

基于功能性近红外光谱技术探索脑卒中后偏瘫患者不同踝关节牵伸训练任务与皮层活动的相关性

李洁心^{1,2},邵梦鸣¹,邱纪方^{1,2},胡瀚尹¹,周煜达¹,刘文兵³,徐彬¹,章水晶¹,舒馨馨¹,徐聪琴⁴

【摘要】目的:通过功能性近红外光谱技术(fNIRS)初步探讨脑卒中后偏瘫患者在执行不同踝关节牵伸训练任务过程中大脑皮层感兴趣区域(ROIs)的激活差异及其相关性。方法:将26例脑卒中偏瘫患者分为2组:非优势半球组患者14例,优势半球组患者12例。病例入组时,首先对受试者进行临床功能评估,再运用fNIRS监测受试者在执行患侧踝关节牵伸训练任务过程中ROIs氧合血红蛋白(oxy-Hb)的浓度变化。结果:主动踝关节背屈与跖屈训练任务的脑区激活程度高于被动踝关节背屈与跖屈训练及静息状态($P<0.05$),而踝关节被动牵伸训练任务的脑区激活程度高于静息状态($P<0.05$)。另外,优势半球组患者受累侧ROIs激活整体上高于非受累侧,且大脑半球偏侧化指数(LI)数值大于0的可能性大。非优势半球组患者在执行患侧踝关节牵伸训练任务时,感觉运动皮层(SMC)的激活程度与6min步行试验(6MWT)的步行距离成正相关($r=0.5531\sim0.6165, P<0.05$)。结论:脑卒中后偏瘫患者踝关节不同牵伸训练任务与皮层活动存在一定的差异及相关性。

【关键词】fNIRS;脑卒中;偏瘫;踝关节;牵伸训练;皮层活动;相关性

【中图分类号】R49;R743.3 **【DOI】**10.3870/zgkf.2024.06.002

Correlation between different stretching training tasks of ankle joint and brain cortical activation in post-stroke patients with hemiplegia base on fNIRS Li Jiexin, Shao Mengming, Qiu Jifang, et al. The Affiliated Rehabilitation Hospital of Zhejiang Chinese Medical University (Zhejiang Rehabilitation Medical Center), the Rehabilitation Medicine Institute, Hangzhou 310052, China

【Abstract】 Objective: To investigate the differences in the regions of interest (ROIs) related to different stretching training tasks of the ankle joint, and to identify the correlations between the tasks and the activation of ROIs in post-stroke patients with hemiplegia. Methods: In this study, 26 post-stroke patients with hemiplegia were recruited and divided into 2 groups: 14 cases of non-dominant hemispheric group and 12 cases of the dominant hemispheric group. Each participant received several clinical functional assessments before the experiment. A multichannel fNIRS system was used to monitor and record the oxyhemoglobin (oxy-Hb) in each cortical areas of interest during the experimental tasks. Results: The active dorsiflexion and plantar flexion training tasks of ankle joint had higher brain activation than passive ankle dorsiflexion and plantar flexion training and resting state ($P<0.05$), while passive training tasks had higher brain activation than resting state ($P<0.05$). On the whole, ROIs activation on the affected side was higher than that on the non-affected side in the dominant hemisphere. The lateralization index (LI) of the dominant hemisphere group was more likely to be greater than 0. In the non-dominant hemisphere group, there was a positive correlation between the activation of SMC associated with ankle training and 6MWT walking distance ($r=0.5531\sim0.6165, P<0.05$). Conclusion: There are some differences and correlations between different stretching training tasks of ankle joint and cortical activity in post-stroke patients with hemiplegia.

【Key words】fNIRS; stroke; hemiplegia; ankle joint; stretching training; brain cortical activation; correlation

脑卒中,因其高发病率、高致残率,目前已在我国

基金项目:吴阶平医学基金会中国康复医疗机构联盟基金资助项目面上课题B类(20160208);浙江康复医疗中心2015年度院级科研课题(zkzsky201501);浙江康复医疗中心2022年度院级科研课题(ZK2202)
收稿日期:2023-12-12

作者单位:1.浙江中医药大学附属康复医院(浙江康复医疗中心)康复医学研究所,杭州310052;2.浙江中医药大学第三临床医学院康复医学院,杭州310053;3.浙江中医药大学附属第三医院康复医学科,杭州310052;4.浙江特殊教育职业学院,杭州310023

作者简介:李洁心(1995-),女,硕士研究生,主要从事神经康复相关工作和研究。

通讯作者:邱纪方,2401473907@qq.com

成年人致死、致残病因中处于首位^[1]。偏瘫是脑卒中的主要后遗症之一,常表现为肌肉痉挛,步行稳定性和平衡维持能力下降,严重影响患者日常生活活动及生活质量^[2]。及时有效的康复训练是促进脑卒中患者早日恢复运动功能的必要条件^[3]。其中,踝关节机器人可根据患者踝关节痉挛或挛缩的程度定制牵伸参数,安全有效地牵伸关节至极限位置;且该装置还设置了各种类型的虚拟情景互动游戏体验,提高了患者主动康复的积极性^[4];除此之外,该装置还可客观、定量测

