《八段锦口令版》视频模仿完成一套完整的改良八段锦,为减少对近红外信号的干扰,仅进行上肢与躯干动作的完成(其中"背后七颠百病消"只维持坐姿)。练习时长12 min。见图2。



**图2　fNIR检测下完成改良八段锦任务示意图**

**Figure 2　Schematic diagram of modified Baduanjin task under fNIR**

**2.1.4.2**　fNIRS数据处理与分析　fNIRS数据采集完成后,以氧合血红蛋白(oxyhemoglobin,$HbO_2$)为主要结局指标。使用NirSpark、GraphPad Prism、SPSS 22.0等软件进行数据分析。分析步骤包括:① 检查原始数据,删除光强过饱和的通道;② 计算采集到的光强信号,得到光密度信号的变化值;③ 使用巴特沃斯带通滤波器(0.005～2 Hz)过滤波频消除系统和生理噪声(如呼吸、心跳以及不可避免的无意识言语、咳嗽等)以及基线漂移等情况;④ 通过修正的Beer-Lambert定律将光密度信号转换成反映$HbO_2$浓度变化的图像。

由于静息态和改良八段锦任务下血流动力学信号在时间和频率上具有明显不同的特征。傅里叶变换善于分析平稳数据,对此类数据分析并不敏感[21],需考虑使用时-频域的分析方法。本研究使用小波变换进行分析,选择Morlet小波作为母小波,进行连续小波变换[22]。将变换后的数值在时域内进行平均,获得小波幅值(wavelet amplitude,WA)。每个通道的小波幅值可以描述一段时间内该测量区域的皮层激活状态。

此外,使用小波相位相干性(wavelet phase coherence,WPCO)分析2组独立信号间相位数据是否存在局部相位行为,判断两者间的相关性,可以通过定量方式解释在同一时间段内2组数据是否存在关联[23]。本研究采用"CHa～CHb"表示相互比较的2个通道WPCO。

基于MATLAB软件,并参考相关论文方法[17-18]通过函数计算,获得WPCO值,取值范围0～1。WPCO值越接近"1"表示2个通道间的信号关联性越高,可以认为其功能连接越多。

### 2.2　统计学方法

通过SPSS 22.0统计软件进行统计分析。统计时将脑卒中大脑受损侧通道进行镜像调整(患侧大脑调整为CH1～CH19,健侧大脑调整为CH20～CH38)。计量资料服从正态分布以($\bar{x}\pm s$)表示,组内比较采用配对样本$t$检验,组间比较采用独立样本$t$检验;计量资料不服从正态分布,组内比较采用配对秩和检验,组间比较采用两样本秩和检验。计数资料采用$\chi^2$检验。计量资料服从正态分布,相关性分析采用Pearson相关性分析,不服从正态分布则采用Spearman 秩相关分析。$P<0.05$为差异具有统计学意义。

## 3　结　果

### 3.1　2组各通道WA比较

与对照组比较,观察组静息态任务下前额叶皮质CH2、CH4、CH21通道WA均明显更高,差异均具有统计学意义($P<0.05$);改良八段锦任务下患侧前额叶皮质CH2、CH3通道和感觉运动皮质CH10、CH33通道WA均明显更高,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。见表2。

**表2　2组各通道WA比较($\bar{x}\pm s$)**

**Table 2　Comparison of WA of each channel between two groups ($\bar{x}\pm s$)**

| 组别 | 例数 | 静息态任务 | | | 改良八段锦任务 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CH2 | CH4 | CH21 | CH2 | CH3 | CH10 | CH33 |
| 对照组 | 19 | 0.307±0.138 | 0.305±0.134 | 0.300±0.134 | 0.462±0.311 | 0.491±0.216 | 0.411±0.156 | 0.461±0.217 |
| 观察组 | 21 | 0.428±0.213[1)] | 0.415±0.166[1)] | 0.407±0.171[1)] | 0.664±0.282[1)] | 0.635±0.261[1)] | 0.525±0.225[1)] | 0.570±0.182[1)] |

注:与对照组比较,1) $P<0.05$.

Note: Compared with the control group, 1) $P<0.05$.

