

# 基于镜像神经元理论的动作观察疗法在脑卒中康复的应用

陈芳婷<sup>1</sup>, 欧建林<sup>2</sup>, 王冉<sup>1</sup>, 廖维靖<sup>1</sup>

【关键词】 脑卒中; 镜像神经元; 动作观察疗法; 康复

【中图分类号】 R49; R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2021.09.013

脑卒中是常见的全球健康问题,具有高发病率、高致残率、高死亡率、高复发率等特点,被认为是“人类健康的杀手”<sup>[1]</sup>。大多数卒中幸存者都遗留有不同程度的功能障碍,如运动、言语、认知、吞咽障碍等,严重影响患者的生活质量。近年来,镜像神经元(mirror neurons, MN)的发现及其衍生出的治疗技术为康复医学领域带来了新的机遇与挑战。

## 1 镜像神经元理论概述

1.1 镜像神经元的发现 上个世纪 90 年代,意大利帕尔马大学的研究人员采用“单细胞记录技术”发现了镜像神经元,并将其定位于恒河猴的腹侧前运动皮层(F5 区)<sup>[2]</sup>。随后证明,它们也存在于顶下小叶中<sup>[3]</sup>。镜像神经元是一类具有特殊映射功能的视觉运动神经元,在个体执行特定动作及观察其他个体执行类似动作时都会兴奋,分布在大脑不同区域的镜像神经元形成了镜像神经元系统(mirror neuron system, MNS)。该系统遵循“观察-执行匹配机制”,可以较好地协调动作感知和动作执行功能,为观察者提供内在的识别体验<sup>[4]</sup>。越来越多的证据表明,“观察-执行匹配机制”在动作理解,动作模仿,运动想象和运动学习及其他的重要神经生理过程中起着重要作用<sup>[5-6]</sup>。

1.2 人脑中的镜像神经元 一系列脑功能成像与神经电生理研究表明<sup>[7-8]</sup>,人类大脑中同样存在能够将所观察的动作和自己执行的动作进行匹配的镜像神经元,且数目远多于猴脑,分布范围也更为广泛。人脑中的镜像网络主要分布于顶额镜像系统和边缘镜像系统,前者主要由前运动皮质腹侧、中央前回下部、额下回后部、顶下小叶头部、颞中回等区域构成,后者主要包括前扣带回、前额叶皮质、岛叶及杏仁核等区域<sup>[9]</sup>。此外,不同区域的镜像神经元具有不同功能,额下回后部、顶下小叶头部及颞中回的镜像神经元可能与动作

的感知与理解有关,躯体感觉区的镜像神经元可能与触觉感知有关,前扣带回和岛叶中后部的镜像神经元与疼痛感受及其情有关,杏仁核的镜像神经元可能与恐惧的感受相关<sup>[10]</sup>。

1.3 镜像神经元的作用机制 镜像神经元的发现为动作观察和动作执行之间建立了强有力的纽带,有学者认为“镜像神经元是人类将视觉信息转化为知识能力的基础”<sup>[11]</sup>。通常,镜像神经元被认为是通过一种内部模仿机制促进脑功能环路的重塑,人类可以通过理解和学习将运动信息作为动作记忆储存在大脑,动作观察时能够激活储存该运动执行脑区类似动作的再现或共振,将行为参与者与观察者联系起来,有利于对所观察动作的执行、模仿以及模仿性的运动技能学习<sup>[12]</sup>。进一步研究表明<sup>[13]</sup>,这种镜像机制是多模式的,除了能被视觉刺激激活外,当出现与动作相关的听觉信息时,即使事件被隐藏,也能引起镜像神经元的激活。

近年来,基于镜像神经元理论发展起来的康复策略已在临幊上广泛应用,如动作观察疗法、运动想象疗法、镜像疗法。同时也是虚拟现实疗法以及脑-机接口技术发展的重要神经机制,其临床疗效已得到国内外大量临幊试验的肯定。