量踝关节功能损害程度和评估牵伸训练干预后的康复效果,实现智能反馈控制,从而改善患者下肢运动障碍,提高平衡、运动能力及生活质量^[5-6]。研究发现,康复训练可在一定程度上调节和促进神经可塑性进程^[7]。既往研究已从关节与下肢肌群生物力学特性及临床疗效改善的角度证明了踝关节机器人的有效性^[8-9],但目前仍缺少与牵伸训练相关的皮层调控机制研究。本文旨在运用功能性近红外光谱技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)初步探索脑卒中后下肢偏瘫患者在执行踝关节不同牵伸训练任务时的脑区激活情况,并探讨其中的差异及相关性,对后续指导个体化的康复训练和完善相关神经调控机制研究具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2023年4月~2023年9月于浙江中医药大学附属康复医院(浙江康复医疗中心)住院治疗且符合条件的脑卒中患者共30例。纳入标准:符合《中国急性期缺血性脑卒中诊治指南2018》及《中国脑出血诊治指南2019》的诊断标准^[10-11],经头颅CT或MRI检查确诊为脑卒中;一侧偏瘫,且病灶在一侧大脑半球;右利手;年龄30~75岁,病情稳定,首次发病,病程6个月以内;无病情进展,无认知、言语功能、听力障碍,配合评定与治疗;患侧踝关节背屈/跖屈肌力3⁺~4⁺级,功能性步行分级(functional ambulation classification, FAC)≥3级,患侧下肢Brunnstrom分期≥V期。排除标准:有癫痫发作史者;病情、生命体征不稳定以及有脏器功能严重不全者;注意力不集中者;3个月内注射过肉毒杆菌毒素者;存在下肢深静脉血栓者;其它原因不能配合检查或治疗者。所有受试者自愿参与本研究,同意签署知情同意书,并通过医院伦理委员会审查(ZKLL20211202)。病例分组:所有病例均为右利手,按照病灶所在半球的不同进行分组:右侧偏瘫患者病灶位于左侧大脑半球,为优势半球组;左侧偏瘫患者病灶位于右侧大脑半球,为非优势半

球组。其中非优势半球组患者16例,优势半球组患者14例,脱落4例,2例不愿配合自动退出,2例因所得的fNIRS数据干扰过大或数据不全,对其进行剔除,最终26例脑卒中患者纳入分析,2组受试者一般资料与临床功能评估指标比较均无统计学差异,见表1~2。

表1 2组患者一般资料比较

| 组别 | n | 性别(例) | | 年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$) | 病程 (d, $\bar{x} \pm s$) | 脑卒中类型(例) | |
|------------|----|-------|--|-----------------------------|-----------------------------|----------|--|
| | | 男/女 | | | | 脑出血/脑梗死 | |
| 非优势半球组 | 14 | 10/4 | | 61.50±12.13 | 63.63±36.42 | 4/10 | |
| 优势半球组 | 12 | 9/3 | | 56.00±7.41 | 49.00±17.26 | 4/8 | |
| χ^2/t | | — | | 1.095 | 1.026 | — | |
| P | | 1.000 | | 0.292 | 0.322 | 1.000 | |

注:“—”为采用Fisher精确概率法

1.2 方法 2组均接受康复科常规治疗(药物、康复治疗)。在试验开始前,受试者需在安静的环境中休息10min,休息后,要求每位受试者坐在踝关节机器人(IntelliStretch Ankle Exercise, #IS-AN-AD. XX)座位上,躯干倚靠靠背,将小腿固定于腿托架上,患足用约束鞋固定,取舒适体位,受试者的足踝锁定在10°跖屈位,受试者被要求闭上眼睛放松,并避免移动,佩戴近红外脑功能定量成像仪(fNIRS)头帽,在舒适坐位安静5min后,序贯执行以下3项任务,任务间间隔30s休息:①静息状态(基线):数据采集2min的fNIRS静息态数据;②进行患侧踝关节被动背屈与跖屈牵伸训练1min,重复3次;③进行患侧踝关节主动背屈与跖屈训练1min,重复3次。

1.3 评定标准

1.3.1 主要评估指标 ①脑区的氧合血红蛋白(oxygenated hemoglobin, oxy-Hb)信号:由于oxy-Hb浓度是fNIRS测量中最敏感的局部脑血流量变化指标^[12],因此,本研究将oxy-Hb信号作为主要指标。②选择显著活跃的通道计算偏侧化指数(lateralization index, LI)(范围:-1至+1)^[13]:该指数量化了正在执行的任务,反映同侧和对侧特定脑区大脑半球之间激活的总体平衡,越接近1表示同侧半球活动更强,越接近-1表示对侧半球活动更强,接近0表示两个半球被激活的程度相似^[14]。公式如下:

表2 2组患者临床功能评估指标比较

| 组别 | n | PROM(°) | | AROM(°) | | MAS(级,例) | | | FMA-LE(分) | BBS(分) | 6MWT(m) | $\bar{x} \pm s$ |
|------------|----|------------|------------|------------|------------|----------|-------|----------------|------------|------------|---------------|-----------------|
| | | 背屈 | 跖屈 | 背屈 | 跖屈 | 0 | 1 | 1 ⁺ | | | | |
| 非优势半球组 | 14 | 17.88±5.17 | 34.38±5.10 | 14.00±5.19 | 31.38±5.58 | 8 | 5 | 1 | 25.38±0.92 | 50.38±3.78 | 225.88±61.50 | |
| 优势半球组 | 12 | 17.13±5.57 | 35.13±6.20 | 12.13±4.70 | 31.63±5.78 | 5 | 5 | 2 | 26.63±3.02 | 49.88±2.70 | 282.88±109.04 | |
| χ^2/t | | 0.279 | -0.264 | 0.758 | -0.081 | — | — | — | -1.120 | 0.305 | -1.288 | |
| P | | 0.784 | 0.795 | 0.461 | 0.937 | 0.633 | 0.282 | 0.765 | 0.219 | | | |