本研究进一步将2组WA分别进行左/右侧脑和健/患侧脑的同源镜像通道比较。在静息态任务中，对照组运动感觉皮质CH18～CH37通道WA差异具有统计学差异（$P<0.05$），右侧脑WA明显高于左侧脑（$P<0.05$）。在改良八段锦任务中，观察组额叶皮质CH2～CH21 WA差异具有统计学意义（$P=0.027$），右侧脑WA明显高于左侧脑（$P<0.05$）；感觉运动皮质CH5～CH24（$P=0.029$）、CH6～CH25（$P=0.001$）、CH18～CH37（$P=0.047$）WA差异均具有统计学意义，其中CH5～CH24、CH6～CH25左侧脑通道激活高于右侧脑，而CH18～CH37右侧脑激活高于左侧脑。观察组健侧脑通道与患侧脑通道WA差异均无统计学意义（$P>0.05$）。

### 3.2　2组各通道WPCO比较

组内比较：对照组静息态和改良八段锦任务中CH1～CH27、CH3～CH27、CH6～CH28、CH11～CH24、CH13～CH16、CH15～CH20、CH15～CH21、CH15～CH23、CH15～CH26、CH17～CH23、CH23～CH30通道WPCO差异均具有统计学意义（$P<0.05$），改良八段锦任务WPCO明显小于静息态（$P<0.05$）。观察组静息态和改良八段锦任务中CH9～CH37、CH13～CH37、CH31～CH37通道WPCO差异均具有统计学意义（$P<0.05$），改良八段锦任务WPCO明显小于静息态（$P<0.05$）。见图3。

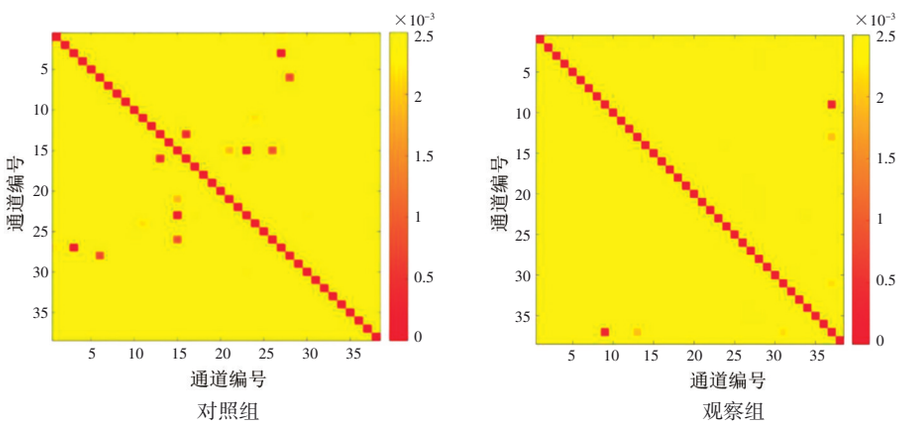



图3　组内WPCO比较

**Figure 3　Comparison of WPCO between intra-groups**

与对照组比较，观察组静息态CH1～CH29通道WPCO明显更高，差异具有统计学意义（$P<0.05$）；观察组改良八段锦任务CH25～CH36通道WPCO明显更高，差异具有统计学意义（$P<0.05$）。见图4。

