

·综述·

## 运动想象与动作观察在认知康复中的潜在应用价值\*

刘雯鹭<sup>1</sup> 丁宁<sup>1</sup> 张翠翠<sup>1</sup> 王心雨<sup>1</sup> 解益<sup>1</sup> 董安琴<sup>1,2</sup>

认知缺陷是中枢神经疾病的一种常见症状,多见于脑外伤、脑卒中和神经系统退行性病变等人群。认知缺陷不仅影响肢体运动功能康复的效果,而且是导致患者自我照顾及活动参与能力丧失的首要原因之一,因此,认知功能康复在神经康复领域十分重要<sup>[1]</sup>。运动想象(motor imagery, MI)一直被视为是认知运动过程的窗口,它是一种能激活大脑感觉运动区域的行为,它可以激活与实际运动(运动执行)相同的大脑区域<sup>[2]</sup>。动作观察(action observation, AO)则是利用镜像神经元系统来激活运动共振机制发挥效应<sup>[3]</sup>。两者均可激活大脑皮层运动区的神经单元,对患者的运动行为与运动表现产生积极的、可持续性的影响<sup>[4]</sup>。然而,MI与AO仅用于运动功能康复,其在认知康复领域的应用并未得到推广,缺乏临床证据。本文将通过分析MI与AO神经机制,进而探究两者对认知功能可能产生的作用机制,为中枢神经损伤后认知障碍康复提供一种全新的治疗理念与技术。

### 1 认知康复

认知是指人脑接收外界信息,经过加工处理,转换成内在心理活动,从而获取知识或运用知识的过程。认知障碍涉及的范围较广,包括注意力、记忆力、理解力、计算力、解决问题能力等缺陷。

认知属于高级脑功能活动,与多个大脑皮层或区域存在联系。Teffer等<sup>[5]</sup>发现前额叶与注意力的维持有关。人类的前额叶皮层区域直到青春期才完全成熟,行为证据表明,这些区域对于后期发展的高级认知功能至关重要<sup>[6]</sup>。前额叶皮层在高阶控制过程中也发挥着重要作用,这些过程对认知和行为进行自上而下的调节<sup>[7]</sup>。Petrides<sup>[8]</sup>认为,前额叶皮层之间的结构差异,决定其细胞结构及其独特的连接,以及大脑皮层和皮层下的结构,表明该区域涉及不同方面的高级认知过程与行为控制的功能。研究强调,通过刺激皮层与皮层活动间相互作用,可以积极影响神经损伤导致的认知障碍患者的认知水平,提高其康复潜力<sup>[1]</sup>。运动想象和动作观察被报道可以触发神经认知机制,通过持续刺激镜像神经元,提高

神经通路可塑性,改善工作记忆和注意力的维持<sup>[9]</sup>。

### 2 镜像神经元系统

镜像神经系统(mirror-neuron system, MNS)是一个复杂的脑神经网络,包含的区域众多。有观点称MNS可能包含整个大脑区域,而不止是某个区域,它是一种固有机制<sup>[10]</sup>。镜像神经元的最早提出源于1996年Rizzolatti等在用钨电极记录猴子在执行从桌子上摆放或拿取物体、从实验者手里拿取食物、操纵物体等动作时运动前皮层(F5区)神经元放电情况。研究发现,猴子在观察实验者执行相同动作时,一些特殊神经元同样被激活,这类神经元能像镜子一样映射其他同类的动作,因而称之为镜像神经元(mirror neurons)<sup>[11]</sup>。这些具有镜像性质的神经元组成了镜像神经元系统。大量实验表明,人脑中主要存在两个镜像网络,分别称为顶额镜像系统和边缘镜像系统,前者由Broca区、前运动皮层腹侧、中央前回下部、额下回后部及顶下小叶吻侧等构成,后者由脑岛、杏仁核、前额叶皮层等构成<sup>[12]</sup>。

镜像神经元系统不仅在个体执行动作时兴奋,而且在观察其他同类执行相同或相似的动作时也会兴奋,基于MNS这个神经生理学特点,Pomeroy等<sup>[13]</sup>提出镜像神经元系统可能对促进脑卒中后患侧上肢功能的恢复有重要影响。Small等<sup>[14]</sup>证实了镜像神经元系统在动作理解和模仿中的作用,包括手部运动和言语表达,建议将动作观察和模仿作为脑卒中后上肢运动障碍及失语症的康复训练方法。动作观察和运动想象均是基于镜像神经元系统的康复治疗方法,在神经康复中具有重要的潜在价值。