注:“—”为采用Fisher精确概率法

缩略词:PROM:passive range of motion,被动关节活动度;AROM:active range of motion,主动关节活动度;MAS:modified Ashworth scale,改良Ashworth分级;FMA-LE:Fugl-Meyer assessment for lower extremity,Fugl-Meyer下肢评定量表;BBS:Berg balance scale,Berg平衡量表评定;6MWT:six-minute walking test,6min步行试验

$$LI = \frac{ABS(HbO)_{ipsi} - ABS(HbO)_{contra}}{ABS(HbO)_{ipsi} + ABS(HbO)_{contra}}$$

注: ipsi, 同侧; contra, 对侧; ABS: 绝对值。

1.3.2 次要评估指标 主要是临床功能评估指标:①关节活动度(range of motion, ROM):包括背屈与跖屈被动关节活动度(passive range of motion, PROM)和背屈与跖屈主动关节活动度(active range of motion, AROM),可由踝关节机器人测量得到。②Fugl-Meyer 下肢评定量表(Fugl-Meyer assessment for lower extremity, FMA-LE)^[15]:用于评定偏瘫患者的下肢运动功能,共17项,总分为34分,得分越高表示偏瘫侧运动功能越好。③Berg 平衡量表评定(Berg balance scale, BBS)^[16]:通过观察多项活动来评价患者的重心转移能力,检查坐、立位下的动、静态平衡功能,共14项,总分最高56分,得分越高则平衡功能越好。④改良 Ashworth 分级(modified Ashworth scale, MAS)^[17]:共有0~4级,级别越高则肌张力越高。⑤6min 步行试验(six-minute walk test, 6MWT)^[18]:评估6min的步行距离,共测量3次,取其平均值,该试验简便易行,耐受性好,可反映步行能力和完成日常体力活动的功能代偿能力水平。

1.4 fNIRS 记录与数据处理 运用近红外脑功能定量成像仪(ETG-4000 optical topography system, Hitachi, Ltd. 2016, Japan)以100Hz的采样率记录皮层激活情况,选择该fNIRS系统的16个光电元件,包括8个光源光纤和8个探测器光纤,共24个通道,发射光极与接收光极的距离为检测区域,光极距离为3.0cm。参照国际10-20系统的电极配置法^[19],选择双侧辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、初级感觉运动皮层(primary sensorimotor cortex, SMC)和运动前皮层(pre-motor cortex, PMC)6个脑区作为感兴趣区域(regions of interest, ROIs),并运用MATLAB R2013b(mathworks inc, natick, MA, USA)软件的NIRS_KIT工具包对原始数据进行处理。

1.5 统计学方法 本研究运用SPSS 25.0软件进行统计分析。计量数据资料符合正态性,用 $\bar{x} \pm s$ 表示,符合方差齐性用两样本t检验;因 $N < 40$,计数资料用Fisher精确概率法。本研究将组别、脑区、任务对oxy-Hb的影响进行三因素重复测量方差分析^[20],两两比较采用LSD法进行, $P < 0.05$ 代表有统计学差异。探究临床功能评估指标与大脑皮层ROIs激活情况的相关性,采用Pearson相关检验或Spearman相关检验, $P < 0.05$ 代表两变量存在相关性。

2 结果

2.1 脑区、组别、任务对 oxy-Hb 的影响

运用三因素重复测量方差分析可得出:组别、脑区的主效应不显著,脑区/任务、组别/任务、脑区/任务/组别的交互效应均不显著,脑区/组别交互效应、任务的主效应显著($P < 0.05$),见表3。进一步行简单单独效应分析,结果显示:在非优势半球组中,各脑区之间oxy-Hb无显著性差异;而在优势半球组中,观察到4组脑区间有显著性差异:受累侧PMC>非受累侧PMC,受累侧SMC>非受累侧SMC,受累侧SMA>非受累侧PMC,受累侧PMC>受累侧SMA($P < 0.05$),见表4~5。任务的主效应显著($P < 0.05$),对受试者在执行踝关节不同牵伸训练任务ROIs的激活程度进行单因素方差分析,各任务之间两两比较,差异均具有统计学意义($P < 0.05$),见表6。

表3 脑区、组别、任务对oxy-Hb的影响

| 检验值 | 脑区 | 组别 | 任务 | 脑区/组别 | 脑区/任务 | 组别/任务 | 脑区/任务/组别 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| F值 | 2.552 | 2.801 | 2.728 | 2.658 | 0.490 | 2.354 | 0.172 |
| P值 | 0.080 | 0.095 | 0.030 | 0.004 | 0.863 | 0.097 | 0.994 |

