

动作观察疗法对缺血性脑卒中患者上肢运动功能恢复的影响

沈芳 刘虎 顾旭东 曾明 傅建明 王晶 崔尧 朱美红

【摘要】 目的 探讨动作观察疗法对缺血性脑卒中患者上肢运动功能恢复的影响,同时利用功能性磁共振成像(fMRI)技术分析该疗法对患者运动相关脑皮质功能的影响。**方法** 采用随机数字表法将 40 例缺血性脑卒中患者分为观察组及对照组,每组 20 例。2 组患者均给予常规康复干预,观察组患者在此基础上辅以动作观察疗法,共治疗 8 周。分别于治疗前、治疗 8 周后采用 Fugl-Meyer 运动功能评分法(FMA)上肢部分及 Barthel 指数(BI)对 2 组患者上肢运动功能、日常生活活动(ADL)能力进行评定。在治疗前对 2 组患者进行 fMRI 检查,并对治疗结束 2 个月后 9 例观察组患者及 8 例对照组患者(该期间 2 组患者均继续相应治疗)再次进行 fMRI 检查。**结果** 治疗 8 周后观察组及对照组患者上肢 FMA 评分[分别为(28.00±7.89)分和(21.95±5.99)分]、BI 评分[分别为(76.50±11.36)分和(65.50±12.96)分]均明显优于治疗前水平($P<0.05$);进一步分析发现,治疗 8 周后观察组患者上肢 FMA 评分亦显著优于对照组水平($P<0.05$),但 BI 指数评分组间差异则无统计学意义($P>0.05$)。治疗结束 2 个月通过 fMRI 检查发现,观察组患者在观看动作视频时其双侧中央前回、顶叶及辅助运动区激活程度均较治疗前及对照组明显增强($P<0.05$),而对照组患者在观看动作视频时其大脑区域激活情况较治疗前无明显规律性、实质性改变。**结论** 基于镜像神经元理论的动作观察疗法可改善缺血性脑卒中患者上肢运动功能,提高 ADL 能力,其治疗机制可能与增强镜像神经元系统兴奋性有关。

【关键词】 动作观察疗法; 缺血性脑卒中; 镜像神经元; 上肢运动功能; 功能性磁共振成像

基金项目:浙江省嘉兴市科技计划项目(2014AY21031-9);国家自然科学基金资助项目(81201504);浙江省自然科学基金资助项目(LY12H17004)

Action observation therapy can improve upper extremity motor function after stroke Shen Fang*, Liu Hu, Gu Xudong, Zeng Ming, Fu Jianming, Wang Jing, Cui Yao, Zhu Meihong. *Center of Rehabilitation Medicine, The Second Hospital of Jiaxing, Jiaxing 314000, China

Corresponding author: Zeng Ming, Email: zengming2012828@163.com

【Abstract】 Objective To explore the effects of action observation therapy on upper-extremity motor function after ischemic stroke and on the motor cortex using functional magnetic resonance imaging (fMRI). **Methods** Forty patients with ischemic stroke were randomly assigned to an observational group ($n=20$) or a control group ($n=20$). Both groups received conventional rehabilitation, while the observational group was additionally provided with action observation therapy for 8 weeks. Both groups were assessed using the Fugl-Meyer assessment (FMA) and the Barthel index (BI) before and after the 8 weeks of treatment and functional magnetic resonance imaging was performed before treatment. Two months after the treatment, nine patients of the experimental group and 8 of the control group who continued to receive their respective treatments after discharge were again assessed using functional magnetic resonance imaging. **Results** After the treatment the average FMA score and BI score of both the observational group and the control group had increased significantly. The increase in the average FMA score of the observational group was significantly greater than that of the control group. However, there was no significant difference between the two groups in the increases in BI score after 8 weeks of treatment. The fMRI results showed that there was a significantly greater rise in activity in the bilateral precentral gyrus, parietal lobe and the supplementary motor area of the patients in the observational group after the treatment compared with the control group. **Conclusion** Action observation therapy can improve upper extremity motor function and performance in the activities of daily living after ischemic stroke and induce changes in the excitability of the cerebral motor cortex.

