

基于镜像神经元的镜像疗法对脑卒中功能障碍的康复治疗研究进展

马 瑞¹ 张 敏² 刘 红³ 包 娟³ 尤 红²

1. 甘肃中医药大学第一临床医学院, 甘肃兰州 730000; 2. 甘肃省人民医院中法神经康复科, 甘肃兰州 730030;
3. 宁夏医科大学临床医学院, 宁夏银川 750004

[摘要] 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, 人们可通过理解和学习将运动信息存储在大脑, 当观察到动作时可激活类似动作再现或共振, 有助于执行、模仿观察到的动作, 或者当听觉信息与出现的动作相关时, 即使事件被隐藏, 镜像神经元也能被激活。镜像疗法是在将视觉信息转换成为活动行为时, 通过激活镜像神经元系统来实现的。镜像神经元系统的激活能影响运动学习进程, 是运动学习的重要神经机制。其操作简便, 成本低, 特别适合患者的自主实践, 值得临床推广。而随着临床研究的不断拓展, 发现其在治疗脑卒中功能障碍方面有着更大的应用空间。

[关键词] 脑卒中; 镜像疗法; 镜像神经元; 功能障碍

[中图分类号] R743.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-7210(2024)01(c)-0055-05

DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2024.03.10

Research progress in mirror therapy based on mirror neurons for rehabilitation treatment of stroke dysfunction

MA Rui¹ ZHANG Min² LIU Hong³ BAO Juan³ YOU Hong²

1. The First School of Clinical Medicine, Gansu University of Chinese Medicine, Gansu Province, Lanzhou 730000, China;
2. Department of Chinese French Neurological Rehabilitation, Gansu Provincial Hospital, Gansu Province, Lanzhou 730030, China; 3. School of Clinical Medicine, Ningxia Medical University, Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750004, China

[Abstract] Mirror neurons are thought to promote the remodeling of brain functional circuits through an internal imitation mechanism, and human beings can store motor information in the brain through understanding and learning. When an action is observed, it can activate the reproduction or resonance of a similar action stored in the performing brain area of the movement, which is helpful to perform or imitate the observed action, or when auditory information related to the action appears, even if the event is hidden, mirror neurons can also be activated. Mirror therapy is realized by activating the mirror neuron system when converting visual information into active behavior. The activation of mirror neuron system can affect the process of motor learning and is an important neural mechanism of motor learning. The utility model has the advantages of simple operation and low cost, so it is especially suitable for the independent practice of patients and is worth popularizing in clinic. With the continuous expansion of clinical research, it is found that it has more application space in the treatment of stroke dysfunction.

[Key words] Stroke; Mirror therapy; Mirror neuron; Dysfunction

脑卒中是人一生中最常见的疾病之一, 大多数脑卒中是由于流向大脑的血液减少或中断(缺血性脑卒中), 一小部分可能是中、大脑静脉血栓形成, 20% ~ 30% 的脑卒中发生是由于中小血管受损导致出血^[1]。我国每年新发脑卒中约 200 万例, 年增长率为 8.7%, 相较世界脑卒中总体发病率显著较高^[2]。其具有高致

[基金项目] 甘肃省自然科学基金项目(21JR1RA020, 21JR7RA597); 甘肃省人民医院院内科科研基金项目(22GSSYB-9、22GSSYD-66、22GSSYD-65)。

病率、高致残率、高复发率、高死亡率的特点。脑卒中患者在疾病发生后会发生各种不同的功能障碍, 如运动功能障碍、感觉功能障碍、认知功能障碍、吞咽功能障碍、生活活动自理能力障碍、心理和行为异常等。康复是健康状况的个体在与环境相互作用的过程中减少残疾并使个体功能最大化的一种方式^[3]。康复经循证医学证实是降低脑卒中致残率最行之有效的手段, 也是脑卒中组织化管理模式中的关键环节^[4]。其作用是促进患者功能改善, 提高患者生活质量, 使其回归