表4 优势半球组患者不同踝关节牵伸训练任务下各ROI的oxy-Hb比较

| 脑区 | 任务 | | |
|---------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 受累侧PMC | 0.0061±0.0038 | 0.0085±0.0071 | 0.0138±0.0082 |
| 非受累侧PMC | 0.0013±0.0050 | 0.0029±0.0074 | 0.0053±0.0069 |
| 受累侧SMA | 0.0054±0.0091 | 0.0069±0.0091 | 0.0112±0.0094 |
| 非受累侧SMA | 0.0051±0.0058 | 0.0084±0.0106 | 0.0108±0.0117 |
| 受累侧SMC | 0.0035±0.0049 | 0.0045±0.0106 | 0.0085±0.0100 |
| 非受累侧SMC | 0.0022±0.0072 | 0.0039±0.0078 | 0.0050±0.0174 |

注:任务1:静息状态,任务2:患侧踝关节被动背屈与跖屈训练,任务3:患侧踝关节主动背屈与跖屈训练

表5 优势半球组 ROI 激活程度两两比较的P值

| 脑区 | 受累侧 PMC | 非受累侧 PMC | 受累侧 SMA | 非受累侧 SMA | 受累侧 SMC | 非受累侧 SMC |
|---------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 受累侧PMC | — | 0.002 | 0.005 | 0.356 | 0.147 | 0.447 |
| 非受累侧PMC | 0.002 | — | 0.042 | 0.746 | 0.095 | 0.487 |
| 受累侧SMA | 0.005 | 0.042 | — | 0.074 | 0.302 | 0.063 |
| 非受累侧SMA | 0.356 | 0.746 | 0.074 | — | 0.179 | 0.443 |
| 受累侧SMC | 0.147 | 0.095 | 0.302 | 0.179 | — | 0.018 |
| 非受累侧SMC | 0.447 | 0.487 | 0.063 | 0.443 | 0.018 | — |

表6 脑卒中患者踝关节不同训练任务下的ROIs激活情况两两比较

| (I)任务 | (J)任务 | 平均值差值 | | P值 | 差值的95%置信区间 | |
|-------|-------|--------|-------|-------|------------|--------|
| | | (I-J) | 标准误 | | 下限 | 上限 |
| 1 | 2 | -0.002 | 0.001 | 0.019 | -0.004 | 0.001 |
| | 3 | -0.004 | 0.002 | 0.008 | -0.008 | -0.001 |
| 2 | 1 | 0.002 | 0.001 | 0.019 | -0.001 | 0.004 |
| | 3 | -0.002 | 0.001 | 0.033 | -0.006 | 0.000 |
| 3 | 1 | 0.004 | 0.002 | 0.008 | 0.001 | 0.008 |
| | 2 | 0.002 | 0.001 | 0.033 | 0.000 | 0.006 |

注:任务1:静息状态,任务2:患侧踝关节被动背屈与跖屈训练,任务3:患侧踝关节主动背屈与跖屈训练

2.2 2组患侧踝关节不同牵伸训练任务时各ROI的LI 为了确定非优势半球组与优势半球组受试者在执行踝关节不同牵伸训练任务中大脑半球偏侧化,本研究计算了各ROIs(PMC、SMA、SMC)的LI,结果显示:在被动牵伸训练过程中,非优势半球组患者主要表现为对侧PMC、同侧SMA和双侧SMC激活,而优势半球组患者主要表现为同侧PMC、SMA及对侧SMC激活;而在主动运动过程中,非优势半球组倾向于同侧PMC、SMC及双侧SMA激活,而优势半球组患者主要表现为同侧PMC和双侧SMA、SMC激活(见表7,图1~3),且在优势半球组中各ROI的LI数值大于0的可能性大。

表7 2组患者踝关节不同牵伸训练任务下ROIs的LI比较

| 组别 | 任务 | PMC | SMA | SMC |
|--------|----|--------|-------|--------|
| 非优势半球组 | 1 | -0.178 | 0.033 | -0.010 |
| | 2 | -0.139 | 0.286 | -0.044 |
| | 3 | 0.174 | 0.085 | 0.245 |
| 优势半球组 | 1 | 0.384 | 0.075 | 0.228 |
| | 2 | 0.208 | 0.162 | -0.196 |
| | 3 | 0.127 | 0.054 | 0.090 |