## 2 动作观察疗法概述

2.1 动作观察疗法定义及康复机制 动作观察疗法(action observation therapy, AOT)是借助视频形式让患者观察、想象动作,然后指导患者进行模仿的一种康复训练方法<sup>[14]</sup>。一系列研究表明,动作观察疗法是改善卒中后患者功能障碍的有效策略,但作用机制仍未完全明确,多数学者认为其获益机制主要归因于以下几点:动作观察疗法通过激活各个镜像神经元分布的脑区神经环路,以一种“自上而下”的方式来促进或实现大脑皮层的重塑及功能重组<sup>[15]</sup>;动作观察疗法通过提升感觉运动记忆神经环路形成,影响大脑内多巴胺的分泌来提升患者的运动记忆储备<sup>[12, 16]</sup>;动作观察疗法向观察者传达了动作的目标及动作如何准确执行的视觉运动和感觉运动信息,可以介导新技能的运动学

收稿日期:2020-07-12

作者单位:1. 武汉大学中南医院神经康复科,武汉 430071;2. 暨南大学附属第一医院康复科,广州 510630

作者简介:陈芳婷(1993-),女,技师,主要从事神经康复方面的研究。

通讯作者:廖维靖,weijingliao@sina.com

习,提高运动执行表现<sup>[17]</sup>;除了潜在的神经恢复机制外,动作观察疗可以提高患者的康复兴趣和热情,有助于患者进行长期训练。

**2.2 动作观察疗法的应用形式** 目前研究,动作观察疗法的实施一般包含三个步骤,即任务说明、动作观察与动作执行。经典的临床应用形式是让患者以舒适的状态坐在电脑或视频显示器前,治疗师根据患者的功能状态和需求选择相关视频,如:拿水杯喝水、拿放钥匙或肩关节外展与内收、肘关节屈曲与伸展等目标导向性运动或功能性运动<sup>[18~19]</sup>。此外,这类运动往往会被拆分成几个简单分动作,从不同角度对动作进行呈现。训练开始前,给予患者正确的指导和说明,提醒动作观察时所需注意的细节,让患者更好的模仿。通常动作观察疗法的疗程会持续4~8周,每周治疗5~6d,每天1~2次,每次治疗持续20~30min。若患者满足以下条件,可能会取得更理想的治疗效果:患者意识清醒,无明显认知功能障碍,能理解听从治疗师指令进行治疗;视力或矫正视力无明显异常;患者有较好的依从性,能够配合治疗;没有严重的抑郁症或精神性疾病。因此,治疗师在治疗之前应该注意评估以上症状,再继续后续的治疗。

### 3 动作观察疗法在脑卒中的应用

**3.1 上肢运动功能康复** 动作观察疗法与其他治疗方法相比,不需要个体产生实际的运动,这为主动运动障碍患者开辟了新的治疗思路。研究证实,动作观察疗法对急慢性脑卒中患者运动功能的恢复有积极的影响。Ertelt等<sup>[20]</sup>首次将动作观察疗法应用于慢性卒中患者,结果显示其上肢运动功能明显改善,且改善效果可持续至治疗结束后8周。功能磁共振成像发现,观察组患者双侧腹前运动皮层、双侧颞上回、辅助运动区和对侧缘上回的激活显著增加。庄卫生等<sup>[21]</sup>也得出类似结论,观察组患者的重要运动脑区的激活体素明显较对照组增加,说明动作观察疗法可促进脑卒中患者的脑功能重组,修复受损神经环路。姜丽等<sup>[22]</sup>要求患者仔细观看从不同角度拍摄的肢体动作视频并进行模仿,发现不仅能有效改善患者的上肢功能和日常生活活动能力,也能改善患者的感觉传导的通路情况。Ferrer等<sup>[23]</sup>将运动想象疗法与动作观察疗法进行对比研究,发现与常规康复训练相比,结合运动想象疗法或动作观察疗法更能有效的改善手部抓握力量和前臂伸肌的肌电活动。此外,也有报道<sup>[24]</sup>,动作观察疗法亦能改善患者的上肢痉挛状态,促进上肢功能恢复。

