·综述·

脑电图中mu波的特征、影响因素及其与镜像神经元活动的关系*

吴春薇[1] 谢 瑛[1,2]

脑电图(electroencephalography, EEG)是一种通过测定自发的有节律的生物电活动以了解脑功能状态的无创性检查方法,因其一定程度上反映了脑电活动,被认为是神经元活动的可靠指标。在脑科学研究中,尤其是涉及婴幼儿及青少年群体的发育性研究,功能核磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)等神经影像技术的高成本及对运动的高敏感性,使其技术的使用受到限制,而应用EEG分析评价神经脑科学已成为近年来康复医学研究的一个重点领域。

自20世纪90年代初意大利学者Rizzolatti提出了镜像神经元系统(mirror neuron system, MNS)的概念,近20年来围绕MNS展开了涉及运动、感知及社会性学习等神经康复、心理精神行为领域的深入研究,有人提出由于MNS联动了多个不同系统的学习方式,是神经精神康复领域的里程碑似的新概念,而应用EEG对MNS的活动进行多角度观察的研究也日益增多。因此,笔者对EEG在MNS活动中的应用加以综述,分析此技术如何阐释运动观察和神经活动间的关系,了解和探讨MNS活动的机制,以及既往EEG技术在此领域的应用及仍待进一步研究的问题,使EEG技术在MNS的研究中发挥更大作用。

1 MNS的概念

MNS最初在猴子群体中被发现[1]并在其后的人类研究中得以确认[2],作为视运动神经元,其在动作执行及观察他人施行相同动作时被激活,目前多认为MNS主要位于人脑前运动皮质(premotor cortex, PM)、额下回(inferior frontal gyrus, IFG)和顶下小叶(inferior parietal lobule, IPL),而这些区域也正是动作执行和观察的核心位置,一项荟萃了125个fMRI的meta分析也肯定了这个结论[3]。在观察他人动作时,观察者自身大脑中负责执行相同动作的神经结构同步活化,使观察者本人好像成为了动作行为的主体,这种机制令观察者在没有任何运动输出的情况下,对所观察到的动作获得了感同身受的生动体验,镜像神经元便由此得名。

2 MNS在EEG上的特征及机制

2.1 mu波的提出及其特征

1954年Gastaut[4]提出了对人体运动的观察可降低mu波波幅,这是对mu波的首次定性描述。1997年Altschuler提出镜像神经元与mu波间可能存在联系,其后2004年Muthukumaraswamy[5]提出了mu波是与猴子的MNS功能相似的人脑功能系统的标记。

mu波主要是在静止状态下,感觉运动皮质位置(中央电极位置,C3,CZ及C4)记录到的频率为8—13Hz(α成分)和15—25Hz(β成分)[6],持续约0.5—2s[7]的震荡,静止时,感觉运动神经元同步化产生振幅较大的脑电信号,而被试者活动时,这些神经元去同步化,mu波振幅减小。由此可见mu波的部分成分位于α节律的范围,但α节律的频率在发育中并不固定,有报道显示α节律在婴儿期稳步增长,而mu波也随之发生相似的增长轨迹,到5个月大婴儿峰值达到5—6Hz,2岁时达到8Hz,到4岁时接近成人的9—10Hz[8]。

枕叶的mu波与α波重叠,易被混淆,一般认为经典的α波反映的是枕叶的初级视觉加工过程,而额顶叶脑区的mu波反映的是感觉运动活动过程而加以区分[9],即中心区mu波抑制出现在运动状态或受到躯体刺激时,而不是像枕叶α波对明暗变化产生反应。动作执行或观察中的mu波抑制过程,包括初始的锐利而明显的抑制,以及后续较长时间的功率的提升,即mu波回弹被认为是对抑制的控制调整。Schuch等[10]提出mu波波幅的升降是相关联的,即动作观察诱发的去同步化越显著,其后的回弹越明显。

