

· 综述 ·

不同镜像视觉反馈疗法在脑卒中患者康复中的应用进展

刘智岚¹ 林桦¹ 贾杰^{2,3,4,5}¹上海市第四康复医院老年康复科,上海 200040; ²复旦大学附属华山医院康复医学科,上海200040; ³国家老年医学临床研究中心(华山),上海 200040; ⁴国家神经疾病中心,上海 200040;⁵国家区域医疗中心,福州 350000

通信作者:贾杰,Email:shannonjj@126.com

【摘要】 镜像疗法已广泛运用于脑卒中后的肢体康复,但传统的镜像设备存在局限性。随着科学技术的进步,不断有新型的镜像疗法设备问世,在改进治疗技术的同时,扩大了其在脑卒中康复领域的应用范围。本文罗列出不同的镜像视觉反馈治疗设备,并阐述其在脑卒中康复中的作用与不足,旨在为临床应用提供参考。

【关键词】 镜像疗法; 脑卒中; 机器人; 虚拟现实

基金项目:上海市静安区医学科科研项目(2021QN06);上海市卫生健康委员会卫生行业临床研究专项(201940055);国家重点研发计划项目(2018YFC2002300,2018YFC2002301);国家自然科学基金重大研究计划集成项目(91948302);国家自然科学基金创新研究群体项目(82021002);上海市静安区卫生系统重点学科建设资助(2021ZB02)

Funding: Medical Research Program of Shanghai Jing'an District Science (2021QN06); Medical Research Program of Shanghai Municipal Health Commission (201940055); National Key Research and Development Program of China (2018YFC2002300, 2018YFC2002301); Major Integrated Program of National Natural Foundation of China (91948302); Innovative Research Group Program of National Natural Foundation of China (82021002); The Key Discipline Construction Foundation of Shanghai Jing'an District Health System (2021ZB02)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.05.019

脑卒中的发病率、致残率、死亡率均较高。中国每年新发脑卒中患者约 200 万人,其中 70%~80% 的脑卒中患者因残疾而不能独立生活^[1]。脑卒中可导致肢体残疾、言语、吞咽、认知等多方面的功能障碍。镜像疗法,又称镜像视觉反馈疗法,利用平面镜成像原理,使健侧肢体活动的画面成像在患侧,让患者想象患侧在活动。早期主要用于缓解截肢后疼痛^[2],之后逐渐应用于脑卒中所引起的运动、感觉、认知等功能障碍的康复领域^[3]。

目前对于镜像疗法的作用机制存在多种假说,如基于视觉错觉反馈,增强运动感觉相关脑区的神经活动,激活左侧运动前区、额上回、左侧边缘叶等镜像神经元区,使大脑皮质结构重塑,进而促进上肢运动功能恢复^[4];通过做双侧对称性动作,减轻了患肢的习得性废用,平衡了脑卒中后双侧大脑的兴奋性,使大脑活动接近于健康人群模式^[3,5];另有一些学者认为,镜像疗法的视觉错觉反馈,重建了肢体感觉与运动执行间的联系,通过调节初级躯体感觉皮质来改善肢体疼痛^[6];此外,也可能是通过运动想象转移了患者对疼痛的注意力,进而减轻疼痛^[7]。

镜像疗法存在一定的局限性,如视错觉沉浸感不强、肢体活动范围有限、患者注意力易分散、配合度欠佳等。针对患者不同的康复需求,镜像疗法在临床上不断涌现出新的成像方式,产生了多种多样的视觉反馈训练系统。本综述对目前临床研究中的多种视觉反馈镜像设备进行介绍,并对其在不同功能障碍脑卒中患者中的运用和作用机制进行探讨,以期康复训

练新技术的开发和应用提供方向。

不同视觉反馈的镜像设备

一、基于计算机成像的镜像疗法

传统二维的镜像装置是将镜子垂直或倾斜放于患者两侧肢体之间,镜面朝向患侧,使患者在偏瘫侧能观察到镜像中反射的健侧影像,从而忽略其自身受影响的部位,其操作和疗效受设备影响较大。基于计算机成像的镜像疗法通过先进的摄像技术,将成像呈现于电子屏幕上,并对患侧肢体进行有效遮蔽,避免患者能直接观察到其受影响的部位,从而使患者在训练时更有沉浸感,参与度更高。

