

基于脑卒中后运动康复领域的运动想象的研究



许敏鹏^{1,2}, 魏泽¹ 综述 明东^{1,2} 审校

1. 天津大学 精密仪器与光电子工程学院 (天津 300072)
2. 天津大学 医学工程与转化医学研究院 (天津 300072)

【摘要】 脑卒中后造成的神经性损伤是目前导致患者运动功能性障碍的主要原因之一, 为社会和患者家庭造成巨大的精神和经济负担。运动想象易学习、成本低, 是辅助脑卒中后患者康复的重要手段之一, 对改善患者运动功能障碍、提高生活质量具有重要意义。本文主要总结运动想象对脑卒中后康复的积极作用, 概述运动想象的生理表现和理论模式、运动想象能力的影响因素、运动想象能力的评分标准, 并分析目前运动想象在辅助脑卒中后患者运动功能的康复治疗过程中存在的实验对象单一、评估方法主观化、实验设备分辨率低等缺陷, 希望帮助脑卒中后患者更加科学、有效地使用运动想象疗法。

【关键词】 脑卒中; 运动想象; 理论模式; 运动康复

Research advancements of motor imagery for motor function recovery after stroke

XU Minpeng^{1,2}, Wei Ze¹, MING Dong^{1,2}

1. School of Precision Instrument and Opto-electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, P.R.China
2. Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Tianjin University, Tianjin 300072, P.R.China

Corresponding author: MING Dong, Email: richardming@tju.edu.cn

【Abstract】 Neurological damage caused by stroke is one of the main causes of motor dysfunction in patients, which brings great spiritual and economic burdens for society and families. Motor imagery is an important assisting method for the rehabilitation of patients after stroke, which is easy to learn with low cost and has great significance in improving the motor function and the quality of patient's life. This paper mainly summarizes the positive effects of motor imagery on post-stroke rehabilitation, outlines the physiological performance and theoretical model of motor imagery, the influencing factors of motor imagery, the scoring criteria of motor imagery and analyzes the shortcomings such as the few kinds of experimental subject, the subjective evaluation method and the low resolution of the experimental equipment in the process of rehabilitation of motor function in post-stroke patients. It is hopeful that patients with stroke will be more scientifically and effectively using motor imagery therapy.

【Key words】 stroke; motor imagery; theoretical model; motor function recovery

引言

据卫生部统计, 每年首次脑卒中患者有上千万人, 且脑卒中后致残率极高^[1], 脑卒中后遗症给患者的生活质量带来严重影响, 比较常见的是偏瘫, 即患者左右半球胼胝体失衡, 导致一侧肢体不能自主运动^[2]。针对偏瘫患者的康复训练, 目前常用的方法可分为主动训练法和被动训练法^[3]。由于主动

训练法需要患者具备一定的自主运动能力, 所以虽然效果较被动训练法好, 但适用度低^[4]。有研究显示, 运动想象 (motor imagery, MI) 因其适用于脑卒中后患者康复的任意阶段, 且能够极大地帮助脑卒中后患者改善肢体的运动功能而得以推广。尤其在患者还不能够进行任何的物理治疗或参加主动训练的阶段, 可以在治疗师的指导下进行 MI 训练^[5]。由此可见, MI 可能成为适用于偏瘫复健手段中的一种高效治疗方法。

MI 是大脑演练或模仿一个指定动作且不伴随实际动作执行的心理过程^[6]。MI 最初应用对象为

DOI: 10.7507/1001-5515.201904009

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (81630051)

通信作者: 明东, Email: richardming@tju.edu.cn

运动员,通过反复想象动作以提高运动性能的准确性、缩短反应时间、强化肌肉力量等^[7]。近几年,MI逐渐应用于临床,用于辅助脑卒中患者运动功能康复。Bönstrup等^[8]研究发现,MI疗法结合传统物理疗法可以提高脑卒中患者基本的日常活动能力,由于二者针对同一神经通路的不同部分,因此复合式康复训练手段可以有效提高脑卒中患者的活动能力^[9]。虽然目前关于MI的相关理论较为完善,但仍存在实验对象单一、评估方法主观化、实验设备分辨率低等问题。

为此,本文将从MI的生理表现和理论模式、MI的影响因素和评分标准、MI的未来发展趋势三个方面概述MI及其在脑卒中后康复领域的应用,并针对MI现存问题及未来发展趋势进行分析讨论,希望帮助脑卒中后患者更加科学、有效地使用MI疗法。