注:LI的绝对值小于0.1,被认为是双侧激活^[21]。任务1:静息状态,任务2:患侧踝关节被动背屈与跖屈训练,任务3:患侧踝关节主动背屈与跖屈训练

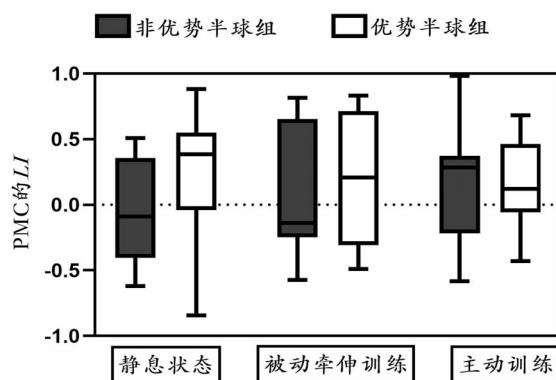


图1 踝关节不同牵伸训练任务时PMC的LI

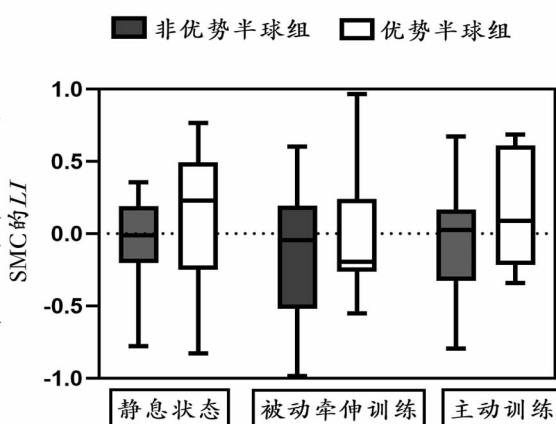


图2 踝关节不同牵伸训练任务时SMC的LI

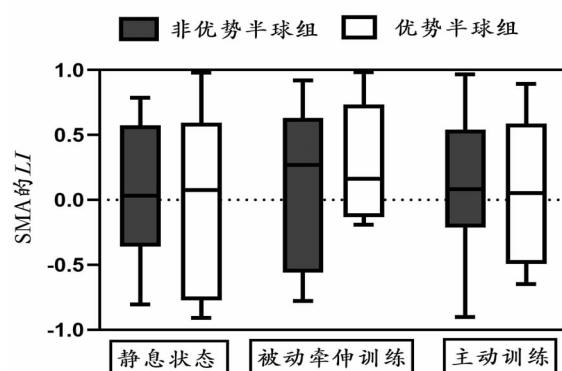


图3 踝关节不同牵伸训练任务时SMA的LI

注:箱式图的上水平线、中水平线和下水平线分别代表上四分位数、中位数和下四分位数,最高位为最大值,最低位为最小值。LI数值为正表明同侧ROI的激活程度高于对侧,反之,则表明对侧ROI的激活程度高于同侧。

2.3 临床功能评估指标与脑区激活的相关性 在2组患者中,痉挛程度MAS、踝关节背屈/跖屈PROM及AROM、下肢运动功能FMA-LE、平衡能力BBS与大脑皮层ROIs激活的相关性并不显著,且在优势半球组患者中,未发现大脑皮层ROIs激活与6MWT存在相关性($r=-0.3400\sim0.6168$);而在非优势半球组患者中,结果发现:患侧踝关节牵伸训练任务时SMC皮层激活程度与6MWT的步行距离成正相关($r=0.5531\sim0.6165, P<0.05$),见图4~7。

