

# 基于运动想象疗法的神经机制在脑卒中后运动功能障碍中的研究进展

程欣欣, 高润, 刘莉

【关键词】 运动想象(MI); 运动想象疗法(MIT); 脑卒中; 神经机制

【中图分类号】 R49; R493 【DOI】 10.3870/zgkf.2019.06.012

脑卒中是危害人类健康及生命安全的常见疾病,也是全球致残及死亡的主要原因之一。卒中患者需要长期的康复治疗,但即使在完成规范的康复治疗之后,仍有50%~60%的卒中患者会遗留不同程度的运动障碍,由于严重偏瘫的患者通常患肢没有动作输出,因此,基于常规运动训练的疗法不适用此类患者。在这种局限性条件下衍生出运动想象疗法(Motor imagery therapy, MIT)这种康复治疗技术。MIT是建立在脑功能重塑理论基础上的—种康复治疗手段,虽然MIT的基本操作简单,只需要反复运动想象(Motor imagery, MI),而无需任何肌肉活动,但实施效果参差不齐。通过功能影像学 and 神经电生理技术等脑认知科学的研究发现,病变类型及部位对MI的实施结果有重大影响。目前,关于MI在卒中后运动功能康复中的机制仍缺乏详细的研究,因此,本综述的目的是系统阐述脑卒中后运动功能的神经恢复机制。

## 1 MI的概念

Hossack早在1950年提出心理意象的概念,自20世纪90年代开始,MI开始应用于脑卒中患者<sup>[1]</sup>。MI指无任何动作输出的想象动作的执行,包括知觉MI和视觉MI,前者想象自己实际完成动作,后者则想象在看到自己完成动作。MI的理论模式目前主要有三重编码模式、生物信息理论、想象架构等,其中想象架构包含符号学习和心理神经肌肉理论,一般认为心理神经肌肉理论的解释最为有力<sup>[2]</sup>。心理神经肌肉理论是基于存储于人体中枢神经系统中的运动计划或运动“流程图”,若实际活动时所涉及的运动“流程图”和在MI时所涉及的“流程图”是相同的,则可通过MI强

化完善这一“流程图”。有研究显示<sup>[1]</sup>,MI时与运动执行时大部分脑功能激活区相似,初级运动区、基底核和小脑与实际执行该活动时激活的部位相同。由于卒中患者往往不能进行特定的动作,但如果卒中患者具有足够的认知能力来理解和执行MI任务指示,MI将成为“重新学习”如何执行患者动作的有效手段。

假设运动控制系统中的信号传导可分为4个阶段:①运动中枢产生运动信号,②运动信号在神经纤维中传导,③运动信号激活并作用于相应的肌肉,④有意识或者无意识感觉反馈在肌肉收缩后被传入大脑,终止于躯体感觉皮质。这种信号流构成运动感觉传导闭环在运动的传出阶段,获得关于运动的潜在信息,但是明确排除了运动输出。运动指令之前有一个准备阶段,机体在允许运动之前等待提示。MI对应于潜在的运动体征的神经激活,并且被认为在功能上等同于运动控制的计划与准备阶段(但不是执行阶段)<sup>[3]</sup>。这表明MI与实际运动的执行是通过类似的过程产生的<sup>[4]</sup>,并且涉及相似的大脑结构。

已有研究表明执行实际运动和MI时出现重叠的脑功能活动区,但两者各有优势功能活动区,即实际运动的优势功能活动区位于初级感觉运动皮层、顶岛盖区、小脑前部(MI时几乎无功能活动)以及运动前区后部和5区(MI时有轻度或中度功能活动);而MI的优势功能活动区则主要位于中央前回、中央沟前缘、楔前叶以及顶叶后上部。如上所述二者激活的大脑皮层区域类似,因此神经运动环路受损后,可同时导致实际运动和MI能力的损害<sup>[5]</sup>。现阶段运动想象能力的评估主要有3个实用量表,包括运动想象问卷、运动想象清晰度问卷(即运动想象问卷修订版)、动觉和视觉运动想象问卷;部分学者提出也可采用生理指标如前额肌电值、心率、手指皮肤肌电值、手掌心温度、指端血容波幅等监测想象过程<sup>[6]</sup>。