1 MI的生理特征和理论模式

目前,已知同一动作的MI与实际运动执行的大脑皮层具有相似的活跃形式。这种情况不仅存在于简单的想象运动任务中(例如手指运动、手腕运动等),而且存在于特殊的想象任务中^[10]。Tong等^[11]利用不同的手部旋转角度图片作为视觉刺激,受试者根据具有旋转角度的左/右手、手心/手背图片,想象自身左/右手旋转至与图片中的“手”相同角度时,进行按键判断。经比较实际运动执行与MI实验过程中的脑电信号发现,受试者的对侧前额叶、运动前区以及额叶、顶叶、小脑、视觉皮层出现相似的激活现象。

1.1 心理神经肌肉理论

目前,学术上对MI理论模式支持最多的是心理神经肌肉理论(psychoneuro-muscular theory, PM)。基于尽管脑卒中后患者存在肢体上的缺陷,但仍可以完全或部分记住运动计划这一前提^[12],PM要求受试者提前记住运动计划,在MI和运动执行过程中重复运动计划,使运动计划在MI期间被强化。有研究发现,受试者在进行手臂弯曲、举重物这类想象动作时,肌肉收缩的量值较休息时的量值大,说明MI与神经支配下的肌肉群存在联系^[13]。后有研究人员假设,虽然MI引起的肌肉活动量值比较小,不能够产生运动,但是这种力量可以通过中枢神经系统传递到运动皮层,可以加强或者调整运动的顺序,使动作表现有所改善^[14]。脑卒中后患者可以通过MI激活部分受损脑网络,从而促进肢体的康复。相比传统的被动训练方式,该方

法与正常运动反射弧相同,符合人的兴奋传导模式,且MI中的轻微神经冲动与实际运动中的神经冲动相似,仅是强度减小。

1.2 镜像神经系统

另一种MI理论模式为镜像神经系统(mirror nervous system, MNS)。镜像神经元最早发现存在于猴子前运动皮层F5区域,是一类特殊的视觉运动神经元。Kim等^[15]发现,猴子的顶叶和额叶存在一类神经元,当猴子观察其他个体(如人类或者猴子)做某一动作时,这类神经元会存在放电(激活)的现象,研究人员称其为“镜像神经元”。神经生理学和脑成像试验显示,人类也同样存在镜像神经元,其主要存在于中央前回的下部分、额下回的后部分、顶下小叶和顶内沟内部。相关神经生理学试验从采集到的脑电图中观察到,μ节律的去同步化不仅出现在受试者活动期间,而且出现在受试者观察其他个体做相同动作时。Fründt等^[16]通过脑磁图(magnetoencephalography, MEG)等高分辨率技术同样证实了大脑皮层去同步化存在频率特异性现象。另有研究利用功能性磁共振成像技术发现初级和次级体感皮层在MI过程中存在同样的激活现象,但是这些皮层不在“镜像神经系统”中,猜测是镜像神经元触发导致的。因此,刺激镜像神经元将有助于偏瘫患者恢复行动能力。

2 MI能力的影响因素

影响脑卒中患者MI能力的因素不尽相同,包括年龄、患病周期、病变区域等。要想进行精确的MI,可以通过运动执行的精确性来预测。一些具体的影响因素包括:①病变部位。病灶不同会导致脑卒中后患者在进行MI任务的时相一致性和执行准确性也不同。有研究发现,顶叶和左侧额叶是脑卒中后患者能否进行MI的决定性脑区域,且额叶与MI的准确性和时相一致性紧密相关^[17]。Myers等^[18]发现大脑右半球中动脉支配区是处理MI的重要区域。②发病周期。不同病程、病情也是影响MI能力的重要因素。Sihvonen等^[19]发现,患病大于6个月的患者使用MI结合常规康复治疗一段时间发现,患者Furl-Meyer运动评分量表上肢部分的评分变化不明显,而患病时长小于6个月的患者在MI治疗一段时间后,发现其运动评分量表上肢部分的评分有所提高,说明上肢活动功能明显改善。早期脑卒中患者不能进行MI训练,后期患者恢复后方可进行MI训练。同时有研究发现,并非所有的脑卒中后患者均适用于MI疗法,这需

要患者对患体保留 MI 的感觉^[20]。

综上, MI 可以作为一种辅助康复方式, 适用于不同年龄脑卒中患者的各个阶段, 但年龄差异、病变位置差异以及病程长短对患者的 MI 能力影响较大。因此, 应该针对患者的具体情况制定特异性辅助治疗方案。