### 3 运动想象

运动想象是一种涉及认知的动态心理表现形式,是指在不引起任何明显的运动或肌肉收缩的情况下对动作的心理执行过程<sup>[3]</sup>。在这个动态状态中,运动的表现是内在激活形式,受试者想象自己在执行一个动作,包括模拟动作的视觉和运动方面,却没有任何动作输出<sup>[15]</sup>。研究表明,运动想象

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.03.023

\*基金项目:河南省医学教育研究项目(wjlx2018063);国家重点研发计划(2018YFC2002304)

1 郑州大学第五附属医院,河南省郑州市,450052; 2 通讯作者

第一作者简介:刘雯鹭,女,硕士研究生; 收稿日期:2020-10-22

激活的大脑皮层区域包括前额叶皮层区(prefrontal cortex)、初级运动区、前运动皮层、辅助运动区、前扣带回、顶上小叶和顶下小叶、楔前叶、基底节和小脑等<sup>[16]</sup>。运动想象与动作执行和动作观察共同激活前额叶皮层区,除了在皮层激活方面的重叠外,在行为领域也有相似之处。例如,完成一个想象的动作所需的时间与实际执行该动作所需的时间是相似的,这被称为“心理等时现象”<sup>[17]</sup>。

运动想象可以分为两种,一种是动觉运动想象(又称内部想象),另一种是视觉运动想象(又称外部想象)。用来想象的视角可以是第一人称,也可以是第三人称<sup>[18]</sup>。在动觉运动想象过程中,受试者会将自已融入想象的生活情境中,感觉他或她自己是在该情境中执行这个动作的人,亲身体验自己在那个情境中的感觉,出现第一人称视角所有的感官结果,是一种动态的过程。在视觉运动想象中,受试者以旁观者(第三人称视角)的身份观察自己的身体或另一个人在远处执行这个动作,是一种静态的过程。第一视角与左顶下小叶和左侧躯体感觉皮层的活动增强有关,而第三人称视角则激活了右顶下小叶、扣带回后部和额极皮层<sup>[19]</sup>。研究发现动觉运动想象比视觉运动想象对学习更为有效<sup>[20]</sup>。

#### 4 动作观察

动作观察也是一个认知过程,是指通过观察他人的行为,理解、选择和模仿行为的形式和动作<sup>[21]</sup>。观察他人的动作可以激活大脑中执行该动作的同一个神经区域,动作观察的神经生理学基础主要为镜像神经元系统。Fadiga等<sup>[22-23]</sup>在一项经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)研究中首次证明了人类大脑皮层存在MNS,动作观察可激活脑部特定区域的MNS,由镜像神经元发出信号到运动系统中形成“共振”,这种运动的“共振”可以通过对运动通路的易化作用来促进观察者理解动作的意图,进而有效促进运动技能的学习和获得。动作观察在运动再学习过程中发挥重要作用,其不仅可以促进运动系统的启动,而且可以促进动作的执行能力。

MI与AO均已被证实能够有效促进中枢神经损伤患者的肢体运动功能恢复,但仍缺乏两者在认知障碍康复的临床证据。那么,这两种治疗技术与认知功能是否存在关联呢?

#### 5 镜像神经元系统与认知

动作理解是一系列快速认知过程的结果<sup>[24]</sup>。如果镜像神经元参与了动作理解,即使看不到正在发生的动作,但有足够的线索来创建受试者执行动作时心理表征的放电情况。研究者在两种基本条件下对这些神经元进行了测试。Rizzolatti与Giacomo设计了两个实验,在其中一个实验中,实验者向猴子展示了一个指向物体的完全可见的动作(称作

“完全视觉”状态);在另一个实验中,猴子看到了同样的动作,但最后一个关键部分被隐藏起来(称作“隐藏状态”)。结果显示,50%以上的猴子的被测神经元在隐藏状态下放电,大约50%的猴子在隐藏和完全视觉条件下的反应强度没有任何差异。该实验表明,镜像神经元的活动与动作理解相互关联,受试者对观察到的行为的理解决定了隐藏条件下的放电情况<sup>[25]</sup>。因此,镜像神经系统涉及动作理解及其背后的意图,是观察性学习机制的基础。研究表明,颞中回或颞中回上部可能在目标定向行为(例如具有一定复杂性的上肢运动)中对运动知觉和各种相关认知功能具有改善作用<sup>[26]</sup>。另有学者认为,顶下小叶镜像神经元可能因为参与编码受试者的意图而具有特定的认知改善作用<sup>[27]</sup>。

