

基于近红外脑功能成像技术指导下运动想象训练在脑卒中后上肢运动功能康复中的应用

周静¹, 杨远滨¹, 田浩林¹, 朱朝喆², 段炼²

【摘要】 目的:观察运用近红外脑功能成像(fNIRS)技术筛选出想象策略的运动想象训练对脑卒中后上肢功能障碍的疗效,并探讨其作用机制。**方法:**将28例脑卒中患者随机分为对照组与研究组各14例。2组均给予常规康复治疗,研究组运用fNIRS技术筛选出有效的想象策略进行运动想象训练,对照组不固定想象内容进行运动想象训练。治疗前后采用上肢运动功能评定量表(FMA-UE)、上肢动作研究量表(ARAT)及改良Barthel指数评定量表(MBI)进行评定。**结果:**治疗4周后,2组患者的FMA-UE、ARAT及MBI评分均较治疗前显著提高($P<0.01$),且研究组高于对照组($P<0.05$)。**结论:**运用fNIRS技术筛选出的想象策略进行运动想象训练,可以更好地改善脑卒中患者的上肢运动功能及日常生活能力,其机制可能与提高运动相关脑区兴奋性有关。

【关键词】 脑卒中;上肢运动功能障碍;运动想象;近红外脑功能成像

【中图分类号】 R49;R743.3 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2024.03.001

Application of mental imagery based on fNIRS in rehabilitation of stroke patients with upper limb paralysis Zhou Jing, Yang Yuanbin, Tian Haolin, et al. Department of Rehabilitation, WangJing Hospital of CACMS, Beijing 100102, China

【Abstract】 Objective: To investigate the effect of mental imagery (MI) therapy based on functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) on upper limbs motor function following stroke and to explore its mechanism. **Methods:** A total of 28 patients were assigned to a control group and a treatment group randomly. Both two groups received conventional rehabilitation. In addition, treatment group received MI therapy in which imaginary content was screened by fNIRS. Control group received MI therapy in which imaginary content was flexible. The FMA-UE, ARAT and MBI were used to evaluate the upper limbs function and the activities of daily living before and after the treatment. **Results:** FMA-UE scores, ARAT scores and MBI scores before treatment in both groups were significantly higher than those before treatment ($P<0.01$). FMA-UE scores, ARAT scores and MBI scores in the treatment group were obviously higher than those in the control group ($P<0.05$). **Conclusion:** Imagery therapy based on fNIRS were feasible to improve the upper limbs motor function and daily life activity in stroke patients, which may be related to the activation in supplementary motor area.

【Key words】 stroke; upper limb motor function; mental imagery; functional near-infrared spectroscopy

脑卒中后有超过70%的患者存在不同程度的上肢功能障碍^[1],上肢运动功能的下降直接影响患者的日常生活活动,给患者及其家庭带来沉重的负担。脑卒中后上肢运动功能的康复是一个长期的恢复过程,但在医院进行的康复治疗专业性较强、操作相对较复

杂、费用较高、治疗时间有限,患者每日有较多空闲时间无法得到有效地治疗。因此,临床亟需一种便于操作、简单易学、经济实惠的上肢康复训练方法。运动想象(mental imagery, MI)是在没有明显肢体活动情况下,内心反复模拟和排练运动活动过程,根据运动记忆在大脑中激活某一特定区域,进而达到提高运动功能的目的^[2]。MI操作简便,与其他康复疗法相比成本较低,可以有效地改善脑卒中各个时期的运动功能障碍^[3],因此,具有较大发展前景。但是目前研究中,对于运动想象任务大都存在应用场景有限、实验范式单

基金项目:中国中医科学院创新工程项目(CI2021A03010);科技部国家重大科学仪器设备开发专项项目(2012YQ120046)

收稿日期:2023-09-26

作者单位:1. 中国中医科学院望京医院康复一科,北京 100102;2. 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室,北京 100875