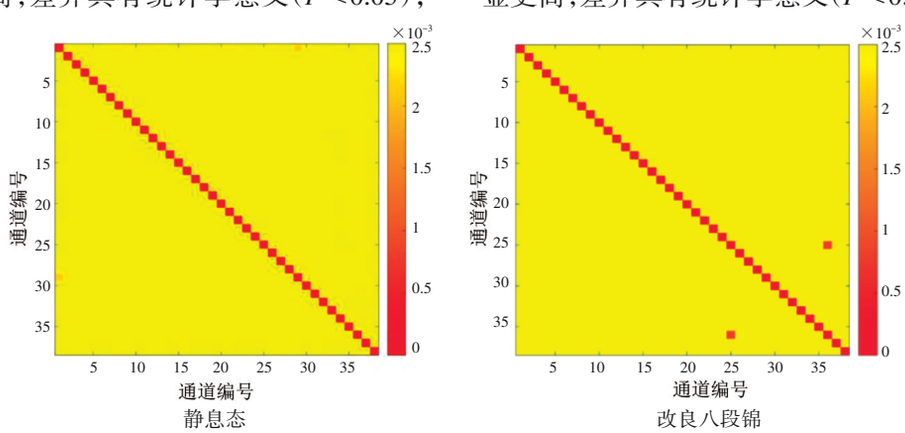



图4　2组静息态和改良八段锦WPCO比较

**Figure 4　Comparison of WPCO between two groups under resting state and modified Baduanjin task**

### 3.3　脑激活WA差值与FMA-UE、MBI和CHAIH-9 HK评分的相关性分析

观察组静息态与改良八段锦任务态中，CH1、CH2和CH20通道脑激活WA差值与FMA-UE评分均呈正相关关系（$r=0.513$，$P=0.017$；$r=0.436$，$P=0.048$；$r=0.546$，$P=0.010$）；CH1和CH23通道脑激活WA差值与MBI评分均呈正相关关系（$r=0.651$，$P=0.001$；$r=0.483$，$P=0.026$）；CH1、CH22、CH23和CH31通道脑激活WA差值与CHAIH-9 HK评分均呈正相关关系（$r=0.480$，$P=0.028$；$r=0.454$，$P=0.039$；$r=0.528$，$P=0.014$；$r=0.435$，$P=0.049$）。见图5～7。