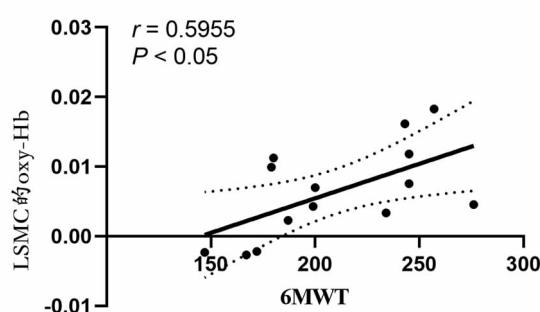


图4 踝关节被动牵伸训练任务时LSCM的oxy-Hb变化与6MWT的相关性

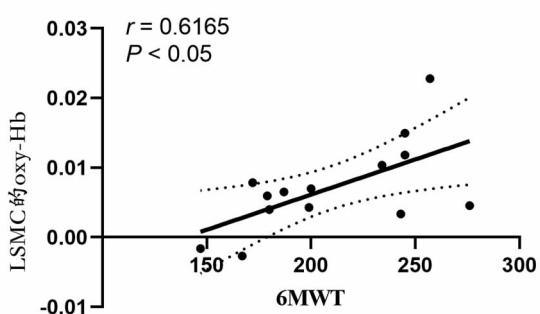


图5 踝关节主动训练任务时LSCM的oxy-Hb变化与6MWT的相关性

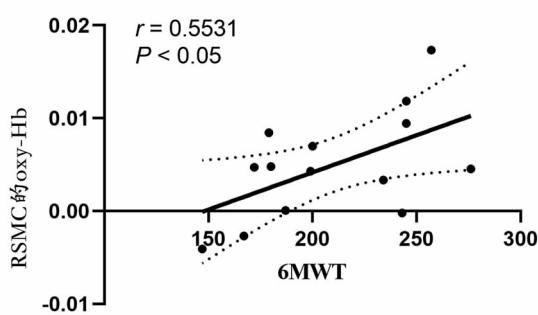


图6 踝关节被动牵伸训练任务时 RSMC 的 oxy-Hb 变化与 6MWT 的相关性

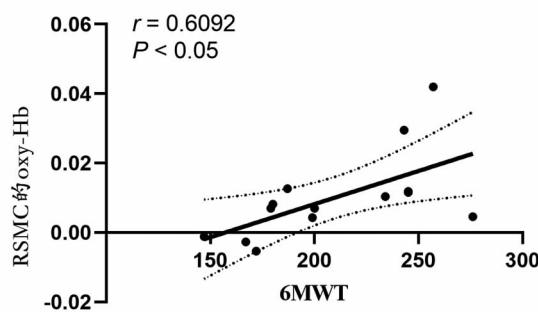


图7 踝关节主动训练任务时 RSMC 的 oxy-Hb 变化与 6MWT 的相关性

3 讨论

本研究通过对组别、任务和脑区对 oxy-Hb 的影响进行三因素重复测量方差分析,结果发现:在优势半球组中,受累侧 ROIs 激活整体上高于非受累侧。脑卒中可导致对侧肢体运动障碍和半球间失衡,表现为对侧半球的过度兴奋^[22],这种不平衡的程度似乎与运动损伤的程度呈正相关^[23]。相关研究表明,同侧病灶周围的皮质激活与功能恢复有关^[24]。由于踝关节运动相关的研究甚少,因此,我们引入上肢相关研究进行探讨。Ward 等^[25]发现康复较好的脑卒中患者在执行患手运动任务过程中,双侧 SMC 激活逐渐转变为病灶同侧 SMC 激活。Chunyong 等^[26]也发现随着脑卒中患者偏瘫手功能的恢复,非受累侧半球的运动皮层激活减少,而受累侧半球的运动皮层激活增加。由于本研究受试者均为右利手,且受试者需在屈髋 90°,伸膝且端坐位下执行踝关节的背屈与跖屈动作,任务要求高,偏瘫侧下肢分离运动可,运动功能障碍恢复良好,由此我们可以推断,在偏瘫肢体功能恢复过程中,受累侧半球在运动任务中的主导作用逐渐增强,而未受累侧半球的代偿作用逐渐减弱,可能表明优势侧半球在运动皮层功能重组中尤为重要。另外,PMC 在运动控制和学习中起着至关重要的作用^[27]。Li 等^[28]通过为期 4 周的康复干预发现,患者在执行握拳任务时,

同侧 PMC 的激活程度和同侧 PMC 与双侧 SMC 之间的功能连接强度随着运动功能的改善而增加。本研究也发现受累侧 PMC 激活程度较高,可能表明 PMC 在脑卒中后运动恢复中起着重要作用,且脑卒中康复后皮层重组的模式可能与同侧 PMC 的激活增加有关^[29–30]。

本研究需受试者在踝关节机器人上进行踝关节被动背屈与跖屈牵伸训练及主动背屈与跖屈训练,结果发现脑卒中患者主动训练任务的各 ROI 脑区激活高于被动训练及静息状态,且被动训练各 ROI 的激活程度高于静息状态。既往已有大量研究证实,主动运动的脑区激活程度比被动运动更为显著^[31–32],这可能是由于复杂且重复任务的完成,往往与更大的功能代偿与重塑有关^[33–34]。

优势半球与非优势半球在神经解剖学、生理学、神经递质、交感神经控制等方面存在差异^[35–36],对此,本试验引入 LI,用于计算评估功能激活模式、确定相对半球优势^[37],结果表明优势半球组和非优势半球组患者在执行患侧踝关节不同牵伸训练任务时,ROIs 的激活特征确有不同;且优势半球组在执行患侧踝关节不同牵伸训练任务时各 ROI 的 LI 数值大于 0 的可能性大。由于脑卒中后踝关节运动相关的皮层相关研究较少,我们通过对探索脑卒中后偏瘫上肢运动任务脑区激活的相关文献进行回顾:Vidal 等^[38]利用功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)分析了脑卒中后偏瘫患者肩关节前屈的运动网络,发现优势半球组的脑区激活发生在双侧运动皮层,尤其是 SMA;而非优势半球组在执行肩前屈时显示同侧皮质激活,该结果与本试验结果类似,且本研究还发现 2 组患者在执行患侧踝关节主动背屈与跖屈任务过程中,均存在对侧 SMA 的激活,但非优势半球组患者以同侧 SMC 激活为主,优势半球组以双侧 SMC 激活为主。近期一项 Meta 分析发现在恢复良好的脑卒中患者中^[39],SMC 和 PMC 的半球间激活更趋于平衡,且 SMC 与 PMC 的 LI 均为正值的可能性更大,而本研究只在优势半球组发现类似结果,这可能与样本量较少有关。综上所述,我们推测在优势半球脑卒中患者中,运动功能障碍的恢复与优势半球的功能重组有关。

本研究还发现:非优势半球组患者在执行踝关节不同牵伸训练任务的双侧 SMC 脑区激活程度与患者的步行能力有关。SMC 是中枢神经系统实现运动与感觉整合的区域,在运动学习、运动巩固、运动抑制等过程中起重要作用^[40]。Enzinger 等^[41]运用 fMRI 观察发现对踝关节主动背屈运动而言,双侧 SMC 的大

脑活动增加与更好的行走能力相关。本研究发现,当非优势半球组患者中执行踝关节不同牵伸训练任务时,双侧 SMC 脑区激活程度与 6MWT 的步行距离成正比。Miyai 等^[42]应用 fNIRS 对比了健康人群踝关节主动背屈及跖屈交替运动任务与步行的皮层激活差异,发现了踝关节交替运动激活了与步行相似的区域,但激活程度及区域较步行小。综上所述,我们推测可能是由于踝关节的背屈跖屈交替活动会产生类似于步行的大脑激活模式,且患者优势半球未受累,优势半球与运动控制相关的脑区可能出现代偿。而本试验未发现背屈/跖屈 PROM 及 AROM、MAS、FMA-LE、BBS 与 ROIs 激活程度的相关性,我们推测可能有以下原因:一是可能与样本量较少有关;其次,由于本试验任务要求较高,需要患者偏瘫侧运动功能恢复较好,故无明显差异;再者,本研究为初步探索性试验,任务观察时间不够长,故未能得出上述指标与 ROIs 激活程度的相关性,后续需加大样本量及延长观察时间对研究进行深入探讨。