#### 6 运动想象与认知

为了阐明MI是否可以增强认知功能和相关的大脑活动,Moriya等人使用近红外线评估了正常人在执行工作记忆期间,MI对工作记忆性能和前额叶皮层的影响<sup>[28]</sup>。试验组受试者进行3次为期3min的运动想象训练,与对照组相比,MI不仅显著增加了运动记忆任务所诱导的前额叶皮层区的激活范围与强度,而且改善了受试者工作记忆任务的行为表现。在运动想象训练结束后,受试者的反应更快。这些发现表明,MI可以通过增加与工作记忆表现相关的前额叶皮层区活性,进而改善正常成年人的认知水平<sup>[28]</sup>。

运动想象已被证明激活了各种与运动相关的大脑皮层,Naito等<sup>[29]</sup>提出被激活的皮层运动区可能与记忆提取的过程有关。神经成像技术的研究发现,记忆力的恢复可能依赖于运动皮层的重新激活<sup>[30]</sup>,且运动想象改善记忆力的效果比视觉想象更佳<sup>[31]</sup>。由此推断,运动想象可以更有效地改善工作记忆。Dietrich<sup>[32]</sup>发现运动想象可以激活前额叶皮层,前额叶皮层兴奋信号可以选择性增强视觉皮层中特定的神经元,并抑制处理其他刺激的神经元活动进而调节注意力的分配。这些兴奋信号可能包括特定的感觉输入(注意)、记忆(回忆)、运动输出(反应选择),由此推断前额叶皮层可以选择执行任务所需要的特定神经通路。对啮齿动物的研究发现,前额叶皮层内侧与视觉辨别、学习、反应选择相关<sup>[33]</sup>。Stoter等<sup>[34]</sup>认为运动想象可以提高顺序记忆表现,这种积极影响效果与重复任务模式相似,且不受年龄的影响。此外,运动想象已被证实可以改善联想记忆<sup>[35]</sup>,在经典轨迹记忆策略(记忆宫殿)中同样需要运动想象的调动和参与<sup>[36]</sup>。另有学者提出,前额叶皮层具有“监督”注意力保持的作用,尤其在执行非惯例性、需要持续监督以制定适当行动计划的任务时<sup>[33]</sup>。

#### 7 动作观察与认知

动作观察是基于一种运动共振机制,即当受试者观察到



与记忆提取的过程紧密相关,此外,该技术具有激活前额叶皮层调节注意力的作用。动作观察所激活的顶上、下小叶,以及颞上回与前额叶背外侧与认知功能相关,故被认为能够改善认知功能。动作观察和运动想象的过程均有枕叶-颞叶-额叶大脑皮层回路参与,该回路对认知的改善很重要。

尽管AO和MI在认知功能障碍的应用较为罕见,其对认知康复的效果仍缺少循证医学证据,但是基于两者激活的特定脑部区域与认知功能的相关性,以及其促进脑卒中患者运动再学习的神经作用机制,它们可能是一种非常具有应用价值和潜力的康复干预手段,两者的联合运用或将在认知康复领域具有广阔的前景。

