

·综述·

基于镜像神经元理论的镜像疗法在康复医学中的应用进展*

姚淑珍¹ 勾丽洁^{1,2} 刘旭东¹ 王芳¹

镜像神经元(mirror neurons)是指能直接在观察者大脑中映射出别人的动作、情感、意图等的一类具有特殊映射功能的神经元。是Rizzolatti等^[1]于1996年在一项研究猴子大脑运动前皮质(F5)区单神经元放电情况时偶然发现的。此后多项基础研究证实人脑中是否存在镜像神经元,主要位于额下回后部(BA44)、前运动皮质(BA6)、顶下小叶(BA39,40)等部位,构成了镜像神经元系统^[2]。

镜像神经元是上世纪末期神经科学领域最重要的发现之一,基于镜像神经元理论的康复治疗方法研究越来越受到康复工作者的重视。镜像疗法作为一项新的康复治疗手段,涉及动作观察、运动想象、模仿学习等过程,同时作为一种双侧训练,利用“幻象”提供的视觉反馈作用于大脑,使支配患手运动的神经元被激活,促进脑功能重组^[3]。由此可见,镜像疗法即是以镜像神经元为神经生理学基础的康复治疗手段^[4]。随着临床研究的不断深入,该疗法在康复领域中的重要潜力及临床应用价值越来越突显出来。本文将依据文献就镜像神经元的作用机制及镜像疗法在康复领域的应用进行综述。

1 镜像神经元理论概述

1.1 镜像神经元简介

基于镜像神经元系统的功能研究是从恒河猴的功能解剖学开始的。1996年,Rizzolatti等^[1]通过用钨电极记录猴子运动前皮质(F5区)单神经元的放电,发现某些神经元不仅在其执行特定动作时放电,而且在看到其他个体(如人)执行同一动作时也兴奋。这类神经元被命名为镜像神经元,因为它们能像镜子一样映射出其他个体的动作^[1]。此后的研究显示,猴类F5区镜像神经元有以下特点:①只有在观察需要生物效应器(如口或手)与物体(如香蕉)相结合的目的明确的物体导向动作时才被激活;②不同的动作可引起不同部位镜像神经元起反应,如F5区侧面的镜像神经元在观察口面部动作(如交流及进食)时兴奋,而F5区上部的镜像神经元则在观察手部的松开和抓握等动作时兴奋;③F5区约有1/3的镜像神经元属于严格一致性镜像神经元,此类神经元的激活

需要观察与它们的编码动作严格一致的有效动作;而余下的F5区神经元只需要在动作目的上的一致性即可被激活,称为宽泛一致性神经元^[5]。Ferrari等^[6]还发现工具响应型镜像神经元的存在,它们在观察应用工具完成的动作时有强烈反应。此后一系列的动物实验证明顶下小叶嘴侧(PF区或7b区或PFG区)也存在类似的神经元,它们在猴子观察和执行相似或相同动作时均兴奋。所有这些具有镜像性质的神经元构成了猴类的镜像神经元系统。对于人类也存在类似镜像神经元的直接证据最早是由Mukamel等^[7]揭示的,他们发现患者在执行和观察动作时,内侧颞叶和辅助运动皮质等部位的一些神经元均兴奋。更多的间接证据来自无创的神经生理学(如经颅磁刺激)和脑功能成像研究(如正电子发射计算机断层显像、功能性磁共振成像、功能性近红外光谱技术等)。大量实验表明,人脑中镜像神经元主要存在边缘镜像系统和顶额镜像系统,前者由杏仁核、脑岛、前额叶皮质等构成,后者由前运动皮质、中央前回下部、Broca区、顶下小叶嘴侧和额下回后部等构成^[2]。