家庭与社会。

近些年来,镜像神经元理论的出现及基于镜像神经元理论的镜像疗法在脑卒中患者的应用,为脑卒中患者的康复治疗拓展出了新思路。

1 镜像神经元的相关概述

20 世纪 90 年代,最初是由意大利帕尔马大学 Rizzolatti 等进行恒河猴单个神经元放电实验时发现了镜像神经元,在猴子执行与观察特定动作时会在运动前皮层 F5 区存在异常放电,经探究将其命名为“镜像神经元”^[5]。随后在顶下小叶中也证明存在相关神经元^[6]。此外,颞上沟皮层神经元虽在运动时也产生兴奋,却并不具备运动特性。但是其在镜像神经元系统中扮演着重要角色,与镜像神经元环路密切相关,是信息传递的重要节点。信息经由颞上沟皮层区输入至顶下小叶并输出至腹侧运动前皮质,包括 F5 区,故将其也纳入至镜像神经元系统中^[7]。随着研究的深入,现在将人脑不同部位的镜像神经元归为两大镜像神经元系统,即边缘镜像系统,由杏仁核、脑岛、前额叶皮质等构成;顶额镜像系统,由前运动皮质、中央前回下部、Broca 区、顶下小叶嘴侧和额下回后部等构成^[8]。镜像系统的“观察-执行机制”在动作观察、动作模仿、动作想象中起到很重要的作用,其很好地统一了动作执行和动作感知^[9]。康复中的镜像疗法、动作观察疗法、运动想象疗法、动作模仿、虚拟现实技术及脑-机接口技术等皆基于此机制被运用^[8]。

1995 年最早由 Ramachandran 等^[10]提出将镜像疗法用于截肢后患肢痛的治疗,现多用于脑卒中后肢体功能障碍的治疗。其治疗方式为利用平面镜成像原理,在患者健侧与患侧之间立一面镜子,患侧被镜子遮挡不能直接看见,让患者观察镜子里健肢的动作,以“欺骗”大脑对患侧肢体的感觉和运动功能产生的影响^[11]。此方法简易方便,成本低廉,对患者的自主练习非常适合,值得临床推广^[12]。

2 镜像神经元理论在脑卒中患者中的应用

2.1 运动功能障碍

2.1.1 上肢运动障碍 有研究表明,脑卒中后有 30%~66% 的幸存者会存在持续的上肢功能障碍,致其阻碍了部分或全部的日常生活活动能力,降低了患者的生活质量^[13]。Jaafar 等^[14]认为镜像疗法是一种很有前途的改善上肢恢复和大脑活动的干预手段。Tofani 等^[15]发表的系统回顾与荟萃分析也得出类似结论。彭娟等^[16]认为镜像疗法在脑卒中的早期、恢复期、后遗症期均具有正向作用,一定程度地改善了患者偏瘫的上肢功能、日常生活活动能力及疼痛,但远期疗效持续性还不清楚。一般状态下,大脑功能的正常发挥得益于两

侧大脑半球之间存在相互抑制作用,脑卒中发生后患侧运动皮质兴奋性会被镜像疗法刺激易化,并对脑卒中后半球间抑制作用有所改善,利于损伤侧手与上肢运动功能的恢复^[17]。

2.1.2 下肢运动障碍 脑卒中患者会有 1/3~1/2 的人人会遗留有下肢运动功能障碍,对其生活质量会有非常大的影响^[18]。Cui 等^[19]临床研究显示,镜像疗法可促进缺血性脑卒中患者下肢功能恢复,并通过静息状态功能性磁共振成像推测可能是由于镜像疗法诱导了运动皮层神经网络的重组,通过视觉引导的运动想象促进大脑的可塑性,从而改善下肢运动功能。陈秀秀等^[20]通过使用表面肌电的手段证实镜像疗法可以提高脑卒中偏瘫患者下肢运动过程中运动单位募集及同步化程度,促进下肢肌力恢复。