2.2 mu波抑制的机制

MNS可被视为一种休眠状态的特殊的运动神经元,在出现自发活动[11]、运动想象[12],以及运动观察等刺激时[13],感觉运动皮质的MNS发生反应,产生mu波抑制。相比无目的导向或单纯进行被动的动作观察,有研究显示有明确目的导向的动作[5],及有经验及记忆储备的动作[14]可诱发mu波的出现及更显著的抑制效果,类似结论的研究报道越来越多的将对mu波抑制的理解推向为感知觉及运动系统的调节机制,

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.05.023
*基金项目:首都医科大学基础临床科研合作项目(15JL31);北京友谊医院科研启动基金(Z20150512030036)
1 首都医科大学附属北京友谊医院康复医学科,北京,100050; 2 通讯作者
作者简介:吴春薇,女,主治医师;收稿日期:2015-04-27

即感觉运动系统活动的基础是对运动的感受及理解,mu波抑制整合并调节运动感觉和输出,而mu波的波幅下降和增高也反映了感觉运动系统的反应性[15]。

2.3 mu波抑制与MNS活性的相关性

主流观点认为mu波抑制是MNS的活动标志,Arnstein[16]的一项探讨成人fMRI与EEG相关性的研究显示,在动作观察及执行过程中,MNS经典区(IPL、前运动皮质背侧及初级感觉运动皮质)的mu波抑制与fMRI的血氧水平依赖(blood oxygenation level dependent, BOLD)活动变化相同步,依靠fMRI技术证实了mu波抑制与MNS活动的相关性。但对此结论的质疑声音一直存在,Braadbaart[17]提出几乎没有证据显示mu波抑制的波动可反映MNS活性的变化,mu波抑制在IFG、IPL等MNS经典位置与fMRI的BOLD并不相关,在双小脑、左额内侧等部位的簇集提示mu波抑制可能与对运动准备活动的调节结构相关,认为mu波抑制涵盖了类MNS结构但并不能代表MNS。这种相反结果的出现,分析其可能的原因为:①EEG-核磁同步检查时,核磁场对EEG信号的污染影响是此类研究很难避免的问题,干扰祛除方法及分析策略的不同可能产生结论的差异;②无论是mu波抑制还是fMRI,均不是检验MNS的直接方法,两种方法各自以不同角度对MNS的性质和活性加以阐释,前述fMRI检查证实了mu波抑制与MNS活动的相关性的研究,也是基于研究者在单细胞记录结果中得到的延展性推论,因此没有理由要求两者间必须存在一一对应关系,才能说明mu波抑制和MNS间的相关性;mu波抑制与MNS活性的关联至今仍是一项有待深入研究以找到确凿支持证据的问题。

3 EEG在MNS研究中的应用

3.1 EEG证实MNS的存在及活动情况

EEG技术操作简便,图形直观,应用于MNS在不同人群及状态下是否激活的研究较多。

对于MNS在婴幼儿个体发育中的活动,有研究显示,在动作观察及执行任务中,14个月的婴儿中央区6—9Hz的α节律(mu波)发生去同步化[18];18—30月龄的婴幼儿可见mu波抑制[19],4—11岁儿童在观察及进行精细抓握时亦出现8—13Hz波段的抑制[20]。而一项给6个月婴儿看抓握视频的研究显示未能引出mu波抑制,但同一作者其后的研究中,让8个月婴儿现场观察有实物操作的动作则可诱发出明显的mu波抑制[21],两项研究彼此矛盾的结果,是否源于8个月婴儿的脑发育更为成熟、动作观察的条件差异(给8个月婴儿观察的动作由真人现场实施,而不是之前的视频软件),以及是否源于其他试验条件的不同所产生的偏倚,还需要进一步更为缜密的试验设计加以阐释。总之,这些研究揭示了MNS活动在低龄群体中同样存在,以及MNS在发育过程中的发展变化。