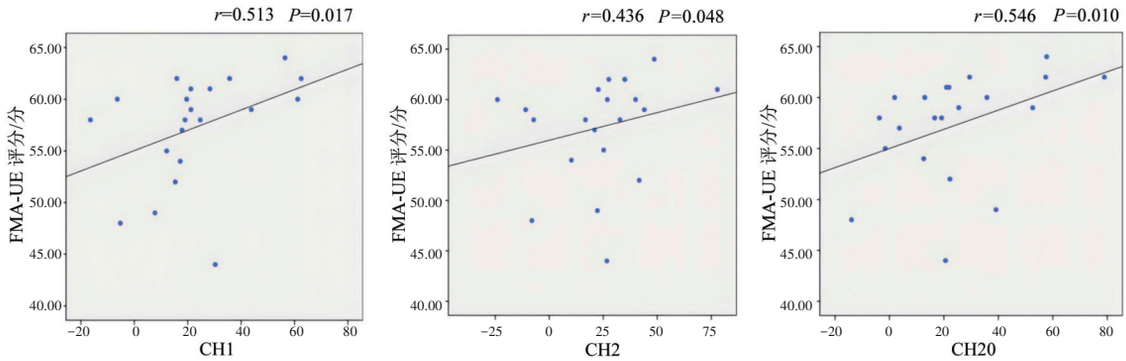



图5　FMA-UE评分与CH1、CH2、CH20通道脑激活WA差值的相关性分析

**Figure 5　Correlation analysis between FMA-UE score and WA difference of CH1, CH2 and CH20 channels**

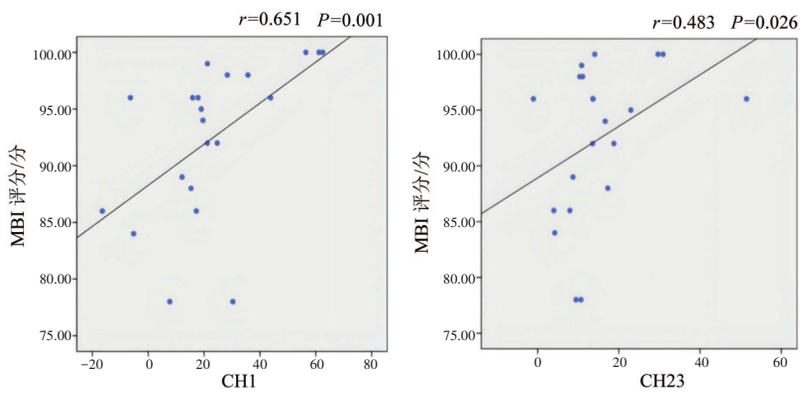



图6　MBI评分与CH1、CH23通道脑激活WA差值的相关性分析

**Figure 6　Correlation analysis between MBI score and WA difference of CH1 and CH23 channels**

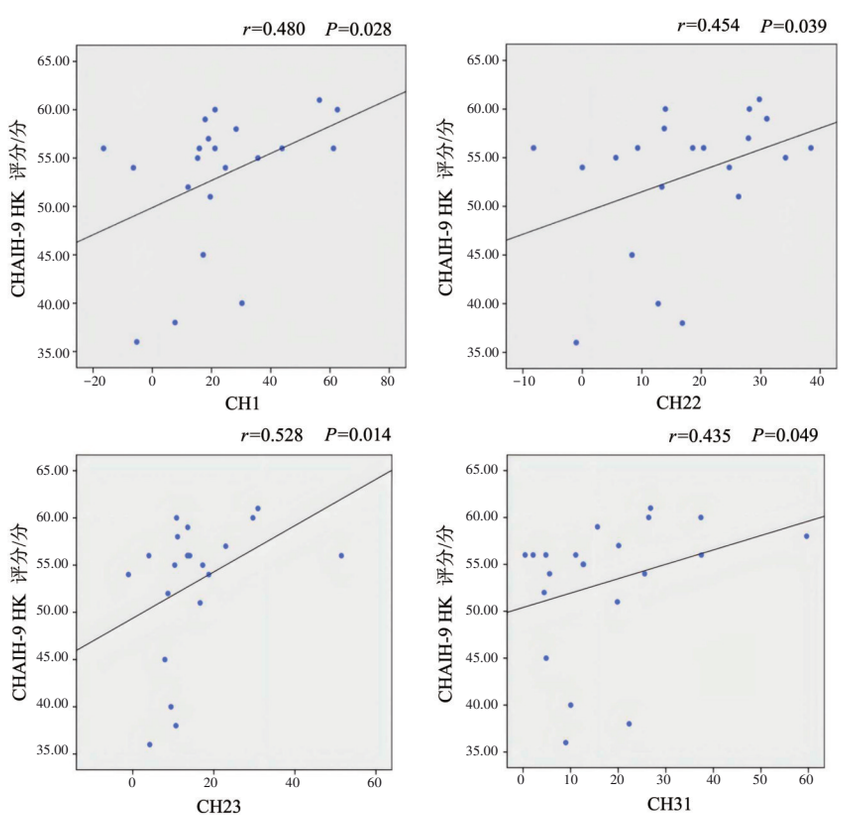



图7　CHAIH-9 HK评分与CH1、CH22、CH23和CH31通道脑激活WA差值的相关性分析

**Figure 7　Correlation analysis between CHAIH-9 score and WA difference of CH1, CH22, CH23 and CH31 channels**

## 4 讨 论

### 4.1 改良八段锦可促进脑卒中患者大脑皮质激活

本研究结果显示，与对照组比较，观察组改良八段锦任务下患侧前额叶皮质CH2、CH3通道和感觉运动皮质CH10、CH33通道WA均明显更高，这提示改良八段锦可促进脑卒中患者大脑皮质激活。这与WILLIE等[24]研究观点相似。根据神经血管耦合假说，改良八段锦通过有氧训练可促进脑卒中患者脑血流增加，为大脑提供充足氧气和其他养分，为脑卒中后的脑恢复提供了物质基础。此外，观察组改良八段锦任务下健侧皮质激活也明显增加。这与本课题组前期研究结果相似[25]，表明脑卒中患者完成改良八段锦训练需要投入更多的神经资源，上肢运动功能较好的脑卒中患者在双上肢任务中表现出广泛的双侧感觉运动皮质激活，这可能与对侧大脑半球的激活对受损运动功能起到代偿作用有关。前额叶皮质（特别是背外侧前额叶CH2、CH3通道）在运动过程中有着注意力控制、空间认知、动作解析、连接认知与动作等作用[26]，改良八段锦训练可促进脑卒中患者激活该脑区，提高其注意力和认知功能，从而更好地参与运动学习过程。

### 4.2 改良八段锦会导致脑卒中患者脑功能连接模式变化

本研究结果显示，与对照组比较，观察组改良八段锦任务CH25～CH36通道WPCO明显更高，这提示改良八段锦需要脑卒中患者健侧背外侧前额叶与健侧初级运动皮质更多的功能连接。这可能与以下因素有关：健康人各脑区均有相对完备的功能，脑卒中患者由于脑皮质的网络功能受损导致“效率低下”，需要更多的功能连接以协助完成复杂的、有协调性需求的运动任务。同时，与对照组比较，观察组静息态CH1～CH29通道WPCO明显更高，这与XIE等[27]研究结果一致：轻度脑卒中患者的患侧上额叶皮质在上肢运动中往往占有主导地位。患侧额叶皮质与健侧运动皮质出现功能连接增强，也是上肢功能恢复和脑网络重组的表现[28]。与其他简单任务比较，在进行改良八段锦这类复杂的协调性任务时，2个半球间的全局网络效率下降，表现为整体（特别是半球间）功能连接减弱，所以执行复杂运动任务所需的大脑功能资源就会重新分配[29]，这种现象可能是上肢功能康复的重要标志之一。