## 2 MI相关的神经机制

大量的神经影像学检查已证明,在MI任务期间

基金项目:南京市医学科技发展重点项目(ZKX17029)

收稿日期:2019-02-17

作者单位:南京医科大学附属南京脑科医院康复医学科,南京210029

作者简介:程欣欣(1989-),女,硕士研究生,主要从事中枢神经系统损伤康复的基础和临床研究。

通讯作者:刘莉,linlicao1976@163.com

激活的皮层和皮层下区域与实际运动执行中所涉及的区域基本重叠。我们简要回顾卒中后 MI 对大脑相关区域的影响以及卒中后相关的神经恢复机制,以帮助提高临床对 MI 的理解。

2.1 小脑和基底节区 通常,初级运动皮质(Primary motor cortex, M1)、辅助运动区(Supplementary motor area, SMA)以及运动前区(Premotor cortex, PMC)被认为是与运动控制相关的大脑皮质<sup>[7]</sup>,这些区域与小脑和基底节区密切联系,形成广泛的运动反馈环路系统。这些环路系统之间的调节、反馈以及控制,一直被认为是小脑的主要功能。2006年 Battaglia 等<sup>[8]</sup>在一项针对 8 例单侧小脑卒中的经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)的研究中表明,小脑后下动脉供血区缺血使运动皮层的兴奋性降低,其 MI 能力下降。2016年 Cengiz 等<sup>[9]</sup>的一项使用经颅直流电(Transcranial direct Current Stimulation, TCD)刺激小脑的研究表明,小脑病变对 MI 有抑制作用,主要通过阻止由 MI 诱导的传出信号到达延髓和骨骼肌水平实现。除了小脑外,MI 已被证明可以影响皮层下运动区域,如基底节区。早有研究表明,基底神经节损伤,特别是壳核的损伤可能会对 MI 能力产生负面影响<sup>[10]</sup>。2011年 Heremans 等<sup>[11]</sup>的研究表明帕金森(PD)患者 MI 能力降低,虽然 PD 患者黑质功能上不等同于卒中引起的基底节区损伤,但这些研究亦表明了基底神经节在 MI 中的重要性。

2.2 运动前区、辅助运动区以及前额叶区 MI 诱导的脑区激活通常涉及运动前区(PMC)和辅助运动区(SMA),此两个脑区的激活最常见于 MI 过程。大量的研究表明,PMC 和 SMA 在运动的设计、准备、执行阶段起着关键的作用<sup>[12]</sup>。一些研究发现,MI 对 SMA 激活部位与实际运动执行部位区域部分重叠,这意味着,SMA 的部分区域在 MI 中发挥着特定作用。2012年 Olsson 等<sup>[13]</sup>的一项关于脑磁图(Magnetoencephalography, MEG)的研究表明,SMA 的部分神经元抑制 MI 活动,从而阻止运动的执行。这与先前研究证实的 SMA 对 MI 有抑制作用相吻合。2015年的一项关于 10 名脑卒中患者受损和未受损大脑半球之间的有效连接的研究显示,在执行 MI 任务和实际运动过程中,SMA 抑制 MI 任务,但是,SMA 并不影响实际运动的执行<sup>[14]</sup>。MI 和运动执行在 PMC 中也发现有重叠区域,尤其是 PMC 背侧(PMCd)部分区域,已被证实在 MI 中被激活,并被认为是 MI 和运动执行的基础。尽管有关 PMC(PMCv)腹侧部的报道存在差异,但是早在 1995 年的一项研究中已表明,MI 和运动执行过程中存在 PMCv 的激活,2014 年的一项研究也证实,上