**3.2 下肢运动功能康复** 改善脑卒中患者的平衡和

行走能力是提升生活质量的关键。近年来,也有学者将动作观察疗法应用于脑卒中患者下肢功能康复。Bang等<sup>[25]</sup>进行一项双盲随机对照试验,观察组在常规训练之前观察一段以不同速度在跑步机上行走的视频,对照组则观看与步态训练无关的自然视频。研究发现,观察组在“起立-步行”计时测试、10米步行试验、6分钟步行试验结果以及摆动相的膝关节屈曲角度均较对照组改善。Park等<sup>[26]</sup>让患者进行社区步行训练观察,展现健康成人在不同环境下,如在平坦或崎岖的地面、复杂和不可预测的社区以及在停车场和购物中心行走的画面。发现社区步行训练观察不仅能有效改善患者的步行功能,还能提升患者的步行信心,提高患者对社区步行环境的适应能力。李伟利等<sup>[27]</sup>发现,动作观察疗法能够矫正脑卒中偏瘫患者足下垂症状,改善胫前肌肌力,增加踝关节主动背屈角度。此外,动作观察疗法在改善脑卒中偏瘫患者平衡及姿势控制也有显著效果,可改善固定的步行模式以及下肢僵硬状态<sup>[28~29]</sup>。尽管目前研究多侧重于从第三者角度进行观察,最近Son等<sup>[30]</sup>提出,自我观察训练同样是提升自身运动技能的有效策略,通过自我观察不断识别和调整不恰当的运动模式,对改善运动功能至关重要。其他类似研究也证实了动作观察疗法在脑卒中后下肢功能恢复中产生的积极作用,通过观察正常人的行走动作可以促进对正常行走模式进行编码的运动记忆,重新激活与行走能力相关的储存的运动模式,从而恢复受损的运动能力<sup>[31~32]</sup>。

**3.3 失语症康复** 失语症是一种获得性语言障碍,是脑卒中后常见的临床症状,可不同程度地影响患者的日常交流和社会参与,损害患者的生活质量。目前,针对失语症多以“再教育”为原则,对特定的语言缺陷进行强化训练,但疗效依旧有限<sup>[33]</sup>。镜像神经元的发现及其内在特征为失语症研究提供新的视角。研究表明<sup>[34]</sup>,动作观察会对言语的产生和理解产生影响,两者产生之间存在有相同的大脑支配区域。从大脑功能定位上看,镜像神经元分布区域与言语表达的关键区域存在高度重叠,如额下回后部、颞上沟、顶下小叶(角回和缘上回),这种重叠为动作观察和言语之间建立了重要桥梁<sup>[35]</sup>。Skipper等<sup>[36]</sup>研究发现,与语言相关的手势会导致镜像神经元系统的激活,有助于个体从手势中提取语义信息,并将信息整合到言语理解中。田丽等<sup>[37]</sup>在言语训练基础上增加口部及手动作观察,发现可显著改善脑卒中后非流畅性失语患者的语言功能,其协同效果优于单纯的言语训练。功能磁共振研究表明<sup>[38]</sup>,手动作观察可促进重要语言中枢在内的镜像神经元及神经环路激活和重塑,进而改善失语症患

者的语言功能,提升患者词汇提取能力、自发言语、听理解、复述、命名和失语商,与常规训练相比,在促进词汇提取和自发言语方面更具优势。从观察的内容来看,有学者发现,将口部运动与手部运动结合作为观察内容比单纯口部运动观察更能改善患者的命名能力<sup>[39]</sup>,表明言语功能与手、手臂功能关系密切,两者存在交织和偶联,并存在双向影响。