【Key words】 Action observation; Ischemic stroke; Mirror neurons; Upper extremity function; Rehabilitation; Functional magnetic resonance imaging

Fund program: Jiaxing City Science and Technology Planning Project (grant 2014AY21031-9); National Natural Science Foundation of China (grant 81201504); Natural Science Foundation of Zhejiang Province (grant LY12H17004)

脑卒中是目前世界上导致成年人残疾的主要原因之一^[1],脑卒中患者上肢功能障碍发病率较高,且预后差^[2]。相关研究表明,高达 80%的脑卒中患者在急性期就出现不同程度上肢运动功能障碍,即使经康复治疗,也仅有 5%~20%患者上肢功能获得不同程度恢复^[3]。目前促进脑卒中后运动功能恢复的康复治疗方法主要以传统神经促通技术为基础^[4],但临床上能有效促进脑卒中后上肢运动功能恢复的康复治疗方法则非常有限。

镜像神经元系统(mirror neuron system, MNS)的发现为脑卒中后上肢运动功能恢复带来了新的康复思路及治疗方法^[5],目前镜像神经元理论已被广泛应用于脑卒中后运动功能障碍^[6-7]、言语障碍^[8]、认知障碍等康复领域,并被证实具有一定疗效。本研究采用基于镜像神经元理论的动作观察疗法治疗缺血性脑卒中偏瘫患者,并评估该疗法对脑卒中患者上肢运动功能及大脑皮质兴奋性的影响。

对象与方法

一、研究对象及分组

选取 2014 年 10 月至 2015 年 7 月在本院康复医学中心住院治疗的脑卒中患者 40 例,患者纳入标准包括:①均符合 1995 年全国第 4 次脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[9],并经头颅 CT 或 MRI 检查证实为脑梗死初发患者;②单侧肢体偏瘫;③生命体征平稳;④病程≤6 个月;⑤年龄 18~75 岁;⑥认知功能无明显异常,简易精神状态量表(mini-mental state examination, MMSE)评分如下:文盲患者≥17 分,小学文化程度患者≥20 分,中学及以上文化程度患者≥24 分;⑦国际标准视力表检查双眼视力≥1.0;⑧无听理解功能障碍,并能积极配合治疗;⑨上肢 Brunnstrom 分期≥Ⅱ期;⑩能耐受每次 20 min 的训练量。患者剔除标准包括:①短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)、静脉窦血栓形成、蛛网膜下腔出血、进展型脑卒中或可逆性脑缺血发作;②病灶位于小脑、脑干或双侧大脑半球;③有严重感觉功能障碍;④合并有肝、肺、心、肾等重要脏器功能障碍、肿瘤、颅脑外伤等;⑤体内有金属异物,如安装有心脏起搏器、动脉支架等;⑥有视觉空间障碍;⑦患者或其家属不合作,不同意签署知情同意书等。采用随机数字表法将上述患者分为观察

组及对照组,每组 20 例。2 组患者一般资料情况详见表 1,表中数据经统计学比较,发现组间差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	偏瘫侧别(例)		病程 (d, $\bar{x}\pm s$)
		男	女		左侧	右侧	
对照组	20	14	6	46.3±14.8	7	13	92.4±37.5
观察组	20	11	9	48.8±13.9	10	10	74.4±38.8

二、治疗方法

2 组患者均给予相应药物治疗(如营养脑神经、改善微循环、促脑代谢、控制血压、血糖等)及运动疗法、作业疗法等常规康复训练,每周训练 5 d,每天训练 1 次,每次训练持续 45 min,共治疗 8 周。