作者简介:周静(1987-),女,主治医师,主要从事神经康复的研究。

通讯作者:杨远滨, duyiran0506@126.com

一、远离实际生活、评估方法主观等不足^[4]。想象策略多采用固定的指导语完成想象任务^[5-6],无法因人而异做到精准化。但人的想象过程具有主观性,想象内容具有特异性,既往上肢擅长的运动也各不相同,临床中无法实时、可视且客观地评估想象策略的有效性。因此,本研究旨在运动想象训练的同时,运用功能近红外光谱成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)技术实时评估,通过视觉反馈,筛选出个体化、更为有效地想象策略,从而提高训练效果,为脑卒中患者康复治疗措施的选择提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年7月~2023年6月中国中医科学院望京医院康复一科收治的脑卒中患者28例。所有患者均符合中华医学会神经病学分会《中国各类主要脑血管病诊断要点2019》脑出血及脑梗死的诊断标准^[7]。纳入标准:首发脑卒中,病灶位于基底节和/或放射冠区,无多发病灶;神志清楚,生命体征稳定,简易精神状态检查量表(mini-mental state examination, MMSE)≥27分;年龄40~75岁;病程2周~3个月;存在偏瘫,上肢Brunnstrom分期≤Ⅳ,改良Ashworth量表评定≤1级;改良运动想象问卷(movement imagery questionnaire-revised, MIQ-R)测试正常,并经想象练习合格者;受试者在试验前签署知情同意书。排除标准:严重言语、注意力、听觉、视觉、智力、精神障碍;严重痉挛或疼痛;手部骨关节肌肉疾病、其他严重神经系统疾病、恶性肿瘤和严重心肺肝肾损害等;酒精或药物成瘾等。研究采用随机对照表法将患者分为研究组和对照组,每组14例,研究组剔除1例。本研究已通过伦理委员会批准(WJEC-KT-2022-012-P003)。治疗前2组在性别、年龄、病程等一般资料比较差异无统计学意义,具有可比性。见表1。

1.2 方法 研究采用单盲法,2组患者均接受常规康复治疗。整个想象过程均要求患者使用动觉想象(kinesthetic motor imagery, KMI),即第一方想象。

1.2.1 对照组 进行运动想象训练,不固定想象内容,但需想象患侧上肢运动,每日2次,每次20min,共4周。

1.2.2 研究组 通过fNIRS筛选出有效的患侧上肢

想象策略,采用该策略进行运动想象训练,每日2次,每次20min,共4周。

1.2.3 研究组想象策略的选取^[8] 运用北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室自主研发的神经反馈训练系统:fNIRS设备采集患者的神经活动数据,并将采集到的神经活动数据传输给计算机。计算机通过对原始数据进行加工处理,并计算出反映患者神经活动的指标,以适当的形式通过显示器呈现给受试者。具体步骤如下:①静息态采集期内,要求患者闭眼、放松,尽量保持静止状态以减少不必要的运动噪声;②在运动想象部分,先让患者睁眼,接着提示患者想象一些熟悉的日常手部活动或擅长体育运动的手部活动,观察屏幕上石头的变化;如患者想象内容有效,则可在电脑屏幕上看到石头上升;如想象无效,则电脑屏幕上石头无明显运动,此时提示患者更改想象内容,最终找到2~5个有效的想象策略。石头上升越高、上升速度越快,提示患侧运动相关皮层激活越强,想象策略有效性越高。患者如睁眼状态下无法完成想象,也可闭眼进行。③记录患者有效地想象策略。④最后指导患者把注意力转回到自己周围的环境,然后让其注意听周围的声音,告诉其测试结束。

1.2.4 fNIRS数据采集 采用ETG-4000型fNIRS设备,采样频率为10Hz,可实时检测患者大脑中氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度变化。参考国际10-20系统进行定位,将两片3×5的光极片,分别佩戴在患者的顶叶。其中,顶叶覆盖的部分运动区中包括辅助运动区(supplementary motor area, SMA)。通过分析采集到的顶叶所对应区域的神经活动强度,可以获得SMA的神经活动能力。对比顶叶和枕叶分别对应区域的神经活动强度,可以确定神经反馈训练的特异性。治疗前及治疗后由同一实验员进行数据采集。