2.2 感觉功能障碍

有研究显示,约 50% 的脑卒中患者手部会存在感觉障碍,而镜像疗法已被证实在脑卒中后感觉障碍、运动障碍等方面有效、可行^[21]。Arya 等^[22]发现镜像疗法可以提高慢性脑卒中患者皮肤敏感性,这不仅作用于受影响较重手的感觉得缺陷,也作用于受影响较轻的那只手。从目前来看,脑卒中患者康复的目的以运动功能障碍改善为主,缺乏对感觉功能障碍的关注度,事实上超过 1/2 的脑卒中患者存在一侧或双侧的感觉功能障碍^[23]。而肌肉运动知觉和浅感觉可通过特定的感觉训练而改善,且在改善感觉的同时促进运动功能改善^[24]。然而,在大部分镜像疗法中,患者视觉与本体感觉输入的不协调原因是患者受限的功能和主观意识的薄弱,未能使患肢真正参与活动导致的^[25]。故有研究人员将镜像疗法进行改进,在平面镜成像原理的基础上通过数字化镜像系统复制健侧肢体的活动画面,并使患者将其想象为患侧的活动,同时经视错觉及视觉反馈、虚拟现实,与康复训练结合的治疗方法,称之为新型镜像疗法或镜像视觉反馈疗法^[26]。

2.3 吞咽障碍

急性脑卒中后吞咽障碍的发生率为 27%~64%,易导致误吸、吸入性肺炎及营养不良等并发症的发生,增加患者感染风险,影响临床预后,严重者甚至危及患者的生命^[27]。镜像神经元系统的“观察-执行匹配”机制是人们将其应用于吞咽障碍的理论基础。关穗莲等^[28]纳入 40 例脑卒中后并发吞咽功能障碍的患者,将其随机分为观察组(常规治疗+镜像视频疗法)和对照组(常规治疗+假镜像视频疗法),并分别于治疗前后进行进食评估问卷调查、洼田饮水试验、洼田吞咽能力评定、吞咽障碍特异性生活质量评价,其疗效根据洼田吞咽能力评定分级比较,结果显示,镜像

视频疗法对吞咽功能的恢复具有有效的促进作用。曾明等^[29]也有类似治疗方案并通过功能磁共振成像证实经镜像治疗的组别患者较组内治疗前和对照组治疗后的患者而言,其大脑的楔前叶、顶叶、中央后回、BA7 区、BA5 区、额叶、中央旁小叶激活范围均明显增大,表明镜像疗法对脑卒中后吞咽障碍患者的吞咽功能可显著改善,镜像疗法可以通过激活与吞咽功能相关的脑部区域发挥治疗作用。

2.4 运动性失语

国外文献报道有 21% ~ 38%, 国内报道 >33.3% 的脑卒中患者会发生失语症,其中失语症中最常见的类型是运动性失语,主要以非流利性口语,发音出现障碍,表达内容缺少语法性,书写能力与阅读能力受损等为表现^[30-31]。国内研究者陈庆梅等^[32]将脑梗死(<14 d)后运动性失语患者 60 例随机分成对照组(常规言语治疗)和治疗组(常规言语治疗+镜像疗法),于发病后第 7 天分别给予治疗,并使用美国国立卫生研究院卒中量表和改良 Rankin 量表及失语商评估两组治疗前、病程第 3 周及病程第 12 周的变化,结果显示,镜像疗法联合言语治疗对急性脑梗死后运动性失语患者的言语和神经功能的康复有效,并能改善患者 3 个月言语功能及神经功能缺损。研究者 Chen 等^[33]将 30 例急性脑梗死伴运动性失语患者随机分为试验组(镜像疗法)和对照组(假镜像治疗),分别在干预前后 24 h 进行功能磁共振成像的测量。功能磁共振成像结果显示,实验组相比于对照组其左半球额叶、颞叶和顶叶之间的功能连通性显著改善,与海马的功能连接显著增强,这可能与镜像疗法激活了与镜像神经元系统有关的镜像神经元。而大脑重要的认知、语言功能区如额下回后部 Broca 区、腹侧前运动皮质、下顶叶、颞上沟皮质区与镜像神经元系统的主要分布区域高度吻合,当相应功能区镜像神经元系统激活,会导致大脑发生可塑性改变和功能重组,从而促进受损区域功能重建^[34]。

2.5 单侧忽略

脑卒中后常见的一种认知功能障碍,又称单侧空间忽略、单侧空间失认,当存在来自大脑损伤半球对侧空间刺激时,患者无法对其产生正确反应,导致本体感觉、平衡功能等出现不同程度障碍^[35]。脑卒中患者单侧忽略的发生率为 25% ~ 30%, >90% 的单侧忽略是由右脑损伤引起。常见损伤皮层为顶叶,也可发生于顶枕颞叶交界区^[36-37]。临床上往往会因为单侧忽略的表现不明显而易被忽视治疗,从而影响到患者康复表现,对患者的功能康复产生负面影响^[37]。近年来,随着镜像疗法不断被大家拓展应用,一些研究者尝试