关于MNS的产生机制,多数研究认为MNS的激活不是对动作本身的反应,而是与对运动目的的理解相关。猴子群体在观察无实物操作的手势时不会产生MNS活动[22],成人则在理解运动目的后观察有或无实物操作的手势时均会发生皮质兴奋性改变[23]。Cannon[14]的研究支持MNS的激活与个体经验及自身可掌握的运动能力相关,因前期研究显示,不会使用工具的猴子看到操作工具的动作,其MNS不能被激活,但经过大量工具操作动作相关的动作暴露后MNS可被激活;Cannon也设计了试验使被试人掌握新的使用工具的技能,所获得的运动经验使其8—13Hz波段的mu抑制幅度与单纯被动的动作观察相比,显示出显著差异。Bernier[24]和Warreyn[19]的研究亦均提出MNS的激活与模仿能力相关,和年龄及言语无关。但也有不同结论的研究认为MNS的激活只与动作本身有关,而是否了解运动目的并不是决定因素,Marshall[18]报道14个月龄婴儿看到无实际操作物的模拟动作同样可诱发mu波抑制,即与成人相同,婴儿在不清楚运动目的的情况下,对模拟手势同样可产生mu波抑制,认为是MNS对观察到的动作作出了解释和预判。因此提出,可将MNS视为涵盖了具有解释动作行为并作出预判的能力的一种更宽泛的系统,其神经连接使得动作观察和动作发生间不仅是单纯的动作响应,还增强了人类模仿能力的灵活性和顺应性。

此外,为观察可引起MNS激活的刺激形式,众多研究同样引入了EEG技术。Paulus[25]报道相比于其他声音,运动相关声音可诱发8个月婴儿的运动皮质出现明显的mu波抑制;Moore[26]发现受试者观看快乐和厌恶的面部照片时均可同步显示mu波抑制,而事件相关电位在右半球记录到两种表情刺激在500ms左右的差别最大;Perry[27]报道单纯的手势图片即可产生mu波抑制,并报道了mu波对光点刺激的反应,令被试者观看5s的不同动作意图、情绪、性别的人体光点轮廓动态视频,发现光点刺激可诱发mu波抑制,而意图判断视频引发的抑制最明显[28]。Menoret报道观察者在观察机械臂的运动时,额中心区β成分mu波也可被抑制,以上研究显示,不单是运动及动作,包括听觉、情感、手势、光点在内的多种刺激均可诱发mu波抑制的出现。

3.2 MNS活性增高的促发因素

3.2.1 观察动作的参与感受真实度对MNS的影响:为探讨因利手和手动作参与体验的不同对mu波抑制的影响,Drew[13]将手动作(接近、抓握、抬起圆柱体)视频按干预因素为左/右手,及自我操作/观察对方操作进行拍摄,发现观察者α成分的mu波抑制在右手—自我中心操作的动作观察时最明显,提出动作观察时不同的体验因素,尤其是对类似自我发动动作的识别,EEG节律的反应可能更为显著。Perry[27]观察到单

纯看“石头—剪子—布”的手势图片、游戏背景下他人的手势及自己亲自参与游戏，均可出现mu波抑制，而亲自参与的mu波抑制最明显。Heimann[29]通过改变拍摄视频时照相机的运动方式，使观察者自我感觉是以不同的方式（固定不动/利用变焦使画面逐渐扩大/通过滑轨接近景物/摄影机跟随拍摄人员稳定的接近景物）接近景物（目标—相关手动作），发现以第4种接近景物的方式，即以最贴近人自身步行靠近景物的感受记录到的mu波的事件相关去极化比其他视角更为明显，提示可从社会认知生态学研究的角度设计试验以观察对MNS的影响。