**3.4 吞咽障碍康复** 目前,对于镜像神经元的研究大多集中于手-镜像系统,除了手部运动能激活相应的镜像神经元以外,镜像神经元对口部运动的刺激也能做出响应,当个体在执行或观察与摄食功能有关的口唇活动时也会变得活跃<sup>[40]</sup>。Ushioda 等<sup>[41]</sup>利用脑磁图来研究吞咽大脑皮层激活区域与镜像神经元的关系,发现吞咽相关视觉或听觉刺激可引起与吞咽相关的大脑皮质区对应的镜像神经元激活。当视听觉联合刺激时,其潜伏期和峰值强度比单独的听觉或视觉刺激更接近于实际吞咽。功能磁共振研究发现,吞咽相关的视听觉刺激能够引起与吞咽运动计划相关的大脑皮质区域激活,如辅助运动区、运动前区、初级运动区以及扣带回等<sup>[42-43]</sup>。在韩国学者的一项研究中<sup>[44]</sup>,观察组患者在常规训练的基础上观看一段正常人吃饭的电影片段,并进行动作模仿 5min,对照组则观看风景视频。结果显示,观察组的吞咽功能较对照组得到更好的改善。龙耀斌<sup>[45]</sup>等也得出类似结论,吞咽相关的动作观察能显著改善脑卒中吞咽障碍患者的吞咽相关时间学参数,提高临床有效率。也有报道,吞咽动作观察能显著改善患者的洼田饮水试验分,观察组口咽期时长及咽期起始时间明显比对照组短,说明吞咽的有效性提高<sup>[46]</sup>。目前,动作观察疗法在吞咽障碍的应用相对较少,且观察指标多在吞咽行为学层面,其恢复的具体机制仍需进一步探究。

#### 4 小结

过去十年,动作观察疗法已作为一种替代疗法或辅助疗法用于神经系统疾病的康复,旨在重新激活或修复受损的神经回路,重建运动功能,具有应用成本低、操作简单、无明显不良反应、患者容易接受等优点,利于在临床应用及推广,同时也可作为远程康复的重要技术手段<sup>[47-48]</sup>。由于动作观察疗法是一种集运动观察、运动想象和运动模仿为一体的治疗手段,通常对患者的认知和视力有一定要求,进而限制了该疗法的应用范围。此外,目前动作观察疗法的实施也缺乏一定的统一性和规范性,不同研究中的治疗方案(如视频内容的设定、观察和执行的时间、疗程、评价指标)以及纳入人群不尽相同,给临床推广带来一定难度。如果

在循证研究的基础上,提炼出一套针对不同病损引起的功能障碍、不同人群甚至不同设备来进一步规范和实施标准康复方案或技术指导,可能会进一步增加患者的受益范围。目前动作观察疗法多将电脑或手机作为输出设备,若能与现代科技元素相结合,如:虚拟现实技术、脑-机接口等技术等方式,进一步改变视觉的呈现模式,强化患者的观察效果,可能有益进一步提升疗效。