观察组患者在上述干预基础上辅以动作观察疗法,具体治疗过程如下:保持治疗室安静,于肢体运动训练前嘱患者坐在彩色电视机前 2 m 处,将偏瘫侧手臂放在座位前桌子上,要求患者仔细观看电视中播放的上肢日常生活活动(activities of daily living, ADL)动作视频,并告知患者在看完视频后模仿练习相关动作。本研究涉及的动作视频共有 30 个,包括肩关节屈曲与伸展、肩关节外展与内收、肩关节旋前与旋后、耸肩、肩胛骨内收、肘关节屈曲与伸展、腕关节尺侧偏与桡侧偏、腕关节掌屈与背伸、翘大拇指、空手抓握、抓放大球、抓放大立方体、抓放大圆柱体、抓放小立方体、抓放小圆柱体、抓放小球、拿放 IC 卡、捏放硬币、拧广口瓶盖、拿放钥匙、拧细口瓶盖、捏放笔、拉拉链、抓放勺子、拿放筷子、拿水杯喝水、撕卫生纸、开关柜门、使用电视遥控器及翻书等,视频中所有动作均由同一位模特演示,每个动作视频分别从正前方、正内侧方 2 个角度进行演示(每个角度各演示 30 s)。按动作难易程度给每个动作视频编号,其中 1 号视频最容易,30 号视频最难。将难易程度相近的 3 个动作视频编为 1 组,如 1~3 号、2~4 号等,共有 28 组视频,1 组最易,28 组最难,每组视频时长约 10 min。嘱患者从第 1 组视频开始观看,并要求患者尽最大努力用瘫痪侧肢体模仿该动作,若患者能独立完成指定动作,则开始训练难度较大的下一组动作;若不能完成指定动作,则继续观察并模仿该组视频指定动作;若患者可独立完成第 28 组动作,则以该组动作作为训练内容,每天训练 2 次,每次训练 20 min,每周训练 5 d,共持续训练 8 周。

对照组患者在常规康复干预基础上观看几何图形图片,然后在治疗师指导下进行相关动作训练,从简单动作开始,并逐渐增加训练难度,根据患者上肢功能情况选择最大难度动作进行持续训练,每周训练 5 d,每天训练 2 次,每次训练 20 min,共持续训练 8 周。本研究之所以选择几何图形作为对照组的刺激,是因为几何图形不太可能在运动区域或镜像神经元区域引起重大的兴奋性改变^[4]。

三、疗效评定方法

于治疗前、治疗 8 周后,采用 Fugl-Meyer 运动功能评定量表(Fugl-Meyer assessment, FMA)上肢部分评定 2 组患者上肢运动功能情况,该量表评定内容包括腱反射、肩、肘、腕关节屈肌、伸肌协同运动和分离运动,腕关节稳定性、小关节运动(如手的抓握、手指侧捏、对指等)协调能力和速度情况等,满分为 66 分,分值越高表示患者上肢运动功能越好^[10];采用 Barthel 指数(Barthel index, BI)评定 2 组患者日常生活活动(ADL)能力改善情况,该量表评定内容包括修饰、洗澡、进食、穿衣、控制大便、控制小便、用厕、上下楼梯、床-椅转移、平地行走共 10 个项目,满分为 100 分,分值越高表示患者 ADL 能力越好^[11]。于 8 周治疗结束后由同一位治疗师对 2 组患者进行随访,每 2 周进行 1 次门诊或电话随访、1 次康复训练指导;每个月进行 1 次详细的 FMA 及 BI 评定;随访期内患者若出现关于康复治疗问题,则及时就诊。