3.2.2 个体经验及自身能力储备对MNS的影响：Hadjidimitriou[30]使用分维EEG，比较受过/未受过音乐训练的学生接受视听觉相关运动刺激后其中心区mu波的变化，发现受过训练的音乐人士受到听觉刺激后显示出明显的与听觉刺激相关的感觉运动反应，提示经验和记忆可修饰内在性感觉运动线索及涉及感觉运动控制过程的神经网络。但也有研究显示，即使所观察动作超出受试者能力范畴或受试者没有相关经验，EEG仍可记录到中央区的明显反应，Virji-Babul等[31]令平均年龄7个月的婴儿（可抓东西，尚不会行走）观察3种时长1.5s的动作视频，包括超出其活动能力的人类行走，与其能力相当的抓握物体以及单纯的物体运动（行驶的玩具车），发现无论是否超出其运动能力，对以上3种类型的运动视频，受试婴儿感觉运动区均可产生明显的mu波抑制，该研究出现的与多数观点相反的结论，作者分析其原因为婴儿脑网络中可能天然存在非经验依赖性运动知觉机制。

3.2.3 社交行为背景对MNS的影响：最近的研究显示，mu波抑制可能与介导社交技巧有关，即对他人的行为进行观察、模仿、意图判断并作出相应反馈，这是人类日常生活中普遍存在的行为，有人提出这种社会适应性行为发生的机制是人类大脑中存在着交互行为回路[9]，以使个体行为与周围环境间产生呼应互动。Menoret在一项不使用语言的任务中，为表演者和观察者同步记录EEG，研究显示，相比非交互背景，观察方的额—中央区在交互情景（如表演者递来碟子，观察者则补充一个杯子）下，观察生物性运动（真人运动）时，其前中央区的mu波β成分的运动相关电位出现更多的抑制，而表演者的EEG也同步观察到mu波抑制，进而提出社会交往背景下的活动可引发表演者和观察者双方运动和感觉运动区相似的调节，这是由于互动中双方共享相同的目的，进而可引发相呼应的体验及表现[9]；Perry[32]的研究中，令被试者观看光点描绘的步行中的人形运动，与安慰剂相比，鼻内使用催产素（被认为是人类社会激素，参与介导执行社会任务过程中的皮质资源配置）可明显增强mu波抑制程度及范围。以上研究均支持MNS对参与社交行为的作用，为深入阐释大脑网络的个体和社会功能及其机制提供了一个崭新的思路。

3.3 MNS受抑制及功能障碍的影响因素

3.3.1 脑损伤对MNS的影响：有研究将脑损伤患者纳入观察以探讨MNS所在部位受损对MNS功能的影响。Frenkel-Toledo[33]记录33例首次脑卒中患者观看抓握动作视频时的mu抑制，发现病灶侧mu波抑制幅度明显减小，为mu波抑制作为MNS的激活标志提供了依据，也提示额—顶叶皮质受损对mu波抑制的影响；Fontana[34]的研究中，令受试观看抓握彩色物体的动作，其中物体的颜色会提示表演者下一步将抓握的物体，并记录被认为是运动准备标志的准备电位（readiness potential, RP），正常人和前运动皮质受损患者在观察前会出现明显的RP，而顶下小叶受损的患者中未观察到这样的RP，提示顶下小叶可能不仅参与镜像过程，在运动准备及学习和预判机制也有唤起和贯穿作用。

3.3.2 神经精神疾患对MNS的影响：日益增多的研究显示，MNS功能障碍可能参与孤独谱群（autism spectrum disorders, ASD）、精神分裂症、成瘾等涉及社交障碍、认知缺陷、模仿技巧损伤等心理精神行为的疾患。Palau-Baduell[35]发现，ASD个体对自身活动可产生显著mu波抑制，而对他人的运动不能发生反应。但也有研究认为ASD个体的MNS并没有缺陷。Bernier[24]的研究显示，动作观察和执行过程中，ASD和健康孩子的MNS活性并无差别，且两组中均有部分儿童在增加模仿任务难度后，其MNS活性显示出明显减退，因此提出MNS功能障碍仅与模仿能力相关。对比其他显示ASD个体存在MNS功能障碍的研究，Bernier分析认为，这些研究可能选取的是模仿相关任务，模仿能力显著下降为表现的ASD个体可能因此会被认为存在MNS缺陷，但由于模仿力并不是ASD的诊断依据，所以MNS功能障碍不能作为ASD的核心缺陷。