#### 【参考文献】

- [1] 王陇德,刘建民,杨弋,等. 我国脑卒中防治仍面临巨大挑战——《中国脑卒中防治报告 2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(2): 105-119.
- [2] di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, et al. Understanding motor events: a neurophysiological study[J]. Exp Brain Res, 1992, 91(1): 176-180.
- [3] Fogassi L, Ferrari PF, Gesierich B, et al. Parietal lobe: from action organization to intention understanding[J]. Science, 2005, 308(5722): 662-667.
- [4] Ertelt D, Binkofski F. Action observation as a tool for neurorehabilitation to moderate motor deficits and aphasia following stroke[J]. Neural Regen Res, 2012, 7(26): 2063-2074.
- [5] Small SL, Buccino G, Solodkin A. The mirror neuron system and treatment of stroke[J]. Dev Psychobiol, 2012, 54(3): 293-310.
- [6] 李新宇. 基于镜像神经元理论的动作观察疗法在神经康复中的应用进展[J]. 中国康复, 2016, 31(2): 153-155.
- [7] Lotze M, Montoya P, Erb M, et al. Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study[J]. J Cogn Neurosci, 1999, 11(5): 491-501.
- [8] 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.
- [9] Mukamel R, Ekstrom AD, Kaplan J, et al. Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions[J]. Curr Biol, 2010, 20(8): 750-756.
- [10] Cattaneo L, Rizzolatti G. The mirror neuron system[J]. Arch Neurol, 2009, 66(5): 557-560.
- [11] Kilner JM. More than one pathway to action understanding[J]. Trends Cogn Sci, 2011, 15(8): 352-357.
- [12] 燕铁斌. 神经康复技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2019: 194-203.
- [13] Kohler E, Keysers C, Umiltà MA, et al. Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons[J]. Science, 2002, 297(5582): 846-848.
- [14] Kim AS, Cahill E, Cheng NT. Global Stroke Belt: Geographic Variation in Stroke Burden Worldwide[J]. Stroke, 2015, 46(12): 3564-3570.
- [15] Ste-Marie DM, Lelievre N, Germain LS. Revisiting the Applied Model for the Use of Observation: A Review of Articles Spanning 2011-2018 [J]. Research quarterly for exercise and sport, 2020, 91(4): 594-617.
- [16] Stefan K, Cohen LG, Duque J, et al. Formation of a motor memory by action observation[J]. J Neurosci, 2005, 25(41): 9339-9346.
- [17] Ertelt D, Binkofski F. Action observation as a tool for neurorehabilitati-