Hoermann 等^[8]使用增强反射技术,将监视器臂、网络摄像头与 22 英寸电脑屏幕相结合,将健侧手部影像呈现于患侧方的屏幕上,并结合镜像训练方案,使脑卒中患者可以在无临床医生陪伴和居家的情况下使用。Ding 等^[9]采用多模态镜像疗法,即基于摄像机的镜像视觉反馈设备,也称为“镜盒”(1200 mm×940 mm×702 mm),用镜像视觉反馈代替平面镜,并在镜盒顶部安装了两台摄像机,以捕捉脑卒中患者健侧手部的运动,在镜盒上固定一块 23.8 英寸的发光二极管屏幕,以此向患者呈现视觉反馈。

以上设备均是以镜像反射的原理为基础,将摄像头与显像设备相结合,有效遮挡了患侧肢体,将健侧肢体的成像呈现于患侧水平上方,从而在视觉上让患者认为该成像来源于自身患侧,提升了患者在康复训练中的真实感和沉浸感。

二、机器人镜像疗法

近年来,康复训练设备的电子化、信息化、科技化趋势愈发明显。镜像康复机器人是将机器人与镜像疗法相结合的一种新型训练系统,在临床上逐渐开始应用。

镜像上肢康复机器人主要分为末端操纵式上肢康复机器人、外骨骼式上肢康复机器人、电缆式上肢康复机器人^[10]。手功能康复机器人柔性手套,利用手套结合柔性机器人技术和神经科学,以柔性气动仿生肌肉作为动力源,用健手带动患手,形成双手镜像模式,帮助患者通过“中枢-外周-中枢”模式形成闭环刺激^[11],从肌肉、神经、大脑层面,提高手部康复效果,加快手功能康复进程^[12]。Beom 等^[13]开发了一种二维的镜像机器人系统,增加了姿势与导航参考系统传感器、无刷直流电机、外骨骼框架,作为传统镜像治疗的附加模块,使脑卒中偏瘫患者的手臂能够实时移动。Kim 等^[14]将软体机器人手套应用于脑卒中偏瘫患者,通过功能性近红外光谱成像技术发现,使用镜像治疗患者的运动皮质能够诱导出较强的神经激活。上述机器人康复训练设备能代替治疗师做大量的、循环往复的训练动作,但因均属于临床研究的初步阶段,还需要更进一步大规模的临床研究来支持这一举措。目前,手部与上肢一体化的镜像机器人设备尚较为少见,可作为今后的研究方向之一。

镜像下肢康复机器人可以通过模仿正确的行走模式,利用采样点的角度、角速度、角加速度、相位等信息,调节非受累侧步态的行动轨迹,增强患肢的本体感觉输入,促进行走时骨盆、双下肢运动、步态的改善,进而提高脑卒中偏瘫患者的步行能力^[15]。但目前该领域的相关研究较少。

三、虚拟现实镜像疗法

虚拟现实设备包括桌面平台或电脑显示器、键盘、鼠标或操纵杆、触觉手套或头戴式显示器等多个部分,其利用设备创造接近真实世界的虚拟环境,进而供受试者与虚拟环境实现交互。有研究显示,虚拟现实技术可能对脑卒中慢性期偏瘫患者的运动规划和学习能力恢复有所助益,从而提高运动表现^[16]。虚拟现实设备按照沉浸式级别,分为非沉浸式、半沉浸式、完全沉浸式^[17]。其中,沉浸式虚拟现实镜像疗法更能为患者带来沉浸式体验。

Weber 等^[18]验证了对慢性脑卒中患者予以虚拟现实镜像疗法的可行性,患者头戴显示器,健手握住控制器,患者可在视野中看见虚拟的自己和完整显示的患侧肢体,其中患侧肢体的动作是健侧肢体的镜像。进行任务训练时,先让患者进行肩、肘、腕关节活动,然后进行叠石头动作热身,最后在虚拟环境的餐厅中执行多项功能性任务,如叠放盘子、摆放茶具、转移水果、翻转桌面等。虽然训练周期短,Fugl-Meyer 上肢运动功能评分仅有小幅度改善,且差异无统计学意义($P>0.05$),但研究者通过对患者的体验调查,发现沉浸式虚拟现实镜像疗法对于慢性脑卒中患者的安全性、依从性、耐受度均较好,提示对慢性脑卒中患者予以虚拟现实镜像疗法是可行的。