综上所述,脑卒中后偏瘫患者不同踝关节牵伸训练任务与皮层活动存在一定的差异及相关性。另外,结合虚拟情景互动的主动背屈与跖屈训练可能有助于慢性脑卒中患者下肢运动功能的恢复。

【参考文献】

- [1] 《中国脑卒中防治报告 2020》编写组.《中国脑卒中防治报告 2020》概要[J].中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144.
- [2] 马林,巢宝华,曹雷,等.2007—2017年中国脑卒中流行趋势及特征分析[J].中华脑血管病杂志(电子版),2020,14(5):253-258.
- [3] Huo C, Xu G, Li Z. Limb linkage rehabilitation training-related changes in cortical activation and effective connectivity after stroke: A functional near-infrared spectroscopy study[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 6226.
- [4] 梁明,魏珍,谢荣,等.虚拟现实技术改善脑卒中患者平衡与步行功能的系统评价[J].中华物理医学与康复杂志,2020,42(7):632-639.
- [5] Zhang LQ, Chung SG, Bai Z, et al. Intelligent stretching of ankle joints with contracture/spasticity[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2002, 10(3): 149-157.
- [6] 邱纪方,徐聪琴,邵梦鸣,等.智能牵伸及其在踝部痉挛和挛缩中的应用[J].中国康复理论与实践,2015,21(12):1420-1424.
- [7] Hara Y. Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients[J]. J Nippon Med Sch, 2015, 82(1): 4-13.
- [8] Wu YN, Hwang M, Ren Y, et al. Combined passive stretching and active movement rehabilitation of lower-limb impairments in children with cerebral palsy using a portable robot[J]. Neurorehab Neural Repair, 2011, 25(4): 378-385.
- [9] 李洁心,邵梦鸣,胡瀚尹,等.牵伸训练改善脑卒中后踝痉挛及下肢运动功能的皮层调控研究进展[J].中国康复,2022,37(10):631-635.
- [10] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组.《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》[J].中华神经科杂志,2018,51(9):666-682.
- [11] 邓里娜,吴波.《中国脑出血诊治指南 2019》更新要点及解读[J].心脑血管病防治,2021,21(1):13-17,34.
- [12] Hoshi Y. Hemodynamic signals in fNIRS[J]. Prog Brain Res, 2016, 225: 153-179.
- [13] Borrell JA, Fraser K, Manattu AK, et al. Laterality index calculations in a control study of functional near infrared spectroscopy [J]. Brain Topogr, 2023, 36(2): 210-222.
- [14] Güntürkün O, Ströckens F, Ocklenburg S. Brain lateralization: A comparative perspective[J]. Physiol Rev, 2020, 100 (3): 1019-1063.
- [15] 谭言超,彭好婕.下肢智能反馈训练系统对脑卒中后下肢偏瘫患者下肢运动功能的影响研究[J].实用心脑肺血管病杂志,2021,29(S1):87-88.
- [16] 魏华军,黄文倩,祁艳姣,等.功能性电刺激联合镜像疗法对脑卒中偏瘫患者的应用疗效观察[J].中国疗养医学,2023,32(4):410-413.
- [17] 王光益,王玉龙,龙建军,等.督脉电针治疗脑卒中后上肢痉挛的疗效及对表面肌电图的影响[J].中西医结合心脑血管病杂志,2021,19(23):4145-4148.
- [18] 贾胜男,王寒明,杨傲然,等.惯性步态设备评估脑卒中患者 6 分钟步行试验中的步态参数[J].中国实用神经疾病杂志,2022,25(8):959-963.
- [19] Tsuzuki D, Jurcak V, Singh A K, et al. Virtual spatial registration of stand-alone fNIRS data to MNI space[J]. NeuroImage, 2007, 34(4): 1506-1518.
- [20] 林必博,周济铭.多因素方差分析平方和与自由度的分解[J].统计与决策,2020,36(12):64-66.
- [21] Jansen A, Menke R, Sommer J, et al. The assessment of hemispheric lateralization in functional MRI—robustness and reproducibility[J]. Neuroimage, 2006, 33(1): 204-217.
- [22] Dodd KC, Nair VA, Prabhakaran V. Role of the contralateral vs. ipsilesional hemisphere in stroke recovery[J]. Front Hum Neurosci, 2017, 11: 469.
- [23] Murase N, Duque J, Mazzocchio R, et al. Influence of interhemispheric interactions on motor function in chronic stroke[J]. Ann Neurol, 2004, 55(3): 400-409.
- [24] Ko S-B, Yoon B-W. Mechanisms of functional recovery after stroke[J]. Front Neurol Neurosci, 2013, 32: 1-8.
- [25] Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, et al. Neural correlates of outcome after stroke: A cross-sectional fMRI study[J]. Brain, 2003, 126(6): 1430-1448.
- [26] Chunyong L, Yingkai L, Fuda L, et al. Longitudinal changes of motor cortex function during motor recovery after stroke[J]. Top Stroke Rehabil, 2023, 30(4): 342-354.
- [27] He X, Lei L, Yu G, et al. Asymmetric cortical activation in healthy and hemiplegic individuals during walking: A functional near-infrared spectroscopy neuroimaging study[J]. Front Neurol, 2023, 13: 1044982.
- [28] Li R, Li S, Roh J, et al. Multimodal neuroimaging using concur-