用镜像疗法治疗单侧忽略并取得一定进展。Wang 等^[38]将镜像疗法应用脑卒中后单侧忽略的患者,并通过功能磁共振成像证明镜像疗法可以激活双侧相关脑区的神经元,尤其是右顶下小叶,而右顶下小叶既是镜像神经元系统的组成成分,又是发生损伤时造成单侧忽略的重要组织结构。Sim 等^[39]研究单手镜像疗法和双手镜像疗法对脑卒中后单侧忽略患者的治疗效果,结果显示,双手镜像疗法可能更有利于减轻单侧忽略症状。但从目前的研究来看,将镜像治疗用于单侧忽略的治疗并不是很多,其作用机制也不明确,多是镜像疗法与其他治疗手段联用的报道更多一些。

3 讨论

关于人脑镜像神经元的争论,人们对此做出了两种假设:一种为适应假说,即人类大脑中的镜像神经元被认为是个体在社会认知活动过程中对动作理解的适应,是与生俱来的,而感觉经验和运动经验在镜像神经元的形成中只起到辅助作用^[40]。一种为联结假说,人们有一种先天倾向,即在特定的感觉中枢和运动中枢之间建立联系,这种先天倾向的功能是促进运动的视觉控制。对同一动作的观察和执行促进其的发展,从而产生了所谓的镜像机制,这不是遗传习得,而是后天经验的结果^[40]。人们通过各种非侵入性神经成像和神经刺激发现镜像神经元系统不仅参与动作感知和表现过程,而且对学习和经验也很敏感,对熟悉的动作会导致更强的参与^[41]。无论是适应假说也罢,联结假说也好,重点并不是镜像神经元的起源,而是镜像神经元在人体中的功能。人类的进化使其在意图理解方面与恒河猴有所不同,这也就意味人类理解水平可能远远超越了行为动作的理解。目前的研究显示,镜像神经元大脑区域有助于对观察到的动作进行低级处理(例如,区分抓握类型),但不直接对高级动作解释做出贡献(例如,推断参与者的意图)^[42]。未来对镜像神经元的研究似乎应该更多地关注不同层次的意图理解,这是未来镜像神经机制研究的重点^[43]。

通常,镜像神经元是通过内部模仿机制促进脑功能环路的一种重塑,人类通过理解和学习可以将运动信息作为动作记忆储备在大脑。当观察到动作时可以激活储存类似动作的再现或共振,有助于执行、模仿观察到的动作,或当听觉信息与动作相关时,即使事件被隐藏,镜像神经元也能被激活^[8]。如前述,正常状态下,相互抑制存在于两侧大脑半球之间,镜像疗法使得患者的注意力在患侧肢体,令偏瘫侧肢体的存在感增强,这种视觉刺激对患者既有短暂的神经调节作用,长期来看也有达到神经重塑的作用^[34]。但也有人认为镜像疗法通过视觉信息反馈可以纠正脑卒中后

引起的运动输出与视觉输入的不匹配,或纠正视觉/本体感觉反馈之间的不匹配,进而引起中枢神经系统,尤其是运动相关皮质的兴奋性改变,从而导致中枢调节^[17]。总之,镜像疗法激活镜像神经元系统是通过将视觉信息转化为活动行为,镜像神经元系统的激活可以影响运动学习进程,其是运动学习的重要神经机制^[44]。当然,镜像神经元理论的应用,不局限于脑卒中治疗,其在神经精神疾病中也有应用,如孤独症、发育障碍及精神疾病和神经疾病^[45]。

从目前来讲,镜像疗法的效果逐渐被广泛接纳,但是镜像疗法的介入时机、使用持续时间、执行规程目前还没有统一标准,且上述文献中的研究也多以小样本为主。镜像疗法是一种操作简单方便,人力、物力投入少的治疗方式,应行多中心、大样本量的随机对照试验,使更多患者在未来可以实现居家训练。另外,目前基于镜像神经元系统理论衍生出的虚拟现实技术、脑-机接口技术,通过更多的方式呈现在患者面前,在患者功能障碍治疗上限制条件更少,使患者受益更多。只是目前的设备价值昂贵,技术尚不成熟,不能实现普及。相信在不久之后,这些技术可以使每一位患者都能受益。