Mekbib 等^[19]使用一种镜像神经元沉浸式虚拟现实康复系统,对亚急性脑卒中患者进行虚拟肢体单侧和双侧抓取和释放球训练,旨在改善患者的上肢功能。结果显示,经过 2 周训练,患者的 Fugl-Meyer 上肢运动功能评分改善($P<0.05$)。训练前后,患者均接受核磁共振检查,结果发现训练后患者双侧大脑初级运动皮质 M1 区的功能连接增强,推测可能与激活了受损

脑区域的镜像神经元有关。

虚拟现实疗法增加了不同的虚拟活动场景,丰富了脑卒中患者的训练内容,使治疗变得更有趣,提高了患者的治疗积极性,但是该技术也存在一些不足:①忽略了对患侧肢体的干预,缺乏手部精细动作的成像;②对患者自身的执行能力、训练场地要求较高;③设备及研发费用昂贵,对产品技术、设备硬件质量,以及屏幕像素、色彩、画面内容等软件有一定的要求。

不同镜像视觉反馈疗法的应用

一、肢体运动功能

Altschuler 等^[20]将镜像疗法应用于脑卒中偏瘫患者,结果发现镜像疗法能够提高患侧肢体关节活动范围、运动速度和精确度。一项系统综述对 62 项研究(包括 1982 例参与者)进行了调查,结果发现镜像疗法在改善脑卒中患者运动功能障碍方面的证据为中等质量,且在训练后 6 个月的随访中均表现出了较好的疗效^[21]。其机制是通过运动行为观察,引发运动想象、模仿和诱导运动学习,并激活初级运动皮质脑区^[22]和皮质脊髓通路^[3],进而改善运动功能。

Zhuang 等^[23]使用基于摄像机的镜像视觉反馈设备,对患者进行双边合作任务训练,经过 4 周干预后,使用设备训练的镜像组 Fugl-Meyer 上肢运动功能评分较非镜像组改善显著,表明该训练模式是一种可行且实用的方法,可提高脑卒中患者偏瘫侧肢体的运动功能、手部灵活性,改善日常生活能力。Picelli 等^[24]采用机器人辅助手臂训练来改善帕金森病患者的上肢运动功能,该设备提供了由计算机控制下的重复、双侧、镜像前臂旋前/旋后练习和手腕伸展/屈曲练习,每次 45 min,共 2 周,结果显示患者训练后的九孔柱测试时间和 Fugl-Meyer 上肢运动功能评分均显著改善。Mekbi 等^[25]招募了 23 例脑卒中患者,将其随机分配为两组,两组患者均接受作业治疗,实验组 12 例患者在此基础上增加单侧及双侧上肢完全沉浸式的虚拟现实镜像训练,结果显示,两组患者 Barthel 指数显著改善,且实验组 Fugl-Meyer 上肢运动功能评分较对照组改善优异($P<0.05$),通过静息态功能性磁共振技术发现,实验组患者的神经活动水平增加,尤其是涉及镜像神经元的大脑区域。

二、面神经麻痹

镜像疗法不仅可以用于肢体的功能恢复,还可用于治疗面神经麻痹。传统治疗面神经麻痹的镜像疗法使用“镜书”,即双折镜原理,将一面镜子放在患者面部正中矢状面,镜面朝向健侧,另一面镜子冠状位垂直于该镜面,通过两次反射患者健侧面部,整合为一个对称的面部镜像,并将其呈现给患者,通过配合面部训练来改善面部功能^[26]。但传统疗法存在镜面位置控制不到位、面部镜像整合困难等问题,在用户体验和产品设计方面还有待进一步完善。为此,研究者们不断改进镜像设备,将镜面成像原理与计算机技术相结合,从而使面瘫患者面部图形展现的更为对称和自然。

有学者使用平板电脑镜像应用程序,将平板电脑中脑卒中面瘫患者的面部图像左右互换,然后在屏幕成像中将瘫痪侧面部遮住,使患者患侧面部在屏幕中呈现的图像是其健侧面部的图像,让患者产生瘫痪侧面部正常的错觉,经过 14 d 的治疗,镜像组的面神经评级、面部运动的双侧差异和比率均较非镜像组显著改善^[27]。Ding 等^[28]通过定制的基于计算机视觉技术的面