3 MI 能力的评估方法

脑卒中后患者虽病灶多样, 但大部分具有 MI 能力, 且经过专业的 MI 训练, 即可进行精确位置的 MI^[21]。故要想针对患者病症制定有效的 MI 治疗方案, 提高治疗效率, 评估 MI 能力就显得尤为重要。目前, 较为常见的评估 MI 的方法为问卷调查、心理旋转 (mental rotation, MR) 试验等。

3.1 问卷评估法

尽管多项研究表明, MI 可以改善健康受试者的运动功能, 但是只有少数随机对照试验评估了 MI 对脑卒中患者的影响。常见的评估 MI 能力的问卷有 3 种: ① 由 Gregg 等^[22]编制的 MI 问卷 (movement imagery questionnaire, MIQ), 该问卷主要从视觉、运动觉等共 18 个项目评估受试者的 MI 能力。该问卷需要受试者在 MI 前后进行实际运动, 并提供主观信息, 是一种过度依赖受试者报告的调查问卷形式, 所以在功能障碍人群中难以推广。② 由 Lo Monaco 等^[23]编制的 MI 生动性问卷 (vividness of motor imagery questionnaire, VMIQ), 该问卷主要评估视觉想象等 48 个项目。与 MIQ 不同的是, 受试者在 MI 前无需进行实际运动。VMIQ 要求受试者从“第一人称”和“第三人称”两个角度对 MI 能力进行分析, 以上两种问卷均很难在脑卒中后患者中推广。③ 由 Nakano 等^[24]编制的运动觉及视觉想象问卷-20 (visual imagery questionnaire-20, KVIQ-20) 及精版视觉想象问卷-10 (visual imagery questionnaire-10, KVIQ-10) 则汲取上述两种问卷的优点, 将 10 个姿势的运动觉及视觉成分分为 5 级, 受试者可实际进行这些动作, 然后立即想象做同样的动作。可精确评估受试者视觉想象的清晰度, 以受试者第一人称作为感觉依据评估 MI 强度。该问卷既适用于脑卒中后患者, 也适用于健康人; 既可用于视觉, 又可用于运动觉; 故在临床中运用较为广泛。

3.2 心理旋转法

MR 是实验室中评估 MI 精确性常用的实验范式^[25]。基于行为学、神经解剖的研究证明, MR 是指通过视觉刺激旋转到不同的方向时, 想象身体对

某个部分或肢体的模拟输出。当心理旋转涉及到身体的某一部分时, 受试者想象相应身体部分的动作。随着旋转角度递增, 难度加大, 受试者需要的响应时间会延长^[26]。有研究发现, 脑卒中患者与正常人在进行 MI 时, 准确性差异不大, 推测部分人群存在形成运动记忆的能力困难, 导致无法形成运动表征, 与脑卒中无直接关系^[27-28], 故 MI 可适当成为保留 MI 能力的脑卒中患者的一种提供训练保障的选项。

综上, 临床上通常将 KVIQ 问卷调查和 MR 测验等方式相结合来评估患者的 MI 能力, 以排除缺乏运动记忆能力、MI 准确性低的患者, 有利于为适用 MI 疗法的患者制定更为高效的运动功能恢复方案。

4 讨论

虽然大多研究认为 MI 可以作为患者脑卒中后功能康复方案的辅助方法, 但是这些研究还存在以下问题:

首先, 研究中的受试者大多为青年人或脑卒中后患者, 缺少对中老年人进行 MI 任务时神经机制的研究。大脑的生理机制与运动有着密不可分的关系, 尤其是中老年人, 他们的运动控制能力比青年人弱, 需要更多的大脑活动区域^[29]。当中老年人和青年人同时面对一个复杂运动时, 中老年人前额区和基底节区域的活动较青年人更为复杂, 况且脑卒中后患者大多为中老年人。所以, 研究中老年人进行 MI 任务时的神经机制是非常重要的。不仅如此, 未来更应该密切关注 MI 激活的脑区域与年龄的变化是否存在相关性。如若能清楚地了解中老年人进行 MI 任务时的大脑皮层活动, 不仅方便临床上针对不同脑卒中患者制定个性化治疗方案, 同时有利于 MI 辅助疗法在临床上的推广。

其次, 目前对脑卒中后患者制定 MI 辅助疗法的方案仍处于前期初步探索阶段。对 MI 能力的评估过于依赖患者主观感受。国内外关于康复训练、体育教学等方面的研究表示, MI 可以帮助运动员熟练动作、巩固记忆, 且提高运动员动作的准确性、缩短反应时间^[30]。O'Mara 等^[31]指出, 虽有相关证据证明 MI 对脑卒中后患者有恢复作用, 但评估手段缺乏客观统一的标准。因此, 建立具有普适性且严谨科学的评价方法是当前亟待解决的 MI 应用难题之一。