### 4.3 脑卒中患者脑激活改变与上肢运动功能、日常生活活动能力和协调认知功能密切相关

本研究结果显示，观察组静息态与改良八段锦任务态中，CH1、CH2和CH20通道脑激活WA差值与FMA-UE评分均呈正相关关系；CH1和CH23通道脑激活WA差值与MBI评分均呈正相关关系；CH1、CH22、CH23和CH31通道脑激活WA差值与CHAIH-9 HK评分均呈正相关关系。这提示，脑卒中患者前额叶皮质的激活程度与其上肢运动功能、日常生活能力和协调认知功能状态密切相关。这与WANG等[30]研究结果相似。认知功能（尤其前额叶功能）在运动与协调功能中起重要作用，脑卒中患者上肢功能和认知功能越好，越能有效调动前额叶资源以支持运动表现。SMA位于运动前皮层的内侧部分，是运动准备和双上肢协调活动的重要脑区。改良八段锦运动训练后，脑卒中患者左前额叶皮质中的氧合血红蛋白增加，可促进双侧PFC和健侧SMA的激活，进而提升卒中患者认知和上肢协调能力。这与CHEN等[31]研究结果相似。在脑卒中患者康复后期，往往协调认知功能的恢复越好，上肢运动能力和日常生活能力的提升也越明显[32]，因此采用改良八段锦运动进行上肢康复干预具有进一步研究的价值。

## 5 小 结

改良八段锦可促进脑卒中患者大脑皮质激活，改变脑功能连接模式，脑激活改变与上肢运动功能、日常生活活动能力和协调认知功能密切相关。但本研究仍存在一些不足之处，如样本量较小、未持续进行八段锦训练、缺乏长期随访等。下一步研究可扩大样本量、延长观察时间并加强随访，以期为改良八段锦促进脑卒中患者上肢运动功能提高提供参考依据。

## 参考文献

[1] 《中国脑卒中防治报告》编写组.《中国脑卒中防治报告2021》概要[J].中国脑血管病杂志，2023，20(11)：783-793.
Report on Stroke Prevention and Treatment in China Writing Group. Brief report on stroke prevention and treatment in China，2021 [J]. Chin J Cerebrovasc Dis，2023，20(11)：783-793.

[2] BEEBE J A，LANG C E. Active range of motion predicts upper extremity function 3 months after stroke [J]. Stroke，2009，40(5)：1772-1779.

[3] BAVIKATTE G，SUBRAMANIAN G，ASHFORD S，et al. Early identification，intervention and management of post-stroke spas-

ticity: expert consensus recommendations [J]. J Cent Nerv Syst Dis, 2021, 13: 11795735211036576.

[4] DOBKIN B H. Rehabilitation after stroke [J]. N Engl J Med, 2005, 352(16): 1677-1684.

[5] SATHIAN K, BUXBAUM L J, COHEN L G, et al. Neurological principles and rehabilitation of action disorders: common clinical deficits [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2011, 25(5 Suppl): 21S-32S.

[6] WINSTEIN C J, STEIN J, ARENA R, et al. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association [J]. Stroke, 2016, 47(6): e98-e169.

[7] GOOIJERS J, SWINNEN S P. Interactions between brain structure and behavior: the corpus callosum and bimanual coordination [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2014, 43: 1-19.

[8] EVERARD G J, AJANA K, DEHEM S B, et al. Is cognition considered in post-stroke upper limb robot-assisted therapy trials? A brief systematic review [J]. Int J Rehabil Res, 2020, 43(3): 195-198.

[9] WOLF A, SCHEIDERER R, NAPOLITAN N, et al. Efficacy and task structure of bimanual training post stroke: a systematic review [J]. Top Stroke Rehabil, 2014, 21(3): 181-196.

[10] YUEN M, OUYANG H X, MILLER T, et al. Baduanjin Qigong improves balance, leg strength, and mobility in individuals with chronic stroke: a randomized controlled study [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2021, 35(5): 444-456.

[11] YANG H X, LI B L, FENG L, et al. Effects of health Qigong exercise on upper extremity muscle activity, balance function, and quality of life in stroke patients [J]. Front Neurosci, 2023, 17: 1208554.