利益冲突声明:本文所有作者均声明不存在利益冲突。

【参考文献】

- [1] H Buck B, Akhtar N, Alrohim A, *et al.* Stroke mimics; incidence, aetiology, clinical features and treatment [J]. *Ann Med*, 2021, 53(1): 420-436.
- [2] 陈志敏,程明文,高红兰.中老年人群脑卒中流行现状及其影响因素研究[J]. *江苏卫生事业管理*, 2023, 34(9): 1292-1296.
- [3] 郭彤彤,杨剑,吴铭,等.成年运动功能障碍者电子游戏干预的 Scoping 综述[J]. *中国康复理论与实践*, 2022, 28(9): 1012-1021.
- [4] 陈意,高强.脑卒中运动功能障碍康复的研究进展[J]. *华西医学*, 2022, 37(5): 757-764.
- [5] Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, *et al.* Premotor cortex and the recognition of motor actions [J]. *Brain Res Cogn Brain Res*, 1996, 3(2): 131-141.
- [6] Fogassi L, Ferrari PF, Gesierich B, *et al.* Parietal lobe: from action organization to intention understanding [J]. *Science*, 2005, 308(5722): 662-667.
- [7] 经莹华.镜像神经元系统与吞咽神经网络的功能连通性研究[D].广州:华南理工大学, 2021.
- [8] 陈芳婷,欧建林,王冉,等.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[J]. *中国康复*, 2021, 36(9): 568-571.
- [9] 王明磊,王松涛,曹崇威,等.早期镜像治疗对脑肿瘤术后偏瘫患者上肢运动功能的影响研究[J]. *上海医药*, 2023, 44(2): 28-30, 39.
- [10] Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Cobb S. Touching the phantom limb [J]. *Nature*, 1995, 377(6549): 489-490.
- [11] 何思锦,周剑英,陈小霞,等.镜像疗法在脑卒中后康复治疗中的研究进展[J]. *华西医学*, 2020, 35(6): 729-733.
- [12] 彭娟,胥方元.镜像疗法对脑卒中后肢体功能康复的研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(3): 359-363.
- [13] Nogueira NGHM, Parma JO, Leão SESA, *et al.* Mirror therapy in upper limb motor recovery and activities of daily living, and its neural correlates in stroke individuals: A systematic review and meta-analysis [J]. *Brain Res Bull*, 2021, 177: 217-238.
- [14] Jaafar N, Che Daud AZ, Ahmad Roslan NF, *et al.* Mirror Therapy Rehabilitation in Stroke: A Scoping Review of Upper Limb Recovery and Brain Activities [J]. *Rehabil Res Pract*, 2021; 2021: 9487319.
- [15] Tofani M, Santecchia L, Conte A, *et al.* Effects of Mirror Neurons-Based Rehabilitation Techniques in Hand Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(9): 5526.
- [16] 彭娟,杨仕彬,李爱玲,等.镜像疗法改善脑卒中偏瘫患者上肢功能障碍的 Meta 分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*. 2018, 40(11): 844-853.
- [17] 丁力,贾杰.镜像视觉反馈促进脑卒中后手与上肢运动功能康复的机制研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(6): 752-756.
- [18] 曲斯伟,朱琳,钱龙,等.镜像视觉反馈训练联合下肢康复机器人对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44(1): 30-34.
- [19] Cui W, Huang L, Tian Y, *et al.* Effect and mechanism of mirror therapy on lower limb rehabilitation after ischemic stroke: A fMRI study [J]. *NeuroRehabilitation*, 2022, 51(1): 65-77.
- [20] 陈秀秀,吴庆文,郭子梦,等.镜像疗法对脑卒中偏瘫患者下肢肌肉表面肌电的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40(12): 895-898.
- [21] 许淑雅,武亮,胡安明,等.脑卒中后上肢感觉障碍评定与治疗的研究进展[J]. *中国老年保健医学*, 2022, 20(2): 3-7.
- [22] Arya KN, Pandian S, Vikas, Puri V. Mirror Illusion for Sensori-Motor Training in Stroke: A Randomized Controlled Trial [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(11): 3236-3246.
- [23] 庄金阳,贾杰.镜像疗法治疗脑卒中后感觉功能障碍的研究现状[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2021, 43(4): 371-374.