1.2.5 运动想象时fNIRS波谱曲线结果 在患者想象有效时波谱变化趋势为:想象开始后,从基线水平开始上升至峰值,休息后下降(见图1A)。患者想象无效时波谱变化趋势为:想象开始后,曲线波动幅度较小,无明显上升趋势及峰值(见图1B)。研究组中1例患者在进行想象策略选取时始终无法使曲线上升至峰值,视为剔除。

1.3 评定标准 在疗效评价时评定者不参加患者的

表1 2组一般资料比较

组别	n	性别(例)		病程 (周, $\bar{x} \pm s$)	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	卒中病变性质(例)		偏瘫部位(例)	
		男	女			脑梗死	脑出血	左	右
对照组	14	7	7	8.00±1.78	63.86±6.13	11	3	8	6
研究组	13	7	6	8.08±2.14	61.31±9.79	10	3	7	6

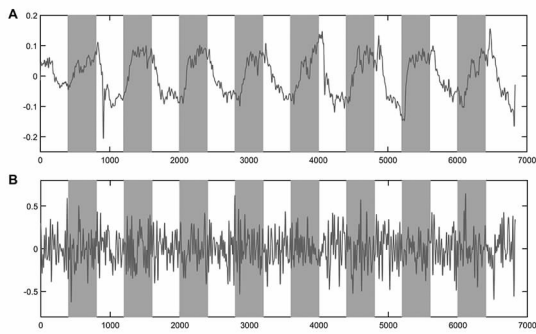


图 1 A. 运动想象有效时波谱曲线;B. 运动想象无效时波谱曲线

治疗过程,从而不了解患者的具体分组。①Fugl-Meyer 上肢运动功能评定量表(Fugl-Meyer assessment upper extremity scale, FMA-UE):对偏瘫侧上肢进行运动功能评定,包括反射、肩、肘、腕、手等 9 大项,33 个小项,分级为 3 级(0~2 分),总分为 66 分。②上肢动作研究量表(the action research arm test, ARAT):对上肢精细动作进行评定,包括 4 个子量表,分别为抓、握、捏、粗大动作,总分为 57 分。③改良 Barthel 指数评定量表(modified Barthel index, MBI):对患者日常生活活动能力进行评定,包含进食、个人卫生、穿衣、如厕以及行走等 10 项内容,总分为 100 分。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行统计分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,数据符合正态分布的采用 t 检验,不符合正态分布的采用秩和检验。显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

治疗前,2 组 FMA-UE 量表、ARAT 量表、MBI 量表评分差异无统计学意义。治疗后,2 组上述评分均较治疗前显著提高($P<0.01$),且研究组各项评分明显高于对照组($P<0.05$)。见表 2~4。

3 讨论

MI 训练不需要特殊的仪器设备,不依赖于肢体残存的运动功能,投入成本少,操作简单,能够充分地发挥脑卒中患者在治疗过程中的主观能动性,可应用于脑卒中康复的任何阶段,为辅助脑卒中后功能障碍的康复提供了一种新的治疗思路^[9]。

本研究结果表明,采用 fNIRS 技术筛选出有效的想象策略后进行 MI 训练,与常规 MI 训练相比,患者的 FMA-UE、ARAT 及 MBI 量表评分改变均具有统计学意义,说明该治疗方法能够更好地改善患者上肢运动功能,提高日常生活能力。研究组在筛选运动想

表 2 2 组 FMA-UE 量表评分治疗前后比较 分, $\bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组	14	16.93±11.24	20.71±12.12	-6.57	0.00
研究组	13	17.15±9.94	29.55±8.47	-14.18	0.00
<i>t</i>		-0.06	-2.18		
<i>P</i>		0.96	0.04		