- rent EEG/fNIRS for post-stroke recovery assessment: An exploratory study[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2020, 34(12): 1099-1110.
- [29] Peters DM, Fridriksson J, Stewart JC, et al. Cortical disconnection of the ipsilesional primary motor cortex is associated with gait speed and upper extremity motor impairment in chronic left hemispheric stroke[J]. *Hum Brain Mapp*, 2018, 39(1): 120-132.
- [30] Kantak SS, Stinear JW, Buch ER, et al. Rewiring the brain: Potential role of the premotor cortex in motor control, learning, and recovery of function following brain injury[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2012, 26(3): 282-292.
- [31] Iandolo R, Marre I, Bellini A, et al. Neural correlates of ankle movements during different motor tasks: A feasibility study[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. Milan: IEEE, 2015, 2015: 4679-4682.
- [32] Xia W, Dai R, Xu X, et al. Cortical mapping of active and passive upper limb training in stroke patients and healthy people: A functional near-infrared spectroscopy study[J]. *Brain Res*, 2022, 1788: 147935.
- [33] Rahayu UB, Wibowo S, Setyopranoto I, et al. Effectiveness of physiotherapy interventions in brain plasticity, balance and functional ability in acute stroke survivors: A randomized controlled trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2020, 47(4): 463-470.
- [34] Carlson HL. Structural and functional connectivity of motor circuits after perinatal stroke: A machine learning study[J]. *Neuro-*
- image Clin
- [35] Wu X, Kong X, Vatansever D, et al. Dynamic changes in brain lateralization correlate with human cognitive performance[J]. *M. F. S. Rushworth*. PLOS Biology, 2022, 20(3): e3001560.
- [36] Yoon B, Morillo C, Cecchetto D, et al. Cerebral hemispheric lateralization in cardiac autonomic control[J]. *Arch Morillo Neurol*, 1997, 54(6): 741-744.
- [37] Seghier ML. Laterality index in functional MRI: methodological issues[J]. *Magn Reson Imaging*, 2008, 26(5): 594-601.
- [38] Vidal AC, Banca P, Pascoal AG, et al. Bilateral versus ipsilesional cortico-subcortical activity patterns in stroke show hemispheric dependence[J]. *Int J Stroke*, 2017, 12(1): 71-83.
- [39] Tang Q, Li G, Liu T, et al. Modulation of interhemispheric activation balance in motor-related areas of stroke patients with motor recovery: systematic review and meta-analysis of fMRI studies [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2015, 57(5): 392-400.
- [40] Bhattacharjee S, Kashyap R, Abualait T, et al. The role of primary motor cortex: more than movement execution[J]. *J Mot Behav*, 2021, 53(2): 258-274.
- [41] Enzinger C, Dawes H, Johansen-Berg H, et al. Brain activity changes associated with treadmill training after stroke [J]. *Stroke*, 2009, 40(7): 2460-2467.
- [42] Miyai I, Tanabe HC, Sase I, et al. Cortical mapping of gait in humans: a near-infrared spectroscopic topography study [J]. *Neuroimage*, 2001, 14(5): 1186-1192.

• 外刊拾粹 •

影响中风患者对直流电刺激反应的因素

经颅直流电刺激(tDCS)已被证明可改善中风后的失语症，并已作为传统疗法的辅助手段使用。本研究探讨了tDCS联合计算机辅助言语治疗(SALT)对中风后亚急性期失语症患者的疗效。研究对象为58名在三个月内因中风而失语的右利手成年人。受试者被随机分配到安慰剂组或tDCS组。完成15次，每次45分钟的SALT治疗，tDCS组参与者同时接受tDCS治疗。在治疗前以及最后一次治疗后的第1周、第5周和第20周，使用西方失语成套测验修订版(WAB-R)失语系数(AQ)进行评估。费城命名测试(PNT)发现，年龄是影响对tDCS反应的一个重要因素。与单独接受SALT治疗相比，年轻人从tDCS中获得的益处较少。相反，与安慰剂组相比，年龄≥55岁接受tDCS的患者，在PNT上平均命名分数有显著提高。特别的是，在接受tDCS治疗的人群中，较高的教育程度与短期内改善和每个内容单元的音节数增加相关联。结论：这项针对中风后亚急性期患者的研究发现，年龄与对直流电刺激反应的显著差异有关，年轻人比老年人受益更少。

(李焰槟 译)

Stockbridge M, et al. Individual Differences in Response to Transcranial Direct Current Stimulation with Language Therapy in Subacute Stroke. *Neurorehab Neural Repair*. 2023, 37(8): 519-529.

中文翻译由WHO康复培训与研究合作中心(武汉)组织

本期由四川大学华西医院 何成奇教授主译编