[12] ZHENG G H, ZHENG Y H, XIONG Z Y, et al. Effect of Baduanjin exercise on cognitive function in patients with post-stroke cognitive impairment: study protocol for a randomised controlled trial [J]. BMJ Open, 2018, 8(6): e020954.

[13] 李建敏,冯博,曹斌,等. 体针巨刺法联合八段锦练习治疗卒中上肢痉挛临床效果[J]. 辽宁中医杂志, 2023, 50(3): 167-170.
LI J M, FENG B, CAO B, et al. Clinical effect of body acupuncture contralateral needling combined with Baduanjin exercise on upper limb spasticity after stroke [J]. Liaoning J Tradit Chin Med, 2023, 50(3): 167-170.

[14] 王异之. 八段锦辅以动作观察疗法对缺血性脑卒中患者上肢功能康复的影响[D]. 福州:福建中医药大学, 2020: 5-8.
WANG Y Z. Effect of Baduanjin supplemented with action observation therapy on upper limb functional rehabilitation in patients with ischemic stroke [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2020: 5-8.

[15] GUO C X, WANG Y W, WANG S, et al. Effect and mechanism of traditional Chinese medicine exercise therapy on stroke recovery [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2023, 2023: 5507186.

[16] 国家卫生健康委办公厅. 中国脑卒中防治指导规范(2021年版)[EB/OL]. (2021-09-01)[2025-03-02]. https://www.nhc.gov.cn/cms-search/downFiles/674273fa2ec049cc97ff89102c472155.pdf.
General Office of the National Health Commission. Guidelines for the prevention and treatment of stroke in China (2021 edition) [EB/OL]. (2021-09-01)[2025-03-02]. https://www.nhc.gov.cn/cms-search/downFiles/674273fa2ec049cc97ff89102c472155.pdf.

[17] HUO C, SUN Z, XU G, et al. fNIRS-based brain functional response to robot-assisted training for upper-limb in stroke patients with hemiplegia [J]. Front Aging Neurosci, 2022, 14: 1060734.

[18] CHEN W, ZHANG X, XIE H, et al. Brain functional connectivity in middle-aged Hong Chuan Tai Chi players in resting state [J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(19): 12232.

[19] JOHNSON D, HARRIS J E, STRATFORD P, et al. Interrater reliability of three versions of the chedoke arm and hand activity inventory [J]. Physiother Can, 2018, 70(2): 133-140.

[20] YANG S W, CHOI J B. Effects of kinesio taping combined with upper extremity function training home program on upper limb function and self-efficacy in stroke patients: an experimental study [J]. Medicine (Baltimore), 2024, 103(30): e39050.

[21] WANG F H, JIANG Z H, LI X Y, et al. Functional brain network analysis of knowledge transfer while engineering problem-solving [J]. Front Hum Neurosci, 2021, 15: 713692.

[22] NAKAMURA T, SASAYAMA D, HAGIWARA T, et al. Reduced functional connectivity in the prefrontal cortex of elderly catatonia patients: a longitudinal study using functional near-infrared spectroscopy [J]. Neurosci Res, 2021, 170: 322-329.

[23] HAN Q Y, LI Z Y, GAO Y J, et al. Phase synchronization analysis of prefrontal tissue oxyhemoglobin oscillations in elderly subjects with cerebral infarction [J]. Med Phys, 2014, 41(10): 102702.

[24] WILLIE C K, TZENG Y C, FISHER J A, et al. Integrative regulation of human brain blood flow [J]. J Physiol, 2014, 592(5): 841-859.

[25] CHEN S Y, MAO M C, ZHU G Y, et al. Cortical activity in patients with high-functioning ischemic stroke during the Purdue Pegboard Test: insights into bimanual coordinated fine motor skills with functional near-infrared spectroscopy [J]. Neural Regen Res, 2024, 19(5): 1098-1104.

[26] 曹娜. 左侧背外侧前额叶到初级运动皮层连接性在程序性运动学习中的作用[D]. 上海:上海体育学院, 2019: 8-10.
CAO N. The role of connectivity from left dorsolateral prefrontal cortex to primary motor cortex in programmed motor learning [D]. Shanghai: Shanghai University of Sport, 2019: 8-10.

[27] XIE H, LI X, HUANG W H, et al. Effects of robot-assisted task-oriented upper limb motor training on neuroplasticity in stroke patients with different degrees of motor dysfunction: a neuroimaging motor evaluation index [J]. Front Neurosci, 2022, 16: 957972.