4 MNS研究中EEG技术的不足及展望

EEG技术是快速研究脑功能变化的重要手段之一，其蕴藏的丰富的脑电信息能较好地反应复杂神经网络的变化及调控。MNS研究中所使用的EEG可分为标准和高密度脑电图（EEG high-density EEG, HD-EEG），常规标准EEG记录主要借助于相应运动皮质的兴奋性间接研究MNS功能，因受电极数量的限制空间分辨率低，不能准确定位，因此EEG的可靠性受到了许多研究者的质疑，也有综述性文献提出关于MNS定位最精准的技术还是fMRI[36]。然而，已有越来越多的研究引入了HD-EEG进行MNS的观察[29,31,37]，HD-EEG电极帽的高密度分布可实现全脑电分析，能更好地实现脑电信号与定位的有机结合。而且，近年来随着对脑电信号的更深入认识和信号处理方法的改进，以时域分析、时频分析、小波分析、非线性动力学分析以及LORETA源定位神经网络分

析开始应用于脑电分析中,这些基于脑电信号的数学建模分析方法,可较好地反映大脑在任何选定时刻的功能状态[38]。此外,EEG结合fMRI尤其是同步化EEG-fMRI技术为目前脑功能活动研究的热点[39—40],EEG-fMRI综合了EEG的高时间分辨率和MRI的高空间分辨率的优点,利用各自的时、空优势从不同角度对脑功能活动进行研究,因此,同步化EEG-fMRI技术有可能成为将来MNS活动研究的新方向。

5 小结

利用EEG检验MNS是否激活以及激活程度,寻找调节MNS的干预方法,如Kasuga[41]的研究中使用EEG检测阳极经颅直流电刺激在运动想象任务中对运动皮质的兴奋作用,以及为脑损伤所致肢体功能障碍者脑机接口(brain-computer interfaces, BCIs)的使用提供研究依据[42],也可为感觉运动、精神心理疾患提供治疗线索。

总之,EEG这种无创、快捷的检查技术为MNS的研究提供了大量依据,在正常或心智发育异常的个体中,在更复杂的社会行为及情感体验中,在不同人群和条件下可对MNS的活动作出相对客观的评价,使我们有机会得到对MNS活动更为深刻的了解。随着人类对MNS了解的逐渐深入,已经有许多基于MNS理论的新技术新方法应用于临床实际中,因此,期待能有更多的研究手段与EEG结合以进一步探索MNS发挥临床疗效的作用机制。

参考文献

[1] di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, et al. Understanding motor events: a neurophysiological study[J]. Exp Brain Res, 1992, 91(1):176—180.

[2] Small SL, Buccino G, Solodkin A. The mirror neuron system and treatment of stroke[J]. Dev Psychobiol, 2012, 54(3): 293—310.

[3] Molenberghs P, Cunnington R, Mattingley JB. Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2012, 36(1):341—349.

[4] Gastaut HJ, Bert J. EEG changes during cinematographic presentation; moving picture activation of the EEG[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1954, 6(3):433—444.

[5] Muthukumaraswamy SD, Johnson BW, McNair NA. Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp[J]. Brain Res Cogn Brain Res, 2004, 19(2):195—201.

[6] Salmelin R, Hari R. Characterization of spontaneous MEG rhythms in healthy adults[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1994, 91(4):237—248.

[7] Niedermeyer E, Goldszmidt A, Ryan D. "Mu rhythm status" and clinical correlates[J]. Clin EEG Neurosci, 2004, 35(2): 84—87.

[8] Marshall PJ, Bar-Haim Y, Fox NA. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age[J]. Clin Neurophysiol, 2002, 113(8):1199—1208.