部镜像系统设备,联合系统的面瘫训练程序,配有有语音运动任务导向的训练,更为具体地指导患者做面部表情训练,该方法增加了视觉感知,提高了患者参与度,与传统的镜像疗法相比,基于计算机视觉技术的面部镜像系统设备具有更好的用户体验和面部感知能力。镜像疗法的原理基于大脑的神经可塑性,这也是脑卒中患者康复的主要理论基础。将镜像疗法与面部图像计算机技术相结合,能够改善患者的面部肌肉活动,整合面部肌肉之间的精细运动,抑制并减少面部相关肌肉的随意运动^[29]。目前镜像疗法更多运用于治疗周围性面瘫^[30-31],而在中枢性面瘫患者中的应用研究较少,需要进一步大样本、高质量的临床研究。

三、语言功能

有研究报道,手部动作观察训练能够引起镜像神经元系统相关区域(包括重要的语言中枢)的较多激活,如额叶、颞叶、顶叶等^[32-33],推测海马区联系可能是镜像疗法促进语言功能恢复的机制之一^[34]。

有研究进行了一项随机对照试验,研究者采用可穿戴式音视频数据双向反馈训练系统,对急性脑卒中患者进行干预,该系统包含 320 个关于日常手部活动的动作视频,并将其分为 3 个步骤:①显示与动作匹配的嘴形;②加用语音提示,形成嘴形-语音-手势;③显示常见的活动动作,如打电话、吹蜡烛、用钥匙开门、切西瓜、用钢笔书写等。患者根据不同的康复阶段,观看不同难度级别的运动视频。每日治疗 35 min,每周治疗 5 d,持续 2 周。结果发现,与对照组相比,手部动作观察训练可提高脑卒中失语症患者的失语商、命名和西方失语症成套测试分数,并发现大脑 Broca 区、Wernicke 区和缘上回区都有相应的激活^[35]。

新近的研究假说认为上肢运动状态与语言功能呈正相关,尤其是自发言语能力^[36]。这一论点,从一定程度上也支持手部动作观察训练能够激活和重构镜像神经元系统,今后的研究可进一步探讨。

四、其他

镜像视觉反馈技术还可用于改善脑卒中患者的步态和平衡功能。In 等^[37]采用“虚拟现实反射疗法(virtual reality reflection therapy, VRRT)”对脑卒中患者的下肢进行镜像视觉反馈训练,将患者偏瘫侧下肢置于 VRRT 箱中,摄像头会捕捉健侧下肢的运动,将其作为偏瘫侧下肢的虚拟现实生物反馈,研究结果显示,无论是静态测试还是动态测试,脑卒中患者的平衡功能和 10 m 步行速度均有所提高。

近年来,有研究者将镜像疗法用于缓解脑卒中后偏瘫侧肢体疼痛,取得了较好疗效,该研究认为镜像疗法通过视觉错误激活,可以直接对初级躯体感觉皮质进行调控^[38]。目前,尚缺乏成熟的、可应用于改善脑卒中后感觉障碍的相关设备^[39]。

总结

镜像设备从传统的镜子,发展到“镜盒”、镜像眼镜^[40],多年来在不同技术领域的推动下不断创新改进。除上述文中列举的镜像疗法设备以外,还有非侵入性脑刺激结合镜像疗法^[41-42]、镜像视觉反馈结合机器人^[43]等多种联合方案。但也有学者认为,鉴于目前研究的证据等级不高,部分疗法联用可

能并不能有效提高镜像疗法的疗效^[44]。

不同的镜像视觉反馈疗法,扩大了脑卒中后功能障碍的治疗领域,增加了脑卒中平衡功能障碍、面神经麻痹、言语障碍患者康复的可能性。但由于受技术水平、人力物力等方面的局限,目前这些镜像设备仅能在部分医疗机构中开展,其后续的实验设计优化、操作规范性、技术安全性等有待进一步完善。总之,镜像视觉反馈疗法在未来的发展和研究空间较大,对推动康复训练新技术发展有着积极的作用。