表 3 2 组患侧 ARAT 量表评分治疗前后比较 分, $\bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组	14	12.93±8.28	16.79±9.18	-7.38	0.00
研究组	13	13.85±9.75	24.85±7.59	-8.55	0.00
<i>t</i>		-0.26	-2.48		
<i>P</i>		0.79	0.02		

表 4 2 组 MBI 评分治疗前后比较 分, $\bar{x} \pm s$

组别	<i>n</i>	治疗前	治疗后	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组	14	31.43±8.42	35.71±10.16	-4.16	0.00
研究组	13	30.38±7.76	43.46±7.74	-11.11	0.00
<i>t</i>		0.33	-2.22		
<i>P</i>		0.74	0.04		

象策略的过程中,大部分患者的有效想象策略不尽相同,有的为匍匐前进、单杠、拍球等体育运动,有的为洗脸、刷牙、梳头、吃饭、拿勺子等日常生活活动,还有上公交车、捏车闸、骑自行车、开车、发短信等。实时监测 fNIRS 结果表明,患者在想象既往运动生活中擅长的上肢活动时,脑区信号激活更为明显。因此,选择一个有效的、个体化的想象策略尤为重要。

部分脑卒中患者在想象过程中反复变换想象策略仍旧无法测量到信号变化,说明其不具有操控的潜在能力。但也有一部分患者,通过变换想象策略后可以测量到信号的变化,提示想象有效。既往也有研究表明,想象能力的习得往往需要大量的训练,但人们在日常生活中很少进行这种心理活动,从而缺少操控该心理活动的经验或技能,存在运动想象盲^[10]。据统计^[11],人群中大约有 20% 的人无法对 MI 或 KMI 进行有效的心理想象。因此,在 MI 训练前进行想象能力的评估及想象策略的筛选对 MI 训练的效果至关重要。本研究中,运用 fNIRS 技术进行评估,能够可视化地显示 MI 训练时脑区的激活情况,对想象策略的选择具有一定的客观依据。

MI 与运动执行(motor execution, ME)具有相似的神经机制,均可激活大脑皮层相似的功能活动区(前运动皮质、辅助运动皮质、初级感觉区等),诱发与运动相关的脑节律事件去同步,从而起到神经重建的作用^[12-13]。SMA 区是运动网络的关键节点,不仅参与运动行为的启动,如运动的计划和执行^[14],还参与运动行为的控制^[15],同时在运动想象中起到重要作用,当前以 SAM 区作为靶点的研究备受关注。Loubinoux 等^[16-17]对缺血性脑卒中患者基于任务态功能磁

共振的一系列研究中发现,缺血性卒中患者的双侧 SMA 区,早期存在激活增强,而且根据对病人的随访发现,双侧 SMA 区的激活出现的越早、激活的强度越强,则以后运动功能的恢复就越好。王雨晴^[18]运用 sLoreta 溯源分析发现,相比于实际运动,在执行运动想象时,SMA 区、运动前区呈现显著去同步化现象。孙莉敏^[19]研究表明,MI 对初级运动皮层直接激活的效应较小,主要激活范围位于双侧 SMA 区。杨勤也在发现^[20],不论是在左手想象还是右手想象任务中,激活体素最多,强度最大的区域是 SMA 区,SMA 区在整个运动想象的过程中都保持激活,说明 SMA 区在运动准备和运动执行过程中起到了关键作用。本研究中在患者进行运动想象训练时,fNIRS 结果提示 SMA 区氧合血红蛋白浓度升高,提示运动想象可使 SMA 区的兴奋性增高,可能运动想象参与了运动准备过程有关。

综上所述,基于 fNIRS 技术,可以更为精准地筛选出有效的想象策略,从而提高 MI 训练效果,可能与运动想象训练提高 SMA 区兴奋性有关。但本研究仍存在样本量少的问题,今后的研究仍需要开展大样本的随机对照研究,以期形成高质量的循证证据。同时,对于 MI 训练作用机制研究,依然任重道远。