[9] Ménoret M, Varnet L, Fargier R, et al. Neural correlates of non-verbal social interactions: a dual-EEG study[J]. Neuropsychologia, 2014, (55):85—97.

[10] Schuch S, Bayliss AP, Klein C, et al. Attention modulates motor system activation during action observation: evidence for inhibitory rebound[J]. Exp Brain Res, 2010, 205(2): 235—249.

[11] Liao Y, Acar ZA, Makeig S, et al. EEG imaging of toddlers during dyadic turn-taking: Mu-rhythm modulation while producing or observing social actions[J]. Neuroimage, 2015, (112):52—60.

[12] Höller Y, Bergmann J, Kronbichler M, et al. Real movement vs. motor imagery in healthy subjects[J]. Int J Psychophysiol, 2013, 87(1):35—41.

[13] Drew AR, Quandt LC, Marshall PJ. Visual influences on sensorimotor EEG responses during observation of hand actions[J]. Brain Res, 2015, (1597):119—128.

[14] Cannon EN, Yoo KH, Vanderwert RE, et al. Action experience, more than observation, influences mu rhythm desynchronization[J]. PLoS One, 2014, 9(3):e92002.

[15] Hauswald A, Weisz N, Bentin S, et al. MEG premotor abnormalities in children with Asperger's syndrome: determinants of social behavior?[J]. Dev Cogn Neurosci, 2013, (5): 95—105.

[16] Arnstein D, Cui F, Keysers C, et al. μ-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices[J]. J Neurosci, 2011, 31(40):14243—14249.

[17] Braadbaart L, Williams JH, Waiter GD. Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation?[J]. Int J Psychophysiol, 2013, 89(1):99—105.

[18] Marshall PJ, Young T, Meltzoff AN. Neural correlates of action observation and execution in 14-month-old infants: an event-related EEG desynchronization study[J]. Dev Sci, 2011, 14(3):474—480.

[19] Warreyn P, Ruysschaert L, Wiersema JR, et al. Infants' mu suppression during the observation of real and mimicked goal-directed actions[J]. Dev Sci, 2013, 16(2):173—185.

[20] Lepage JF, Théoret H. EEG evidence for the presence of an action observation-execution matching system in children [J]. Eur J Neurosci, 2006, 23(9):2505—2510.

[21] Burzi V, Marchi V, Boyd RN, et al. Brain representation of action observation in human infants[J]. Dev Med Child Neurol, 2015, 57(Suppl 2):26—30.

[22] Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system[J]. Annu Rev Neurosci, 2004, (27):169—192.

[23] Fadiga L, Craighero L, Olivier E. Human motor cortex excitability during the perception of others' action[J]. Curr Opin Neurobiol, 2005, 15(2):213—218.

[24] Bernier R, Aaronson B, McPartland J. The role of imitation in the observed heterogeneity in EEG mu rhythm in autism and typical development[J]. Brain Cogn, 2013, 82(1): 69—75.

[25] Paulus M, Hunnius S, van Elk M, et al. How learning to shake a rattle affects 8-month-old infants' perception of the