另外, 目前主要借助功能性神经影像学 (例如: 功能性磁共振成像技术) 研究 MI 神经学机

制,利用相关皮层的血氧饱和度对MI的认知能力进行评估。由于功能性磁共振成像时间分辨率低(秒级别),导致实际探测的是整个MI过程中局部皮层活跃区域的总和,无法对MI过程中的激活时序进行监测^[32],从而导致脑卒中后患者的运动功能干预方案受到一定的局限。此外,功能网络连接是大脑完成一项高级认知任务的主要途径,因此,在研究MI潜在机制的过程中,不仅要关注局部皮质的激活水平与振荡特点,同时也要对于脑网络的功能组织模式进行深入探究^[33]。

最后,虽然文献[34]发现MI与实际运动激活脑区有重叠,但更应该关注的是在进行MI训练时,大脑皮层运动功能区间的信息流向、脑区间功能的交互和整合作用。在深入研究MI神经机制过程中,有必要整合分析各脑区之间的协作关系以便了解进行MI任务时各脑区间的信息流向,此类问题作为研究MI神经机制的内容仍待解决。

综上所述,前述提及的问题的解决将会更加科学、有效地指导MI疗法,也更有利于辅助脑卒中后患者运动功能的康复治疗。MI疗法的突破对脑卒中后患者治疗而言是意义重大的,因为它克服了传统治疗方法上的缺陷,且易于学习和应用,可能会为脑卒中后患者带来更好的治疗方案。但缺乏大量的双盲对照试验,是否存在长期效应也未得到证实,这些均需要在未来进行进一步研究。

利益冲突声明: 本文全体作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 曾将荣. 脑卒中偏瘫患者康复护理介入时机的研究进展. 实用临床护理学电子杂志, 2018, 3(06): 185.
- 2 Yan Ruyu, Zhang Yong, Lim J, *et al.* The effect and biomechanical mechanisms of intradermal needle for post-stroke hemiplegia recovery: study protocol for a randomized controlled pilot trial. *Medicine*, 2018, 97(16): e0448.
- 3 Papadelis C, Butler E E, Rubenstein M, *et al.* Reorganization of the somatosensory cortex in hemiplegic cerebral palsy associated with impaired sensory tracts. *Neuroimage Clin*, 2018, 17: 198-212.
- 4 穆思雨, 许敏鹏, 何峰, 等. 经颅电刺激在卒中后运动康复领域的研究进展. 中国生物医学工程学报, 2018, 37(1): 106-111.
- 5 Li Fang, Zhang Tong, Li Bingjie, *et al.* Motor imagery training induces changes in brain neural networks in stroke patients. *Neural Regeneration Research*, 2018, 13(10): 1771-1781.
- 6 Byrd E M, Jablonski R J, Vance D E. Understanding anosognosia for hemiplegia after stroke. *Rehabil Nurs*, 2018.
- 7 Tacchino A, Saiote C, Bricchetto G, *et al.* Motor imagery as a function of disease severity in multiple sclerosis: an fMRI study. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11: 628.
- 8 Bönstrup M, Schulz R, Schön G, *et al.* Parietofrontal network upregulation after motor stroke. *Neuroimage Clin*, 2018, 18: 720-729.
- 9 Braun N, Krancioch C, Liepert J, *et al.* Motor imagery impairment in postacute stroke patients. *Neural Plast*, 2017: 4653256.
- 10 Nakagawa K, Masugi Y, Saito A, *et al.* Influence of motor imagery on spinal reflex excitability of multiple muscles. *Neurosci Lett*, 2018, 668: 55-59.
- 11 Tong Yanna, Pandy J T, Li W A, *et al.* Motor imagery-based rehabilitation: potential neural correlates and clinical application for functional recovery of motor deficits after stroke. *Aging Dis*, 2017, 8(3): 364-371.
- 12 Simpson E K, Ramirez N M, Branstetter B, *et al.* Occupational therapy practitioners' perspectives of mental health practices with clients in stroke rehabilitation. *OTJR (Thorofare N J)*, 2018, 38(3): 181-189.
- 13 Foysal K M R, Baker S N. A hierarchy of corticospinal plasticity in human hand and forearm muscles. *The Journal of physiology*, 2019, 597(10): 2729-2739.
- 14 Park S W, Kim J H, Yang Y J. Mental practice for upper limb rehabilitation after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Int J Rehabil Res*, 2018, 41(3): 197-203.
- 15 Kim H, Yoo E Y, Jung M Y, *et al.* The effects of mental practice combined with modified constraint-induced therapy on corticospinal excitability, movement quality, function, and activities of daily living in persons with stroke. *Disabil Rehabil*, 2018, 40(20): 2449-2457.
- 16 Fründt O, Schulz R, Schöttle D, *et al.* White matter microstructure of the human mirror neuron system is related to symptom severity in adults with autism. *J Autism Dev Disord*, 2018, 48(2): 417-429.
- 17 Romano-Smith S, Wood G, Wright D J, *et al.* Simultaneous and alternate action observation and motor imagery combinations improve aiming performance. *Psychol Sport Exerc*, 2018, 38: 100-106.
- 18 Myers P S, Mcneely M E, Pickett K A, *et al.* Effects of exercise on gait and motor imagery in people with Parkinson disease and freezing of gait. *Parkinsonism Relat Disord*, 2018, 53: 89-95.
- 19 Sihvonen A J, Särkämö T, Leo V, *et al.* Music-based interventions in neurological rehabilitation. *The Lancet Neurology*, 2017, 16(8): 648-660.
- 20 Särkämö T. Cognitive, emotional, and neural benefits of musical leisure activities in aging and neurological rehabilitation: a critical review. *Ann Phys Rehabil Med*, 2018, 61(6): 414-418.
- 21 Prochazka A. Motor neuroprostheses. *Compr Physiol*, 2018, 9(1): 127-148.
- 22 Gregg M, Hall C, Butler A. The MIQ-RS: a suitable option for examining movement imagery ability. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2010, 7(2): 249-257.
- 23 Lo Monaco M R, Laudisio A, Fusco D, *et al.* Laterality in parkinson's disease may predict motor and visual imagery abilities. *Funct Neurol*, 2018, 33(2): 106-111.
- 24 Nakano H, Kodama T, Ukai K, *et al.* Reliability and validity of the Japanese version of the kinesthetic and visual imagery questionnaire (KVIQ). *Brain Sci*, 2018, 8(5): 79.
- 25 Constantinescu M, Moore D S, Johnson S P, *et al.* Early contributions to infants' mental rotation abilities. *Dev Sci*, 2018, 21(4): e12613.
- 26 Rutherford T, Karamarkovich S M, Lee D S. Is the spatial/math connection unique? Associations between mental rotation and elementary mathematics and English achievement. *Learning and Individual Differences*, 2018, 62: 180-199.