四、功能性磁共振成像检查

治疗前对 2 组患者进行功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)检查,并于出院后 2 个月时分别选取 9 例观察组患者及 8 例对照组患者再次进行 fMRI 检查。入选观察组、对照组患者在出院后 2 个月期间均继续进行动作观察训练或门诊康复训练,上述 17 位患者均由同一位受过专业培训的 MR 技术人员进行 fMRI 扫描。检查前向患者详细说明实验目的、检查方法及检查过程,扫描设备选用美国 GE 公司 Signa HDxt 1.5T 超导型磁共振扫描仪,选用血氧水平依赖(blood oxygen level dependent, BOLD)脑功能成像序列, fMRI 扫描范围从大脑顶叶至颅底。进行 fMRI 检查时,使用组块设计(block design),通过投影仪设备将视频图像投射到磁共振高分辨头部线圈的反射镜上,通过镜面反射确保患者能清晰看到视频图像并要求患者认真观看,视频内容为 30 s 手抓放小圆柱体及 30 s 空白视频,反复播放 3 次。将所得 fMRI 图像数据传至工作站由专业人员进行处理,数据分析采用 FMRIB Software Library(FSL)软件,先去除 fMRI 扫描初始 12 s 内采集的信号数据,以减少血液动力学因素对被激活脑区信号的影响;然后采用各向同性

Gaussian 核心法对图像进行光滑处理,观察 2 组患者大脑主要功能区域激活位置、形态及范围分布等。

五、统计学方法

本研究所得计量数据以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 17.0 版统计学软件包进行数据分析,计量数据比较采用 *t* 检验,治疗前、后 2 组患者大脑激活区域出现率比较采用方差检验中 Fisher 精确检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、治疗前、后 2 组患者疗效比较

治疗前 2 组患者上肢 FMA 评分、BI 评分组间差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗 8 周后 2 组患者上肢 FMA 评分、BI 评分均明显优于治疗前水平($P < 0.05$);进一步分析发现,观察组患者治疗 8 周后其上肢 FMA 评分亦显著优于对照组水平($P < 0.05$),但 BI 指数评分组间差异则无统计学意义($P > 0.05$)。具体数据见表 2。

表 2 治疗前、后 2 组患者上肢 FMA 评分及 BI 评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	上肢 FMA 评分	BI 评分
对照组			
治疗前	20	14.55±5.83	55.00±13.37
治疗 8 周后	20	21.95±5.99 ^a	65.50±12.96 ^a
观察组			
治疗前	20	15.10±4.02	60.75±13.10
治疗 8 周后	20	28.00±7.89 ^{ab}	76.50±11.36 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P < 0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P < 0.05$

二、2 组患者随访比较

本研究通过对 17 例患者(其中观察组 9 例,对照组 8 例)进行为期 2 个月随访,发现随访 1 个月、2 个月时 2 组患者上肢 FMA 评分、BI 评分均较治疗结束时明显改善,并且上述时间点观察组患者上肢 FMA 评分亦显著优于对照组水平,组间差异均具有统计学意义($P < 0.05$),而随访后不同时间点 2 组患者 BI 评分组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。具体数据见表 3。

三、治疗前、后 2 组患者 fMRI 比较

治疗前、后 2 组患者观看动作视频时其大脑激活情况详见表 4,表中数据显示,随访 2 个月后观察组患者观看动作视频时其大脑功能区域双侧中央前回、顶叶及辅助运动区激活程度均较治疗前及对照组明显增强($P < 0.05$);而对照组患者在观看动作视频时其大脑区域激活情况与治疗前比较,未呈现明显规律性、实质性改变($P > 0.05$)。

表 3 2 组患者随访结果(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	FMA 评分	BI 评分
对照组			
治疗结束时	8	21.37±6.30	66.67±13.07
随访 1 个月	8	24.25±6.94 ^a	70.00±11.95 ^a
随访 2 个月	8	26.50±7.52 ^a	71.25±11.57 ^a
观察组			
治疗结束时	9	28.22±9.02	76.11±13.07
随访 1 个月	9	32.77±7.94 ^{ab}	80.55±11.30 ^a
随访 2 个月	9	35.11±7.11 ^{ab}	81.11±9.93 ^a