rattle's sound: electrophysiological evidence for action-effect binding in infancy[J]. Dev Cogn Neurosci, 2012, 2(1):90—96.
[26] Moore A, Gorodnitsky I, Pineda J. EEG mu component responses to viewing emotional faces[J]. Behav Brain Res, 2012, 226(1):309—316.
[27] Perry A, Stein L, Bentin S. Motor and attentional mechanisms involved in social interaction--evidence from mu and alpha EEG suppression[J]. Neuroimage, 2011, 58(3):895—904.
[28] Perry A, Troje NF, Bentin S. Exploring motor system contributions to the perception of social information: Evidence from EEG activity in the mu/alpha frequency range[J]. Soc Neurosci, 2010, 5(3):272—284.
[29] Heimann K, Umiltà MA, Guerra M, et al. Moving mirrors: a high-density EEG study investigating the effect of camera movements on motor cortex activation during action observation[J]. J Cogn Neurosci, 2014, 26(9):2087—2101.
[30] Hadjidimitriou S, Zacharakis A, Doulgeris P, et al. Sensorimotor cortical response during motion reflecting audiovisual stimulation: evidence from fractal EEG analysis[J]. Med Biol Eng Comput, 2010, 48(6):561—572.
[31] Virji-Babul N, Rose A, Moiseeva N, et al. Neural correlates of action understanding in infants: influence of motor experience[J]. Brain Behav, 2012, 2(3):237—242.
[32] Perry A, Bentin S, Shalev I, et al. Intranasal oxytocin modulates EEG mu/alpha and beta rhythms during perception of biological motion[J]. Psychoneuroendocrinology, 2010, 35(10):1446—1453.
[33] Frenkel-Toledo S, Bentin S, Perry A, et al. Mirror-neuron system recruitment by action observation: effects of focal brain damage on mu suppression[J]. Neuroimage, 2014, (87):127—137.
[34] Fontana AP, Kilner JM, Rodrigues EC, et al. Role of the parietal cortex in predicting incoming actions[J]. Neuroimage, 2012, 59(1):556—564.
[35] Palau-Baduell M, Valls-Santasusana A, Salvadó-Salvadó B. Autism spectrum disorders and mu rhythm. A new neurophysiological view[J]. Rev Neurol, 2011, 52(Suppl 1):S141—146.
[36] Hamilton AF. Reflecting on the mirror neuron system in autism: a systematic review of current theories[J]. Dev Cogn Neurosci, 2013, (3):91—105.
[37] Southgate V. Do infants provide evidence that the mirror system is involved in action understanding?[J]. Conscious Cogn, 2013, 22(3):1114—1121.
[38] Blinowski G, Kamiński M, Wawer D. Trans3D: a free tool for dynamical visualization of EEG activity transmission in the brain[J]. Comput Biol Med, 2014, (51):214—222.
[39] Reese B, Habel U, Neuner I. Simultaneous EEG-fMRI measurements: insights in applications and challenges[J]. Nervenarzt, 2014, 85(6):671—679.
[40] Vitali P, Di Perri C, Vaudano AE, et al. Integration of multimodal neuroimaging methods: a rationale for clinical applications of simultaneous EEG-fMRI[J]. Funct Neurol, 2015, (1):1—12.
[41] Kasuga S, Matsushika Y, Kasashima-Shindo Y, et al. Transcranial direct current stimulation enhances mu rhythm desynchronization during motor imagery that depends on handedness[J]. Laterality, 2015, 20(4):453—468.
[42] Daly I, Faller J, Scherer R, et al. Exploration of the neural correlates of cerebral palsy for sensorimotor BCI control [J]. Front Neuroeng, 2014, (7):20.

·综述·

镜像疗法在脑卒中偏瘫患者上肢运动功能康复中应用的研究进展*

沈 芳[1] 王 晶[2] 曾 明[2,3]

脑卒中，是目前世界上导致成年人残疾的主要原因[1]。据统计我国每年新发脑卒中近200万人，现存活患者有600万—700万，而存活者约75%致残[2]。针对脑卒中后上肢运动功能障碍这一难题，众多学者研究探索了多种康复措施，其中镜像疗法（Mirror therapy, MT）是近年来国内外学者研究的热点，成为了一种具有良好应用前景的脑卒中康复治疗新方法。本文将对镜像疗法在脑卒中偏瘫患者上肢运动功能康复中的应用做简要论述。

1 镜像疗法的起源及应用领域

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.05.024
*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金资助项目（81201504）；浙江省自然基金资助项目（LY12H17004）
1 浙江中医药大学，杭州，310000；2 浙江省嘉兴市第二医院康复医学中心；3 通讯作者
作者简介：沈芳，女，硕士研究生；收稿日期：2015-03-31