[28] HEIBERG A V, SIMONSEN S A, SCHYTZ H W, et al. Cortical hemodynamic response during cognitive Stroop test in acute stroke patients assessed by fNIRS [J]. NeuroRehabilitation, 2023, 52(2): 199-217.

[29] ARUN K M,SMITHA K A,SYLAJA P N,et al. Identifying resting-state functional connectivity changes in the motor cortex using fNIRS during recovery from stroke [J]. Brain Topogr, 2020, 33(6):710-719.
[30] WANG D, WANG J, ZHAO H B, et al. The relationship between the prefrontal cortex and limb motor function in stroke: a study based on resting-state functional near-infrared spectroscopy [J]. Brain Res, 2023, 1805: 148269.
[31] CHEN T T, YUE G H, TIAN Y X, et al. Baduanjin mind-body intervention improves the executive control function [J]. Front Psychol, 2017, 7: 2015.
[32] KANTAK S, JAX S, WITTENBERG G. Bimanual coordination: a missing piece of arm rehabilitation after stroke [J]. Restor Neurol Neurosci, 2017, 35(4): 347-364.

# Effects of Modified Baduanjin on Brain Changes Associated with Upper Limb Motor Function in Stroke Patients Based on Functional Near-Infrared Spectroscopy

HU Fan[1,2], ZHU Guangyue[2], ZHANG Guanghu[2], JIANG Yichen[2], HUANG Yong[1], XU Dongsheng[2*]
[1] *Putuo Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200062, China;*
[2] *School of Rehabilitation Science, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China*
*Correspondence: XU Dongsheng, E-mail: dxu0927@163.com

**ABSTRACT** **Objective** To analyze the effects of modified Baduanjin on brain changes associated with upper limb motor function in stroke patients based on functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). **Methods** A total of 21 stroke patients (the observation group) from Putuo Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine from January and March 2024 were recruited, and a total of 21 age-matched healthy individuals were selected as the control group. Two participants in the control group dropped out due to poor probe signal and suboptimal fNIRS data. Finally, a total of 19 and 21 cases were included in the control group and the observation group, respectively. The Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity Scale (FMA-UE) was used to assess upper limb motor function. The Hong Kong Version of Chedoke Arm and Hand Activity Inventory-9 (CAHAI-9 HK) was used to assess bilateral upper limb coordination function and daily activity performance with hemiplegia after stroke. The Modified Barthel Index (MBI) was used to assess activities of daily living. A portable fNIRS system was used to collect the hemodynamic responses in the brain of each subject during the resting-state task and the modified Baduanjin task. Using oxyhemoglobin ($HbO_2$) as the primary outcome measure, its wavelet amplitude (WA) and wavelet phase coherence (WPCO) were analyzed. **Results** (1) WA: compared with the control group, the WA in channels CH2, CH4, and CH21 of the prefrontal cortex in the observation group during the resting state task was significantly higher, and the difference was statistically significant ($P$<0.05). The WA in channels CH2 and CH3 of the affected prefrontal cortex and channels CH10 and CH33 of the sensorimotor cortex in the observation group was significantly higher during the modified Baduanjin task, and the difference was statistically significant ($P$<0.05). (2) WPCO: compared with the control group, the WPCO in channels CH1-CH29 in the observation group was significantly higher during the resting state ($P$<0.05); the WPCO in channels CH25-CH36 in the observation group during the modified Baduanjin task was significantly higher, with statistically significant differences ($P$<0.05). (3) Correlation between WA differences and FMA-UE, MBI, and CAHAI-9 HK scores: the WA differences of brain activation in channels CH1, CH2, and CH20 in the observation group during both the resting state and the modified Baduanjin task were positively correlated with the FMA-UE score ($P$<0.05); the WA differences in channels CH1 and CH23 were positively correlated with the MBI score ($P$<0.05); and the WA differences in channels CH1, CH22, CH23, and CH31 were positively correlated with the CAHAI-9 HK score ($P$<0.05). **Conclusion** Modified Baduanjin promotes cortical activation and modifies brain functional connectivity patterns in stroke patients. These changes in brain activation are closely associated with upper limb motor function, activities of daily living, and coordination functions.

**KEY WORDS** stroke; upper limb motor function; brain activation; brain functional connectivity; modified Baduanjin; functional near-infrared spectroscopy
**DOI:**10.3724/SP.J.1329.2025.04013