- 27 Liepert J, Büsching I, Sehle A, *et al.* Mental chronometry and mental rotation abilities in stroke patients with different degrees of sensory deficit. *Restor Neurol Neurosci*, 2016, 34(6): 907-914.
- 28 Martini R, Carter M J, Yoxon E, *et al.* Development and validation of the movement imagery questionnaire for children (MIQ-C). *Psychol Sport Exerc*, 2016, 22: 190-201.
- 29 Zimmer P, Baumann F T, Oberste M, *et al.* Influence of personalized exercise recommendations during rehabilitation on the sustainability of objectively measured physical activity levels, fatigue, and fatigue-related biomarkers in patients with breast cancer. *Integr Cancer Ther*, 2018, 17(2): 306-311.
- 30 Evans K C, Shea S A, Saykin A J. Functional MRI localisation of central nervous system regions associated with volitional inspiration in humans. *J Physiol*, 1999, 520(2): 383-392.
- 31 O'Mara E M, Kunz B R, Receveur A, *et al.* Is self-promotion evaluated more positively if it is accurate? Reexamining the role of accuracy and modesty on the perception of self-promotion. *Self and Identity*, 2019, 18(4): 405-424.
- 32 Kleynen M, Wilson M R, Jie Lijuan, *et al.* Exploring the utility of analogies in motor learning after stroke: a feasibility study. *Int J Rehabil Res*, 2014, 37(3): 277-280.
- 33 Scott M, Taylor S, Chesterton P, *et al.* Motor imagery during action observation increases eccentric hamstring force: an acute non-physical intervention. *Disabil Rehabil*, 2018, 40(12): 1443-1451.
- 34 Yeh T T, Chang Kuchou, Wu C Y, *et al.* Effects and mechanism of the HECT study (hybrid exercise-cognitive trainings) in mild ischemic stroke with cognitive decline: fMRI for brain plasticity, biomarker and behavioral analysis. *Contemp Clin Trials*, 2018, 9: 164-171.

收稿日期: 2019-04-02 修回日期: 2019-11-20
本文编辑: 陈咏竹