【参考文献】

- [1] Wang Z, Yu C, Xiang H, et al. Age-Period-Cohort Analysis of Trends in Mortality from Drowning in China: Data from the Global Burden of Disease Study 2015 [J]. *Scientific Reports*, 2018,8(1):5829-5829.
- [2] Kalra L, Dobkin BH. Facilitating Mental Imagery to Improve Mobility after Stroke [J]. *Neurology*, 2021,96(21):975-976.
- [3] 韩晴,徐宁,庄贺,等. 运动想象疗法在卒中后运动功能障碍康复的研究进展 [J]. *中国康复*, 2021,36(6):372-375.
- [4] Lee W H, Kim E, Seo H G, et al. Target-oriented motor imagery for grasping action: different characteristics of brain activation between kinesthetic and visual imagery [J]. *Science Reports*, 2019, 9(1):12770.
- [5] 孙莉敏,吴毅,尹大志,等. 运动想象训练促进脑卒中患者上肢运动功能恢复的功能磁共振研究 [J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(12):1217-1242.
- [6] 付晨,李薇,刘晓萱. 运动想象疗法联合视觉反馈训练在脑卒中偏瘫病人早期康复中的应用 [J]. *护理研究*, 2022,36(1):143-149.
- [7] 中华医学会神经病学分会. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019 [J]. *中华神经科杂志*, 2019,52(9):710-715.
- [8] 朱朝喆,刘伟杰,段炼. 基于光学脑成像的神经反馈训练系统和神经反馈训练方法 [P]. 北京:CN103040446A, 2013-04-17.
- [9] 许敏鹏,魏泽,明东. 基于脑卒中后运动康复领域的运动想象的研究 [J]. *生物医学工程学杂志*, 2020, 37(1):169-173.
- [10] Thompson M C. Critiquing the concept of BCI illiteracy [J]. *Sci Eng Ethics*, 2019, 25(4): 1217-1233.
- [11] Blankertz B, Sannelli C, Halder S, et al. Neurophysiological predictor of SMR-based BCI performance [J]. *Neuroimage*, 2010, 51(4):1303-1309.
- [12] Chholak P, Niso G, Maksimenko V, et al. Visual and kinesthetic modes affect motor imagery classification in untrained subjects [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 9838.
- [13] Fernandez-Gomez E, Sanchez-Cabeza A. Motor imagery: a systematic review of its effectiveness in the rehabilitation of the upper limb following a stroke [J]. *Rev Neurol*, 2018,66(5):137-146.
- [14] Cross ES, Schmitt PJ, Grafton ST. Neural substrates of contextual interference during motor learning support a model of active preparation [J]. *J Cogn Neurosci*, 2007,19(11):1854-1871.
- [15] Hertrich I, Dietrich S, Ackermann H. The role of the supplementary motor area for speech and language processing [J]. *Neurosci Biobehav Rev*. 2016,68(3):602-610.
- [16] Loubinoux I, Carel C, Pariente J, et al. Correlation between cerebral reorganization and motor recovery after subcortical infarcts [J]. *Neuroimage*, 2003, 20(4):2166-2180.
- [17] Park C, Chang W H, Ohn S H, et al. Longitudinal changes of Resting-state functional connectivity during motor recovery after stroke [J]. *Stroke*, 2011,42(5):1357-1362.
- [18] 王雨晴. 基于溯源分析的脑电信号事件相关去同步化研究 [J]. *电子世界*, 2017,39(24):40-41.
- [19] 孙莉敏. 运动想象训练促进脑卒中患者功能恢复的功能磁共振 (fMRI) 研究 [D]. 上海: 复旦大学. 2013.
- [20] 杨勤. 运动想象的脑功能分析 [D]. 成都: 电子科技大学. 2009.

作者·读者·编者

《中国康复》杂志实行网站投稿

《中国康复》杂志已经实行网上投稿系统投稿,网址 <http://www.zgkfzz.com>,欢迎广大作者投稿,并可来电咨询,本刊电话:027-69378389, E-mail:zgkf1986@163.com; kfk@tjh.tjmu.edu.cn.