下肢的 MI 激活了 PMCv<sup>[15]</sup>。此外,对灵长类动物研究表明,PMCd 和 PMCv 在运动动作计划、准备、执行阶段起着关键作用,PMCd 与神经冲动的控制有关,它被认为限制了早期的运动启动反应,并且可能是 MI 与运动执行之间差异的一个关键因素<sup>[16]</sup>。此外,在一项关于截肢患者的 MI 研究中发现,相比于运动执行,PMCd 在 MI 中更为明显的被激活<sup>[17]</sup>。在一些神经影像学研究中发现,前额叶的认知区域在 MI 也起着重要作用。尽管前额叶区域被认为与认知过程相关。但一些研究证实,前额叶腹侧和扣带回在运动准备阶段对运动的控制有抑制作用,在另一些采用功能磁共振(fMRI)研究前额叶在 MI 任务中的作用发现,其与对熟悉或者陌生的物体的认识、想象力的出现、肌肉的同心或者离心收缩有关<sup>[18]</sup>。在卒中患者中,前额叶损伤可能会影响 MI 任务中想象的生动性<sup>[16]</sup>。然而,卒中患者中前额叶皮质与 MI 的关系应该做进一步探讨,以明确前额叶认知区域在 MI 过程中的特异性。

2.3 初级运动皮层(M1) 在近年来的研究中,MI 过程中 M1 的激活比 PMC 的激活更有争议。通常情况下,在 MI 任务期间 M1 激活被认为同其在运动执行过程中被激活相比是次要的,关于 M1 在 MI 任务中的意义的争议是由于几项存在相互矛盾的研究引起的<sup>[11]</sup>,其中一些研究表示在 MI 任务期间激活了 M1,而另外一些没有。然而,最近的研究已经坚定的支持,M1 在 MI 任务期间被激活的观点<sup>[19]</sup>。尽管,M1 在促进肌肉收缩的方面的作用机制并不十分清楚,但是在卒中后存在残余运动功能的患者中,MI 任务中 M1 的激活可能有助于运动模式的“再学习”。的确,Szameitat 等<sup>[20]</sup>得出的结论是,由于 MI 有激活 M1 的能力,所以 MI 是卒中后运动障碍患者康复训练最有效的方法。然而,一个小样本量的研究显示,对病程至少已经 8 个月的患者,MI 似乎不会显著激活同侧的 M1 区(即病灶侧的 M1),表明 MI 在直接促进运动输出方面的作用是有限的<sup>[21]</sup>。相反,2009年 Sharma 等<sup>[19]</sup>在一项关于 fMRI 研究中显示,在基于 MI 的手指-拇指对指任务中,M1 区域明确被激活。虽然,M1 在 MI 任务过程中是激活的,但是运动过程仍然是无序的,因为通常累及双侧 M1 及 PMCd 区。因此,该研究得出的结论认为,在运动功能严重受损的患者中,M1 及相关运动皮层更易受 MI 影响。

最近,有研究使用静息态 fMRI 的方法对卒中偏瘫患者的同侧 M1 与整个大脑之间的连接进行了研究,正如所预期的一样,卒中改变了运动通路的功能连接(与健康对照相比)。Zhang 等<sup>[22]</sup>的研究显示,在常规康复治疗之后进行 MI 训练,双侧的 M1 之间的功

能连接会增强,同侧的 M1 和同侧的 SMA 之间的功能连接减少,尽管缺少对照组,该研究发现 MI 训练后运动功能连接改变与 Fugl Meyer 评分之间存在显著相关性,表明功能恢复可能受益于 MI。显然,需要进一步的研究来明确 MI 任务在 M1 激活中的作用。

**2.4 顶叶皮层** 顶叶皮层在整合感觉和运动执行过程中起着重要作用,并且有强烈证据表明顶叶皮层受 MI 影响,虽然在 MI 和实际运动过程中顶叶区域都被激活,但 2000 年的一项关于 fMRI 的研究显示,在真实和想象的手部运动过程中,顶叶皮质区域的激活是有区别的<sup>[23]</sup>。在最近的一项研究中发现,后顶叶皮层 (posterior parietal cortex, PPC) 在 MI 期间比实际运动过程中更活跃<sup>[17]</sup>。此外,许多神经影像学研究已经证实,MI 诱导的 PPC 的激活,PPC 损伤后 MI 功能缺陷。诸如,顶下小叶、顶上小叶、边缘回区域也涉及 MI 任务<sup>[24]</sup>。一项 2006 年的研究强调了完整的顶叶结构对 MI 任务实施的重要性,顶叶损伤的受试者在 MI 任务的能力受损亦最严重<sup>[11]</sup>。