注:与组内治疗结束时比较,^a $P < 0.05$;与对照组同时间点比较,^b $P < 0.05$

表 4 治疗前、后 2 组患者观看动作视频时其大脑激活区域出现率比较[例(%)]

组别	例数	中央前回	顶叶	辅助运动区	枕叶	基底节
对照组						
治疗前	8	2(25.0)	2(25.0)	2(25.0)	6(75.0)	0(0)
随访 2 个月	8	4(50.0)	4(50.0)	3(37.5)	6(75.0)	2(25.0)
观察组						
治疗前	9	2(22.0)	2(22.0)	2(22.0)	7(77.8)	2(22.0)
随访 2 个月	9	8(88.9) ^{ab}	8(88.9) ^{ab}	9(100) ^{ab}	8(88.9)	4(44.4)

注:与组内治疗前比较,^a $P < 0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P < 0.05$

四、典型病例分析

本研究中 1 例典型女性患者 58 岁,于 2014 年 1 月在家中无明显诱因突发右侧肢体活动障碍,无意识不清、恶心呕吐等情况,送至当地医院行头颅 CT 检查显示左侧基底节区脑梗死,予以营养神经、改善循环、控制血压等对症治疗。于发病 46 d 后来我院康复医学中心继续治疗,入院时 Brunnstrom 分期评定结果如下:右手 III 期,右上肢 III 期,右下肢 IV 期,肌张力增高,改良 Ashworth 评定 1 级,坐位平衡 3 级,站立平衡 2 级。在常规康复干预基础上辅以动作观察疗法治疗,经 4 个月干预后,发现该患者右侧肢体活动功能逐渐增强,上肢分离运动明显改善。患者入院时 fMRI 激活区域详见图 1;而经动作观察疗法训练 4 个月后,发现该患者大脑功能区域双侧中央前回、顶叶及辅助运动区激活程度较入选时明显增强,具体情况见图 2。

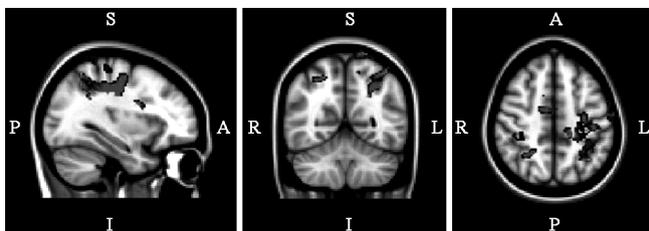


图 1 1 例观察组患者入院时 fMRI 图

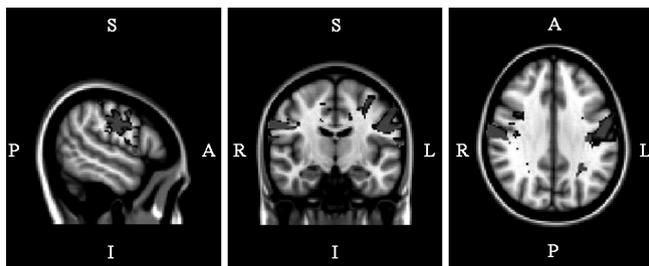


图 2 1 例观察组患者训练 4 个月后 fMRI 图

讨 论

本研究将动作观察疗法与传统康复治疗相结合,发现能有效促进缺血性脑卒中患者上肢运动功能恢复,并且通过 fMRI 检查发现动作观察疗法能引起缺血性脑卒中患者运动相关皮质改变,促进脑功能代偿及重组。