- [24] 刘爽.脑卒中后本体感觉障碍的康复治疗[J].医学信息, 2020,33(17),44-46.
- [25] 庄金阳,贾杰.基于左右制衡理论的镜像疗法在亚急性脑卒中患者的临床应用[J].中国康复理论与实践,2020,26(1):98-101.
- [26] 林佳丽,贾杰.脑卒中后感觉训练在上肢及手功能康复中的研究进展[J].中国康复医学杂志,2020,35(4):488-492.
- [27] 华锋凯,玉铭,龚献莲,等.脑卒中吞咽障碍评估及进食护理研究进展[J].护理研究,2022,36(4):691-694.
- [28] 关穗莲,曹全荣,刘春龙,等.镜像视频疗法对脑卒中后吞咽障碍的疗效观察[J].中国康复,2021,36(11):669-672.
- [29] 曾明,马静梅,顾旭东,等.吞咽动作观察疗法对脑卒中患者吞咽功能和功能性磁共振成像的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2021,43(2):116-121.
- [30] 王冉.镜像视觉反馈疗法配合动态手动动作观察疗法对脑卒中运动性失语患者语言功能的影响[J].黑龙江医学,2022,46(20):2500-2502.
- [31] 祖合热·肉孜.脑卒中后运动性失语患者动词产生的脑功能研究[D].乌鲁木齐:新疆医科大学,2022.
- [32] 陈庆梅,沈文君,柯俊,等.镜像疗法结合常规言语训练治疗急性脑梗死后运动性失语的疗效观察[J].中国康复医学杂志,2020,35(6):688-693.
- [33] Chen Q,Shen W,Sun H,*et al.* Effects of mirror therapy on motor aphasia after acute cerebral infarction:A randomized controlled trial [J]. *Neuro Rehabilitation*,2021,49(1):103-117.
- [34] 段家玉.镜像疗法治疗卒中后运动性失语疗效观察[D].沈阳:中国医科大学,2020.
- [35] 王玉,唐巍.脑卒中后单侧空间忽略的诊疗思路[J].安徽中医药大学学报,2021,40(1):1-4.
- [36] 赵越,尹昱,赵振彪,等.非侵入性脑刺激治疗脑卒中后偏侧忽略的临床研究进展[J].中国康复,2020,35(7):375-378.
- [37] 申嘉怡,张通,胡雪艳,等.动作观察疗法对脑卒中后单侧忽略的效果[J].中国康复理论与实践,2018,24(8):930-937.
- [38] Wang W,Zhang X, Ji X,*et al.* Mirror neuron therapy for hemispatial neglect patients [J]. *Sci Rep*,2015,5:8664.
- [39] Sim TY,Kwon JS. Comparing the effectiveness of bimanual and unimanual mirror therapy in unilateral neglect after stroke:A pilot study [J]. *NeuroRehabilitation*,2022,50(1):133-141.
- [40] 陈波,陈巍,张静,等.“镜像”的内涵与外延:围绕镜像神经元的争议[J].心理科学进展,2015,23(3):405-418.
- [41] Ramsey R,Kaplan DM,Cross ES. Watch and Learn:The Cognitive Neuroscience of Learning from Others' Actions [J]. *Trends Neurosci*,2021,44(6):478-491.
- [42] Heyes C,Catmur C. What Happened to Mirror Neurons? [J]. *Perspect Psychol Sci*,2022,17(1):153-168.
- [43] 叶浩生.镜像神经元的意义[J].心理学报,2016,48(4):444-456.
- [44] 何爱群,聂天翠,宋秋爽,等.镜像治疗在脑卒中偏瘫上肢功能恢复的循证实践及应用进展[J].中国康复,2021,36(9):564-567.
- [45] Bonini L,Rotunno C,Arcuri E,*et al.* Mirror neurons 30 years later:implications and applications [J]. *Trends Cogn Sci*,2022,26(9):767-781.

(收稿日期:2023-06-16)