### 3 MI 在卒中后运动功能康复中的作用

**3.1 上肢训练** 常规的康复治疗技术如 Bobath 技术、Rood 技术、PNF 技术等,在脑卒中偏瘫患者的下肢运动功能康复中效果显著,但是在上肢的运动功能康复过程中的效果并不明显,尤其是 Brunstrom III 期患者。而 MI 通过运动神经元和运动皮层中已经存储的“运动模式”反复训练,激活大脑皮层中此类运动的特定区域,实现对动作技巧的理解和学习,从而达到提高患者上肢运动能力的目的<sup>[25]</sup>。最新的研究主要集中于 MI 与其他类型的康复治疗技术相结合,以获得最佳的功能恢复。Kim 等<sup>[26]</sup>对卒中患者采用以 MI 为基础的康复治疗与物理运动相结合的方法,得出其对上肢运动功能的恢复有益处。此外,曹克勇等<sup>[27]</sup>对卒中恢复期的研究发现,MI 与改良的镜像疗法结合时,更利于上肢的恢复,另一项研究发现,MI 与镜像视觉反馈疗法相结合,可以促进上肢功能的恢复<sup>[28]</sup>。Page 等<sup>[29]</sup>的研究发现,MI 与传统物理疗法、任务导向训练、CIMT 结合时,可明显改善上肢受损的功能,其中还指出,这些有意的变化在康复训练疗程结束后,仍将持续 3 个月以上。总而言之,这些研究结果都表明,以 MI 为基础的康复治疗方案与各种常规治疗联合使用时对卒中康复是有益的,尽管目前尚未制定出最佳的治疗方案。虽然,以 MI 为基础的研究越来越热门,但是关于最佳有效治疗时间的研究仍较少。Page 等<sup>[29]</sup>的一项研究通过给予 29 例轻度偏瘫受试者 20、40、60 min MI 任务,来证明其最佳有效时间,结

果发现 60 min MI 组的康复效果显著。但是,一项大样本的随机对照试验显示,在卒中后 6 个月内的患者未能得出相应的结论<sup>[30]</sup>。然而,Cochrane<sup>[31]</sup>的研究表明,临床医生可能会使用 MIT 提高卒中后上肢的功能,只是因为没有更多的证据阐明 MI 的副作用或者不利作用。

**3.2 下肢训练** 脑卒中后肢体肌力、肌张力、运动模式异常、肌群不能协调等导致患者下肢运动功能下降,究其原因为脑部产生神经冲动的神经元或神经传导通路受损,对下级运动神经元的调控出现障碍<sup>[32]</sup>。大量的康复治疗可通过大脑皮质功能重组、轴突发芽、树突再生、改变突触传递效率等途径促进机体脑功能重塑。而 MI 通过在大脑中反复想象某种动作或情境,可诱发和增强来自外周感受器的感觉信息输入以及来自大脑中枢神经冲动信息传出,促进潜伏神经传导通路及休眠突触活化,加速神经系统重塑及功能重组,降低脑卒中神经功能残损程度。大量的研究支持将 MI 应用于步态恢复中。2008 年,Dunsky 等<sup>[33]</sup>对脑卒中患者进行步行 MI 训练,结果显示治疗后患者步行速度、跨步长、步频明显提高,患侧肢体单支撑期延长而双支撑期缩短。2016 年,徐立伟等<sup>[34]</sup>研究发现强化 MI 可改善脑卒中偏瘫患者下肢步行和生活能力。就像以 MI 为基础的上肢研究一样,近年来的研究集中于将 MI 与其他康复治疗技术结合使用,以达到最大限度的恢复。2015 年 Bae 等<sup>[35]</sup>的一项研究中将 MI 与常规的平衡训练相结合发现,与常规的平衡训练相比,平衡训练结合 MI 能明显的改善步行功能。2016 年 Kumar 等<sup>[36]</sup>动态研究了卒中后偏瘫患者 MI 训练对其肌力和步态恢复的影响,实验组患者除了任务导向训练外每天接受 30 min 的基于 MI 的下肢肌力训练,结果显示实验室组患者的步行速度和测试的肌力更显著增强,在其后的 6 周随访中,MI 训练对步行能力的影响持续存在。