### 参考文献

- [1] Messinis L, Kosmidis MH, Nasios G, et al. Cognitive neurorehabilitation in acquired neurological brain injury[J]. Behav Neurol, 2019, 2019:8241951.
- [2] Moran A, O'Shea H. Motor imagery practice and cognitive processes[J]. Front Psychol, 2020, 11:394.
- [3] Maier M, Ballester BR, Verschure PFMJ. Principles of neurorehabilitation after stroke based on motor learning and brain plasticity mechanisms[J]. Front Syst Neurosci, 2019, 13:74.
- [4] Romano Smith S, Wood G, Coyles G, et al. The effect of action observation and motor imagery combinations on upper limb kinematics and EMG during dart-throwing[J]. Scand J Med Sci Sports, 2019, 29(12):1917—1929.
- [5] Teffer K, Semendeferi K. Human prefrontal cortex: evolution, development, and pathology[J]. Prog Brain Res, 2012, 195:191—218.
- [6] Chugani HT, Phelps ME, Mazziotta JC. Positron emission tomography study of human brain functional development[J]. Ann Neurol, 1987, 22:487—497.
- [7] Badre D, Nee DE. Frontal cortex and the hierarchical control of behavior[J]. Trends Cogn Sci, 2018, 22(2):170—188.
- [8] Petrides M. Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization[J]. Philos Trans R Soc B Biol Sci, 2005, 360(1456):781—795.
- [9] Apriglio D, Tanaka GK, Bittencourt J, et al. Dopaminergic drugs alter beta coherence during motor imagery and motor execution in healthy adults[J]. Arq Neuropsiquiatr, 2020, 78(4):199—205.
- [10] 胡晓晴, 傅根跃, 施臻彦. 镜像神经元系统的研究回顾及展望[J]. 心理科学进展, 2009, 17(1):118—125.
- [11] Errante A, Di CG, Pinardi C, et al. Mirror neuron system activation in children with unilateral cerebral palsy during observation of actions performed by a pathological model[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2019, 33(6):419—431.
- [12] Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system[J]. Annu Rev Neurosci, 2004, 27:169—192.
- [13] Pomeroy VM, Clark CA, Miller JSG, et al. The potential for utilizing the “mirror neuron system” to enhance recovery of the severely affected upper limb early after stroke: a review and hypothesis[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2005, 19(1):4—13.
- [14] Small SL, Buccino G, Solodkin A. The mirror neuron system and treatment of stroke[J]. Dev Psychobiol, 2012, 54(3):293—310.
- [15] Bruton AM, Holmes PS, Eaves DL, et al. Neurophysiological markers discriminate different forms of motor imagery during action observation[J]. Cortex, 2020, 124:119—136.
- [16] Hardwick RM, Caspers S, Eickhoff SB, et al. Neural correlates of action: comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2018, 94:31—44.
- [17] Parsons LM. Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging[J]. Acta Psychol, 2001, 107(1—3):155—181.
- [18] Vogt S, Di Rienzo F, Collet C, et al. Multiple roles of motor imagery during action observation[J]. Front Hum Neurosci, 2013, 7:807.
- [19] Ruby P, Decety J. What you believe versus what you think they believe: a neuroimaging study of conceptual perspective taking[J]. Eur J Neurosci, 2003, 17(11):2475—2480.
- [20] Linquist B. Motor learning concepts and applications[J]. Pedi Phys Ther, 2002, 14(1):57—58.
- [21] Buchignani B, Beani E, Pomeroy V, et al. Action observation training for rehabilitation in brain injuries: a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Neurol, 2019, 19(1):344.
- [22] Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, et al. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study[J]. J Neurophysiol, 1995, 73(6):2608—2611.
- [23] Urgesi C, Candidi M, Fabbro F, et al. Motor facilitation during action observation: topographic mapping of the target muscle and influence of the onlooker's posture[J]. Eur J Neurosci, 2006, 23(9):2522—2530.
- [24] Ge S, Wang P, Liu H, et al. Neural activity and decoding of action observation using combined EEG and fNIRS measurement[J]. Front Hum Neurosci, 2019, 15(13):357.
- [25] Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system[J]. Annu Rev Neurosci, 2004, 27:169—192.
- [26] Oh H, Braun AR, Reggia JA, et al. Fronto-parietal mirror neuron system modeling: visuospatial transformations support imitation learning independently of imitator perspective[J]. Hum Mov Sci, 2019, 65(17):30942—30949.
- [27] Simos PG, Kavroulakis E, Maris T, et al. Neural foundations of overt and covert actions[J]. Neuroimage, 2017, 152:482—496.