本研究认为:动作观察疗法有助于脑卒中患者上肢运动功能恢复的原因,可能与观察动作时激活镜像神经元有关。镜像神经元是一类特殊神经元,它们不仅在个体执行特定动作时被激活,个体在观察其他同类执行相同或类似动作时也会被激活^[12]。镜像神经元最早由 Rizzolatti 等^[13]在恒河猴大脑中偶然发现;随后有学者证实人类也存在镜像神经元,并且这些镜像神经元间存在一定联系,研究者也将这种相互之间存在一定联系的镜像神经元统称为镜像神经元系统。大量实验证据表明,人脑中主要存在两个镜像网络,分别为顶额镜像系统和边缘镜像系统,前者由 Broca 区、运动前皮质腹侧(premotor ventral cortex, PMv)、中央前回下部、额下回后部(inferior frontal gyrus, IFG)及顶下小叶(inferior parietal lobule, IPL)嘴侧等构成,后者由脑岛、杏仁核、前额叶皮质等构成^[14]。越来越多研究证实,观察动作与实际执行动作一样均可激活镜像神经元系统^[15-16]。Buccino 等^[17]研究发现,吉他初学者在观看专业吉他手表演时的手部动作后并模仿该动作,通过 fMRI 检查发现包括镜像神经元系统在内的一些脑区在模仿学习过程中其兴奋性显著增高。Ertelt 等^[4]采用动作观察疗法治疗慢性脑卒中患者(持续 4 周),并通过任务态 MRI(tasking-state fMRI, ts-fMRI)检查发现康复训练前、后对照组患者(未给予动作观察疗法治疗)在进行物体操作时其脑区激活无实质性变化,而实验组患者(给予动作观察疗法治疗)双侧运动前皮质腹侧(premotor cortex, PM)、辅助运动区、双侧颞上沟皮质、对侧缘上回等脑区经干预后其兴奋性明显增强。Brunner 等^[18]对脑卒中患者进行 fMRI 检查发现,患者在观察动作及执行动作期间其顶上小叶、顶下小叶、岛叶及颞下回神经元激活程度均明显增强;在颞下回、丘脑及运动相关区域(如前运动皮质、辅助运

动区及运动皮质)能观察到大部分激活集群,同时该研究指出小脑及运动前区激活增强与手臂运动功能恢复密切相关。

本研究采用的 fMRI 技术最先由 Ogawa 等^[19-20]提出,该技术通过分析不同神经活动状态下大脑局部含氧血红蛋白及去氧血红蛋白含量变化来显示相应脑皮质激活情况,能实时反映脑功能区活动变化。通过分析本研究 2 组患者 fMRI 数据,发现观察组患者在观看动作视频时其大脑双侧中央前回、顶叶及辅助运动区等区域兴奋性明显增强,而这些区域均为人类镜像神经元系统广泛分布脑区,提示动作观察疗法改善脑卒中患者神经功能可能与提高镜像神经元系统兴奋性有关。

本研究 2 组患者经 8 周治疗后及随访 2 个月时,发现其 BI 指数评分组间差异均无统计学意义($P > 0.5$),其原因可能是患者 ADL 能力被偏瘫肢体限制,所以部分患者进行 ADL 活动时依靠身体其他部分辅助或代偿;此外部分 ADL 任务不需要患侧上肢也能完成,同时周围或家庭环境也会对患者 ADL 能力造成影响。本研究 2 组患者经治疗后,其上肢运动能力明显提高,同时也学会了許多提高 ADL 康复技术,随着患者上肢功能改善及对新技能的掌握,患者在执行 ADL 活动时其动作质量、速度及协调性等均得到提高,有利于患者改善生活质量及早日回归家庭和社会。

综上所述,基于镜像神经元理论的动作观察疗法可改善脑卒中患者上肢运动功能,其治疗机制可能与提高镜像神经元分布脑区兴奋性有关,并且该疗法还具有操作简单、经济、患者依从性好等优点,不仅适合在医疗机构中推广、应用,也适合病情稳定患者在家中自行训练。本研究不足之处包括以下方面:首先本研究采集及分析处理的 fMRI 图像数据有限,需在后续实验中进一步证实、补充;其次本研究样本量偏小,需继续追踪观察;另外本研究未结合多模态 fMRI、运动诱发电位进行分析,将在后续研究中进一步完善。

参 考 文 献

[1] Bonita R, Mendis S, Truelsen T, et al. The global stroke initiative[J]. *Lancet Neurol*, 2004, 3(7): 391-393. DOI: 10.1016/S1474-4422(04)00800-2.