### 4 结论及展望

近十年来,一些新的康复治疗技术已经逐渐应用于临床,如强迫性运动疗法、机器人辅助治疗、TMS、镜像疗法等,由于患者自身肢体功能、治疗成本等原因限制了这些治疗方法的广泛应用,而 MIT 不需要特殊设备、场地、入选标准低、不依赖于患者的残存能力又与患者的主动运动相关,相对于传统的卒中后康复,MI 在有效性、无创性及经济适用性方面存在明显的优势。在得到一些指导后,患者可以在家进行训练。此外,MI 可用于卒中康复的各个阶段,即使在弛缓性瘫痪状态下,患者也可以开始训练<sup>[37]</sup>。

尽管国内外研究都证明 MIT 能改善脑卒中患者的运动功能,但这些临床研究之间的差异性较大,比如在卒中类型、卒中阶段、病程选择、干预持续的时间及频率、MI 训练内容等方面尚未形成统一规范的模式,对脑卒中运动康复工作的临床指导意义比较局限。因此,仍需要更多规范的、科学的、大样本的临床研究来加以验证,为 MI 的有效性提供更好的理论依据。

### 【参考文献】

- [1] 吉沛,李耀扬,国华,等.运动疗法对脑卒中后肢体运动功能障碍的效果[J].实用临床医学,2014,15(4):35-36.
- [2] 丛壮,郝春艳,石素宁,等.运动想象疗法结合音乐治疗对脑卒中偏瘫患者上肢功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2015,37(3):196-198.
- [3] 张有超,李斌,范录平,等.早期介入运动想象疗法对急性脑卒中偏瘫患者下肢运动能力及日常生活活动能力的影响[J].临床神经病学杂志,2016,29(4):296-298.
- [4] Manga AL, Pirini M, Cappello A. A feasibility study of an improved procedure for using EEG to detect brain responses to imagery instruction in patients with disorders of consciousness[J]. PLoS One,2014, 9(6): e99289.
- [5] 胡永新,王强.运动想象疗法在脑卒中患者康复中的应用[D].青岛:青岛大学康复医学院,2010:1-59.
- [6] 刘华,张玉,宋鲁平,等.脑卒中患者运动想象能力的评估及影响因素[J].中华物理医学与康复杂志,2014,36(8):652-654.
- [7] 王莉,郑小林.应用脑功能成像技术研究脑卒中运动想象疗法神经康复机制[D].重庆,重庆大学工程学院,2015:1-119.
- [8] Battaglia F, Quartarone A, Rizzo V, et al. Unilateral cerebellar stroke disrupts movement preparation and motor imagery[J]. Clin Neurophysiol, 2006,117(5): 1009-1016.
- [9] Cengiz B, Boran HE. The role of the cerebellum in motor imagery[J]. Neurosci Lett, 2016,617: 156-159.
- [10] 叶靓,叶祥明,陶丹红,等.音乐治疗对卒中后抑郁伴左侧基底节失语的康复效果[J].中国康复理论与实践,2017,23(3):330-333.
- [11] Heremans E, Feys P, Nieuwboer A, et al. Motor imagery ability in patients with early- and mid-stage Parkinson disease[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2011,25(2): 168-177.
- [12] Tong Y, Pandy JT Jr, Li WA, et al. Imagery-Based Rehabilitation: Motor Potential Neural Correlates and Clinical Application for Functional Recovery Deficits after Stroke[J]. Motor of Aging Dis,2017,8(3):364-371.
- [13] Di Rienzo F, Guillot A, Daligault S, et al. Motor inhibition during motor imagery: a MEG study with a quadriplegic patient[J]. Neurocase, 2015,20(5): 524-539.
- [14] Bajaj S, Butler AJ, Drake D, Dhamala M, et al. Brain effective connectivity during motor-imagery and execution following stroke and rehabilitation [J]. Neuroimage Clin,2015,28(8): 572-582.
- [15] Mizuguchi N, Nakata H, Kanosue K, et al. Effector-independent brain activity during motor imagery of the upper and lower limbs: an fMRI study [J]. Neurosci Lett, 2014,581: 69-74.
- [16] Duque J, Labruna L, Verset S, et al. Dissociating the role of prefrontal and premotor cortices in controlling inhibitory mechanisms during motor preparation[J]. J Neurosci, 2012,32(3): 806-816.
- [17] Raffin E, Mattout J, Reilly KT, et al. Disentangling motor execution from motor imagery with the phantom limb[J]. Brain,2012, 135(2): 582-595.
- [18] Kim YK, Park E, Lee A, et al. Changes in network connectivity during motor imagery and execution[J]. PLoS One,2018,13(1):e0190715.