- on to moderate motor deficits and aphasia following stroke[J]. *Neural Regen Res*, 2012, 7(26): 2063-2074.
- [18] 王春苑, 梁群林, 崔尧, 等. 基于镜像神经元理论的动作观察疗法对脑卒中患者上肢运动功能和日常生活活动能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2015, 37(1): 29-31.
- [19] Kim E, Kim K. Effect of purposeful action observation on upper extremity function in stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(9): 2867-2869.
- [20] 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): 164-173.
- [21] 庄卫生, 钱宝延, 蔡西国, 等. 基于镜像神经元理论的动作观察疗法对脑卒中患者脑功能重组的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2017, 39(8): 604-608.
- [22] 姜丽, 王惠, 董江涛, 等. 动作观察疗法对脑出血患者上肢康复效果的影响[J]. 农垦医学, 2019, 41(3): 217-220.
- [23] Losana-Ferrer A, Manzanas-Lopez S, Cuenca-Martinez F, et al. Effects of motor imagery and action observation on hand grip strength, electromyographic activity and intramuscular oxygenation in the hand gripping gesture: A randomized controlled trial[J]. *Hum Mov Sci*, 2018, 58: 119-131.
- [24] Franceschini M, Ceravolo MG, Agosti M, et al. Clinical relevance of action observation in upper-limb stroke rehabilitation: a possible role in recovery of functional dexterity. A randomized clinical trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2012, 26(5): 456-462.
- [25] Bang DH, Shin WS, Kim SY, et al. The effects of action observational training on walking ability in chronic stroke patients: a double-blind randomized controlled trial[J]. *Clin Rehabil*, 2013, 27(12): 1118-1125.
- [26] Park HJ, Oh DW, Choi JD, et al. Action observation training of community ambulation for improving walking ability of patients with post-stroke hemiparesis: a randomized controlled pilot trial[J]. *Clin Rehabil*, 2017, 31(8): 1078-1086.
- [27] 李伟利, 全林, 章闻捷. 基于镜像神经元理论的动作观察疗法对脑卒中后足下垂患者的疗效研究[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(5): 569-572.
- [28] Lee HJ, Kim YM, Lee DK. The effects of action observation training and mirror therapy on gait and balance in stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2017, 29(3): 523-526.
- [29] Patel M. Action observation in the modification of postural sway and gait: Theory and use in rehabilitation[J]. *Gait Posture*, 2017, 58(10): 115-120.
- [30] Son YL, Kim JW. The effects of mirror neuron system-based self-observation training on lower limb muscle activity and dynamic balance in patients with chronic stroke[J]. *J Phys Ther Sci*, 2018, 30(10): 1241-1244.
- [31] Kim JC, Lee HM. The Effect of Action Observation Training on Balance and Sit to Walk in Chronic Stroke: A Crossover Randomized Controlled Trial[J]. *J Mot Behav*, 2018, 50(4): 373-380.
- [32] Hiyamizu M, Maeoka H, Matsuo A, et al. Effects of self-action observation on standing balance learning: A change of brain activity detected using functional near-infrared spectroscopy[J]. *NeuroRehabilitation*, 2014, 35(3): 579-585.
- [33] Aten JL, Caligiuri MP, Holland AL. The efficacy of functional communication therapy for chronic aphasic patients[J]. *J Speech Hear Disord*, 1982, 47(1): 93-96.
- [34] Wortman-Jutt S, Edwards D. Poststroke Aphasia Rehabilitation: Why All Talk and No Action[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2019, 33(4): 235-244.
- [35] 陈巍, 郭本禹, 单春雷. 从言语的知觉运动理论到具身语义学: 来自镜像神经元系统的证据[J]. 山东师范大学学报(人文社会科学版), 2012, 57(5): 144-150.
- [36] Skipper JI, Goldin-Meadow S, Nusbaum HC, et al. Speech-associated gestures, Broca's area, and the human mirror system[J]. *Brain Lang*, 2007, 101(3): 260-277.
- [37] 田丽, 朱慧敏, 刘莉, 等. 基于镜像神经元理论的动作观察疗法对脑卒中后非流畅性失语的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(10): 1152-1154.
- [38] Chen WL, Ye Q, Zhang SC, et al. Aphasia rehabilitation based on mirror neuron theory: a randomized-block-design study of neuropsychology and functional magnetic resonance imaging[J]. *Neural Regen Res*, 2019, 14(6): 1004-1012.
- [39] Looeiyan N, Kianfar F, Ghassisin L. The introduction of IMITATE-R and its comparison with the IMITATE treatment method in the naming ability of two Persian speaking aphasic patients[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2020, 30(4): 709-730.
- [40] Ferrari PF, Gallese V, Rizzolatti G, et al. Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex[J]. *Eur J Neurosci*, 2003, 17(8): 1703-1714.
- [41] Ushioda T, Watanabe Y, Sanjo Y, et al. Visual and auditory stimuli associated with swallowing activate mirror neurons: a magnetoencephalography study[J]. *Dysphagia*, 2012, 27(4): 504-513.
- [42] Ogura M, Watanabe Y, Sanjo Y, et al. Mirror neurons activated during swallowing and finger movements: An fMRI study[J]. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*, 2014, 26(2): 188-197.
- [43] Ogura M, Watanabe Y, Sanjo Y, et al. Mirror neurons activated during swallowing and finger movements: An fMRI study[J]. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*, 2014, 26(2): 188-197.
- [44] Choi MK, Han SH, Kam KY. The Effects of Action Observation Training Using Motion Picture on Swallowing Function in Patients With Stroke[J]. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 2015, 23(1): 13-23.
- [45] 龙耀斌, 张红敏. 镜像疗法对急性期脑卒中吞咽障碍的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(9): 1078-1081.
- [46] 李伟利, 全林, 章闻捷. 基于镜像神经元理论的动作观察疗法治疗脑卒中后吞咽障碍疗效观察[J]. 浙江中西医结合杂志, 2019, 29(5): 400-402.
- [47] Beani E, Menici V, Ferrari A, et al. Feasibility of a Home-Based Action Observation Training for Children With Unilateral Cerebral Palsy: An Explorative Study[J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 16-16.
- [48] 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): 344-344.