参考文献

- [1] 高一鹭,王文志. 脑血管病流行病学研究进展[J]. 中华神经科杂志, 2015, 48(4): 337-340. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2015.04.021.
- [2] Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Cobb S. Touching the phantom limb[J]. Nature, 1995, 377(6549): 489-490. DOI: 10.1038/377489a0.
- [3] Gandhi DB, Sterba A, Khatter H, et al. Mirror therapy in stroke rehabilitation: current perspectives[J]. Ther Clin Risk Manag, 2020, 16: 75-85. DOI: 10.2147/TCRM.S206883.
- [4] 张永祥,邢波,王强,等. 静息态功能性磁共振成像下观察镜像疗法与动作观察疗法对脑卒中患者大脑可塑性的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(4): 332-335. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.04.009.
- [5] Rossiter HE, Borrelli MR, Borchert RJ, et al. Cortical mechanisms of mirror therapy after stroke[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2015, 29(5): 444-452. DOI: 10.1177/1545968314554622.
- [6] Wasaka T, Kakigi R. The effect of unpredicted visual feedback on activation in the secondary somatosensory cortex during movement execution[J]. BMC Neurosci, 2012, 13: 138. DOI: 10.1186/1471-2202-13-138.
- [7] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.11.009.
- [8] Hoermann S, Santos LF, Morkisch N, et al. Computerised mirror therapy with augmented reflection technology for early stroke rehabilitation: clinical feasibility and integration as an adjunct therapy[J]. Disabil Rehabil, 2017, 39(15): 1503-1514. DOI: 10.1080/09638288.2017.1291765.
- [9] Ding L, Wang X, Guo X, et al. Effects of camera-based mirror visual feedback therapy for patients who had a stroke and the neural mechanisms involved: protocol of a multicenter randomised control study[J]. BMJ Open, 2019, 9(3): e22828. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-022828.
- [10] 陈书立,张景景,陈海洋,等. 镜像上肢康复机器人研究[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(2): 321-326. DOI: 10.19734/j.issn.1001-3695.2017.12.0862.
- [11] 贾杰. “中枢-外周-中枢”闭环康复——脑卒中后手功能康复新理念[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(11): 1180-1182. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2016.11.001.
- [12] 王传凯,贾杰. 镜像运动康复机器人对卒中亚急性期手运动功能障碍的康复效果研究[J]. 中国脑卒中杂志, 2021, 16(3): 6-11. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2021.03.002.
- [13] Beom J, Koh S, Nam H S, et al. Robotic mirror therapy system for functional recovery of hemiplegic arms[J]. J Vis Exp, 2016, 114:

- 54521.DOI:10.3791/54521.
- [14] Kim DH, Lee K, Bulea T C, et al. Increasing motor cortex activation during grasping via novel robotic mirror hand therapy: a pilot fNIRS study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1):8.DOI:10.1186/s12984-022-00988-7.
 - [15] 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.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.01.005.
 - [16] Calabrò RS, Naro A, Russo M, et al. The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2017, 14(1):53.DOI:10.1186/s12984-017-0268-4.
 - [17] García-Betances RI, Waldmeyer MT, Fico G, et al. A succinct overview of virtual reality technology use in Alzheimer's disease[J]. *Front Aging Neurosci*, 2015, 7:80.DOI:10.3389/fnagi.2015.00080.
 - [18] Weber LM, Nilsen DM, Gillen G, et al. Immersive virtual reality mirror therapy for upper limb recovery after stroke[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2019, 98(9):783-788. DOI:10.1097/PHM.0000000000001190.
 - [19] Mekbib DB, Zhao Z, Wang J, et al. Proactive motor functional recovery following immersive virtual reality-based limb mirroring therapy in patients with subacute stroke[J]. *Neurotherapeutics*, 2020, 17(4):1919-1930.DOI:10.1007/s13311-020-00882-x.
 - [20] Altschuler EL, Wisdom SB, Stone L, et al. Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror[J]. *Lancet*, 1999, 353(9169):2035-2036.DOI:10.1016/S0140-6736(99)00920-4.
 - [21] Thieme H, Morkisch N, Mehrholz J, et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 7(7):CD008449.DOI:10.1002/14651858.CD008449.pub3.
 - [22] Jegatheeswaran G, Vesia M, Isayama R, et al. Increases in motor cortical excitability during mirror visual feedback of a precision grasp is influenced by vision and movement of the opposite limb[J]. *Neurosci Lett*, 2018, 681:31-36.DOI:10.1016/j.neulet.2018.05.026.
 - [23] Zhuang J, Ding L, Shu B, et al. Associated mirror therapy enhances motor recovery of the upper extremity and daily function after stroke: a randomized control study[J]. *Neural Plast*, 2021, 2021:1-9.DOI:10.1155/2021/7266263.
 - [24] Picelli A, Tamburin S, Passuello M, et al. Robot-assisted arm training in patients with Parkinson's disease: a pilot study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014, 11:28.DOI:10.1186/1743-0003-11-28.
 - [25] Mekbib DB, Debeli DK, Zhang L, et al. A novel fully immersive virtual reality environment for upper extremity rehabilitation in patients with stroke[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2021, 1493(1):75-89.DOI:10.1111/nyas.14554.
 - [26] Barth JM, Stezar GL, Acierno GC, et al. Mirror box therapy for the treatment of idiopathic facial palsy[J]. *Ear Nose Throat J*, 2014, 93(9):E11-E14.DOI:10.1177/0145561320913211.
 - [27] Kang J, Chun MH, Choi SJ, et al. Effects of mirror therapy using a tablet PC on central facial paresis in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2017, 41(3):347-353.DOI:10.5535/arm.2017.41.3.347.
 - [28] Ding L, Li L, Xu Z, et al. Computer vision technology-based face mirroring system providing mirror therapy for Bell's palsy patients[J]. *Disabil Rehabil*, 2020, 42(6):833-840. DOI:10.1080/09638288.2018.1510551.
 - [29] Gil-Martínez A, Lerma-Lara S, Hernando-Jorge A, et al. Influence of mirror therapy (specular face software) on electromyographic behavior of the facial muscles for facial palsy[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(7):930. DOI:10.3390/brainsci11070930.
 - [30] 冯建宏,周权,汤清平. 镜像视觉反馈训练对周围性面瘫合并干眼综合征患者的效果观察[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2021, 24(18):1600-1608.DOI:10.12083/SYSJ.2021.17.016.
 - [31] Paolucci T, Cardarola A, Colonnelli P, et al. Give me a kiss! An integrative rehabilitative training program with motor imagery and mirror therapy for recovery of facial palsy[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2020, 56(1):58-67.DOI:10.23736/S1973-9087.19.05757-5.
 - [32] 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.DOI:10.4103/1673-5374.250580.
 - [33] Chen W, Ye Q, Ji X, et al. Mirror neuron system based therapy for aphasia rehabilitation[J]. *Front Psychol*, 2015, 6:1665.DOI:10.3389/fpsyg.2015.01665.
 - [34] Chen Q, Shen W, Sun H, et al. Effects of mirror therapy on motor aphasia after acute cerebral infarction: a randomized controlled trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2021, 49(1):103-117.DOI:10.3233/NRE-210125.
 - [35] Chen W, Ye Q, Zhang S, 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.DOI:10.4103/1673-5374.250580.
 - [36] Xu S, Yan Z, Pan Y, et al. Associations between upper extremity motor function and aphasia after stroke: a multicenter cross-sectional study[J]. *Behav Neurol*, 2021, 2021:9417173.DOI:10.1155/2021/9417173.
 - [37] In T, Lee K, Song C. Virtual reality reflection therapy improves balance and gait in patients with chronic stroke: randomized controlled trials[J]. *Med Sci Monit*, 2016, 22:4046-4053.DOI:10.12659/MSM.898157.
 - [38] Fritsch C, Wang J, Santos LF, et al. Different effects of the mirror illusion on motor and somatosensory processing[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2014, 32(2):269-280.DOI:10.3233/RNN-130343.
 - [39] 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. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.04.020.
 - [40] Milde C, Rance M, Kirsch P, et al. Do mirror glasses have the same effect on brain activity as a mirror box? Evidence from a functional magnetic resonance imaging study with healthy subjects[J]. *PLoS One*, 2015, 10(5):e127694.DOI:10.1371/journal.pone.0127694.
 - [41] Liao WW, Chiang WC, Lin KC, et al. Timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation with mirror therapy on daily function and motor control in chronic stroke: a randomized controlled pilot study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1):101.DOI:10.1186/s12984-020-00722-1.
 - [42] Kim J, Yim J. Effects of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation combined with task-oriented mirror therapy training on hand rehabilitation of acute stroke patients[J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24:743-750.DOI:10.12659/msm.905636.
 - [43] Rong J, Ding L, Xiong L, et al. Mirror visual feedback prior to robot-assisted training facilitates rehabilitation after stroke: a randomized controlled study[J]. *Front Neurol*, 2021, 12:683703. DOI:10.3389/fneur.2021.683703.
 - [44] Darbois N, Guillaud A, Pinsault N. Do robotics and virtual reality add real progress to mirror therapy rehabilitation? A scoping review[J]. *Rehabil Res Pract*, 2018, 2018:6412318. DOI:10.1155/2018/6412318.

(修回日期:2023-03-02)

(本文编辑:凌 琛)