- [19] Park CH, Chang WH, Lee M, et al. Predicting the performance of motor imagery in stroke patients: multivariate pattern analysis of functional MRI data[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2015,29(3): 247-254.
- [20] Szameitat AJ, Shen S, Conforto A, et al. Cortical activation during executed, imagined, and passive wrist movements in healthy volunteers and stroke patients[J]. Neuroimage, 2012,62(1): 266-280.
- [21] Stinear CM, Fleming MK, Barber PA, et al. Lateralization of motor imagery following stroke[J]. Clin Neurophysiol, 2007,118(8): 1794-1801.
- [22] Zhang Y, Liu H, Wang L, et al. Relationship between functional connectivity and motor function assessment in stroke patients with hemiplegia: a resting-state functional MRI study[J]. Neuroradiology, 2016,58(5): 503-511.
- [23] 孙莉敏,尹大志,吴毅,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):1217-1222.
- [24] 邵方方,尹大志,贾杰,等.皮质下脑卒中运动想象有关脑区功能连接的影像[J].中国康复医学杂志,2016,31(2):133-139.
- [25] 夏秋容,顾志娥,凡国华,等.运动想象训练对脑卒中偏瘫患者上肢促分离运动的影响[J].中国康复,2016,31(1):35-37.
- [26] Hafeez A, Elmadhoun O, Peng C, et al. Reduced Apoptosis by Ethanol and Its Association with PKC-delta and Akt Signaling in Ischemic Stroke [J]. Aging Dis, 2014,5(6): 366-372.
- [27] 曹克勇,祝腊香,王其勋,等.镜像疗法结合运动想象疗法对脑卒中偏瘫患者上肢功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2018,6(40):418-420.
- [28] 侯红,伊文超,吴玉霞,等.镜像视觉反馈疗法在脑卒中早期偏瘫患者上肢训练中的应用[J].中国康复,2015,30(6):418-419.
- [29] Page SJ, Dunning K, Hermann V, et al. Longer versus shorter mental practice sessions for affected upper extremity movement after stroke: a randomized controlled trial[J]. Clin Rehabil, 2011,25(7): 627-637.
- [30] Ietswaart M, Johnston M, Dijkerman HC, et al. Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy[J]. Brain,2011, 134(5): 1373-1386.
- [31] Cervera MA, Soekadar SR, Ushiba J, et al. Brain-computer interfaces for post-stroke motor rehabilitation: a meta-analysis. Ann Clin Transl Neurol, 2018,5(5):651-663.
- [32] 王鹏,马朝阳,张婷,等.运动想象疗法对脑卒中偏瘫患者步行能力的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2011,36(5):353-356.
- [33] Dunskey A, Dickstein R, Marcovitz E, et al. Home-based motor imagery training for gait rehabilitation of people with chronic poststroke hemiparesis[J]. Arch Phys Med Rehabil,2008,89(8):1580-1588.
- [34] 徐立伟,胡志,杨新波,等.强化运动想象疗法对脑卒中偏瘫患者步行的影响与机制研究[J].中国康复,2016,31(5):345-348.
- [35] Bae YH, Ko Y, Ha H, et al. An efficacy study on improving balance and gait in subacute stroke patients by balance training with additional motor imagery: a pilot study[J]. J Phys Ther Sci,2015,27(10): 3245-3248.
- [36] Kumar VK, Chakrapani M, Kedambadi R, et al. Motor Imagery Training on Muscle Strength and Gait Performance in Ambulant Stroke Subjects-A Randomized Clinical Trial[J]. J Clin Diagn Res, 2016,10(3): YC1-4.
- [37] 谢立娟,王建华,田素斋,等.基于运动想象的康复指导在脑卒中偏瘫患者中的应用[J].中华现代护理杂志,2016,26(22):3766-3768.