- [28] Moriya M, Sakatani K. Effects of motor imagery on cognitive function and prefrontal cortex activity in normal adults evaluated by NIRS[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2017, 977: 227—231.
- [29] Naito E, Kochiyama T, Kitada R, et al. Internally simulated movement sensations during motor imagery activate cortical motor areas and the cerebellum[J]. *J. Neurosci*, 2002, 22(9):3683—3691.
- [30] Madan CR, Singhal A. Motor imagery and higher-level cognition: four hurdles before research can sprint forward [J]. *Cogn Process*, 2012, 13(3):211—229.
- [31] Lee WH, Kim E, Seo HG, et al. Target-oriented motor imagery for grasping action: different characteristics of brain activation between kinesthetic and visual imagery[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1):12770.
- [32] Dietrich A. Imaging the imagination; the trouble with motor imagery[J]. *Methods*, 2008, 45(4):319—324.
- [33] Ebbesen CL, Insanally MN, Kopec CD, et al. More than just a "motor": recent surprises from the frontal cortex[J]. *J Neurosci*, 2018, 38(44):9402—9413.
- [34] Stoter AJ, Scherder EJ, Kamsma YP, et al. Rehearsal strategies during motor-sequence learning in old age: execution vs motor imagery[J]. *Percept Mot Skills*, 2008, 106(3): 967—978.
- [35] Madan CR, Glaholt MG, Caplan JB, et al. The influence of item properties on association-memory[J]. *J Mem Lang*, 2010, 63(1):46—63.
- [36] Simone L, Bimbi M, Rodà F, et al. Action observation activates neurons of the monkey ventrolateral prefrontal cortex[J]. *Sci Rep*, 2017, 14(7):44378.
- [37] Mizuguchi N, Kanosue K. Changes in brain activity during action observation and motor imagery: their relationship with motor learning[J]. *Prog Brain Res*, 2017, 234: 189—204.
- [38] Ptak R, Schnider A. Disorganised memory after right dorsolateral prefrontal damage[J]. *Neurocase*, 2004, 10(1):52—59.
- [39] Miniussi C, Cappa SF, Cohen LG, et al. Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation/transcranial direct current stimulation in cognitive neurorehabilitation[J]. *Brain Stimul*, 2008, 1(4):326—336.
- [40] Deldar Z, Rustamov N, Bois S, et al. Enhancement of pain inhibition by working memory with anodal transcranial direct current stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex[J]. *J Physiol Sci*, 2018, 68(6):825—836.
- [41] Caligiore D, Mustile M, Fineschi A, et al. Action observation with dual task for improving cognitive abilities in Parkinson's disease: a pilot study[J]. *Front Syst Neurosci*, 2019, 13:7.
- [42] Kim JH, Chung EJ, Lee BH. A study of analysis of the brain wave with respected to action observation and motor imagery: a pilot randomized controlled trial[J]. *J Phys Ther Sci*, 2013, 25(7):779—782.
- [43] Oh H, Braun AR, Reggia JA, et al. Fronto-parietal mirror neuron system modeling: visuospatial transformations support imitation learning independently of imitator perspective[J]. *Hum Mov Sci*, 2019, 65:121—141.
- [44] Courtney SM, Petit L, Haxby JV, et al. The role of prefrontal cortex in working memory: examining the contents of consciousness[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 1998, 353(1377):1819—1828.
- [45] Cengiz B, Vurallı D, Zinnuroğlu M, et al. Analysis of mirror neuron system activation during action observation alone and action observation with motor imagery tasks[J]. *Exp Brain Res*, 2018, 236(2):497—503.
- [46] Sun Y, Wei W, Luo Z, et al. Improving motor imagery practice with synchronous action observation in stroke patients[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2016, 23(4):245—253.
- [47] Ono Y, Wada K, Kurata M, et al. Enhancement of motor-imagery ability via combined action observation and motor-imagery training with proprioceptive neurofeedback[J]. *Neuropsychologia*, 2018, 114:134—142.
- [48] Filimon F, Nelson JD, Hagler DJ, et al. Human cortical representations for reaching: mirror neurons for execution, observation, and imagery[J]. *NeuroImage*, 2007, 37(4): 1315—1328.
- [49] Caspers S, Zilles K, Laird AR, et al. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain[J]. *NeuroImage*, 2010, 50(3):1148—1167.
- [50] Eaves DL, Behmer LP, Vogt S, et al. EEG and behavioural correlates of different forms of motor imagery during action observation in rhythmical actions[J]. *Brain Cogn*, 2016, 106:90—103.
- [51] Burgess PW, Dumontheil I, Gilbert SJ. The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function[J]. *Trends Cogn Sci*, 2007, 11(7):290—298.
- [52] Bruton AM, Holmes PS, Eaves DL, et al. Neurophysiological markers discriminate different forms of motor imagery during action observation[J]. *Cortex*, 2020, 124:119—136.
- [53] Pinter MM. Rehabilitation in stroke patients: focusing on the future[J]. *Hamdan Med J*, 2015, 212(3256):1—10.
- [54] Oostra KM, Van Bladel A, Vanhoonaeker ACL, et al. Damage to fronto-parietal networks impairs motor imagery ability after stroke: a voxel-based lesion symptom mapping study[J]. *Front Behav Neurosci*, 2016, 10:5.
- [55] McInnes K, Friesen C, Boe S. Specific brain lesions impair explicit motor imagery ability: a systematic review of the evidence[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2016, 97(3): 478—489.