[2] Han L, Law-Gibson D, Reding M. Key neurological impairments influence function-related group outcomes after stroke[J]. *Stroke*, 2002, 33(7): 1920-1924. DOI: 10.1161/01.STR.0000019792.59599.CC.

[3] Kwakkel G, Kollen BJ, van der Grond J, et al. Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke[J]. *Stroke*, 2003, 34(9): 2181-2186. DOI: 10.1161/01.STR.0000087172.16305.CD.

[4] Ertelt D, Small S, Solodkin A, et al. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke[J]. *Neuroimage*,

2007, 36(2): T164-173. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.03.043.

[5] Stadler W, Springer A, Parkinson J, et al. Movement kinematics affect action prediction: comparing human to non-human point-light actions[J]. *Psychol Res*, 2012, 76(4): 395-406. DOI: 10.1007/s00426-012-0431-2.

[6] 李岩, 顾旭东, 时美芳, 等. 基于镜像神经元理论的运动想象训练对脑卒中患者运动功能及步态的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2015, 37(7): 518-521. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2015.07.010.

[7] 张蕊, 朱美兰, 虞颖, 等. 镜像疗法在脑卒中上肢功能恢复中的应用[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016, 38(4): 310-314. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.04.019.

[8] 陈文莉, 夏杨, 杨玺, 等. 手动动作观察训练对脑卒中失语症患者语言功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(2): 141-144. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2014.02.010.

[9] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管病诊断要点[J]. *中华神经科杂志*, 1996, 29(6): 379-380.

[10] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2002, 16(3): 232-240. DOI: 10.1177/154596802401105171.

[11] Loewen SC, Anderson BA. Reliability of the Modified Motor Assessment Scale and the Barthel Index[J]. *Phys Ther*, 1988, 68(7): 1077-1081.

[12] Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system[J]. *Annu Rev Neurosci*, 2004, 27(27): 169-192. DOI: 10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230.

[13] Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, et al. Premotor cortex and the recognition of motor actions[J]. *Brain Res Cogn Brain Res*, 1996, 3(2): 131-141. DOI: 10.1016/0926-6410(95)00038-0.

[14] Cattaneo L, Rizzolatti G. The mirror neuron system[J]. *Arch Neurol*, 2009, 66(5): 557-560. DOI: 10.1002/9780470478509.neubb001017.

[15] Stefan K, Cohen LG, Duque J, et al. Formation of a motor memory by action observation[J]. *J Neurosci*, 2005, 25(41): 9339-9346. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2282-05.2005.

[16] Fadiga L, Craighero L. Electrophysiology of action representation[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2004, 21(3): 157-169. DOI: 10.1097/00004691-200405000-00004.

[17] Buccino G, Lui F, Canessa N, et al. Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspicuous: an fMRI study[J]. *J Cogn Neurosci*, 2004, 16(1): 114-126. DOI: 10.1162/089892904322755601.

[18] Brunner IC, Skouen JS, Erslund L, et al. Plasticity and response to action observation: a longitudinal fMRI study of potential mirror neurons in patients with subacute stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2014, 28(9): 874-884. DOI: 10.1177/1545968314527350.

[19] Ogawa S, Lee TM, Nayak AS, et al. Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields[J]. *Magn Reson Med*, 1990, 14(1): 68-78. DOI: 10.1002/mrm.1910140108.

[20] Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1990, 87(24): 9868-9872. DOI: 10.1073/pnas.87.24.9868.

(修回日期: 2016-12-23)

(本文编辑: 易 浩)