1.2 镜像神经元在运动功能康复中的作用机制

一系列的研究表明镜像神经元系统提供了一种“观察—执行匹配机制”,该机制能很好地统一动作执行和动作感知,并在动作模仿、动作观察、运动想象中起重要作用^[8-10],而这三个神经生理学过程又极大地影响着运动学习的进程。镜像神经元系统同样也是运动学习的重要神经机制。随着康复医学的不断发展,运动想象、动作观察、动作模仿和运动学习已成为运动功能康复的重要策略,许多康复疗法即基于这些策略。例如,运动想象疗法通过想象来改善运动能力,脑成像研究显示人体在想象某个动作时所激活的脑区与实际执行该动作时所兴奋的脑区有大量重叠,该脑区包含镜像神经元环路,因此可说明在运动想象过程中镜像神经元可能发挥着重要作用^[10-11];动作观察疗法借助观察来学习动作,模仿学习是人类特有的能力,Buccino等^[9]通过功能磁共振成像技术研究表明人类在模仿学习的过程中包括镜像神经元系统在内的一些脑区的兴奋性显著增高;而镜像法则综合了

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.07.027

*基金项目:河北省2014年度医学科学研究重点课题计划指令性项目(zl20140283)

1 承德医学院附属医院康复医学科,承德,067000; 2 通讯作者

作者简介:姚淑珍,女,硕士研究生; 收稿日期:2016-02-29

想象、观察及模仿进程,同时它也是一种双侧训练,利用“幻像”使支配患手运动的神经元被激活,帮助患手的运动功能恢复^[3];脑—机接口技术对运动功能的重建是利用神经生理学信号(比如脑电波)来进行的,该信号则是通过运动想象等生理过程中产生的,研究显示 μ 波抑制是镜像神经元存在的重要电生理学证据,很多脑—机接口实验则利用该脑电信号作控制信号^[12-13];虚拟现实疗法则是在虚拟情境中进行动作的想象、观察、模仿和学习,实验表明镜像神经元系统在其中起重要作用^[12]。显然,基于神经机制层面上,上述各疗法对运动功能的恢复很可能正是通过激活镜像神经元系统来促使大脑发生功能重组和可塑性改变^[9-13]。因此,可称其为基于镜像神经元理论的康复疗法。

2 镜像疗法在康复领域的应用

2.1 镜像疗法概述

镜像疗法又称镜像视觉反馈疗法,最早由Ramachandran和Rogers-Ramachandran^[14]于1996年提出。研究发现,镜像疗法可以改善患侧肢体的运动功能,适用于幻肢痛(phantom limb pain)、脑卒中(stroke)、周围神经损伤(peripheral nerve injury)、复杂性区域疼痛综合征(complex regional pain syndrome, CRPS)等病症。镜像疗法涉及动作观察、运动想象、模仿学习等过程,同时是一种双侧训练,通过幻像提高患肢的存在意识,有利于减轻“习得性废用”^[13,15]。该疗法利用“镜盒”来进行治疗。相关研究中的镜盒具有多种设计,但其原理相同,即在患者面前正中矢状面位置上放置一块镜子,训练偏瘫手功能时,让患者将健手放在反光面侧,患手则被镜子挡住不进入患者视野,身体偏向健侧以便能够看清镜中健手的镜像。治疗时嘱患者尽可能多地活动患手,使患手尽量与健手做同样的动作,并将看到的健手镜像想象成自己的患手,利用“幻象”提供的视觉反馈作用于大脑,从而使支配患手运动的神经元被激活,促进脑功能重组^[3]。脑电图证明,其放电形式与实际执行动作时的脑区电活动一致^[16],因此有助于患侧肢体运动功能的恢复。正是由于视觉反馈可以影响中枢运动、感觉区的皮质电活动,同时中枢又具有部分可塑性,因此,通过视觉反馈来达到康复治疗的目的就有了可行性。作为一种新型的康复治疗手段,镜像疗法在许多疾病的治疗中得到应用。

2.2 脑卒中的康复

2.2.1 上肢功能的康复:研究显示,55%—75%的脑卒中偏瘫患者遗留有上肢功能障碍^[17],一直以来传统的康复治疗手段对脑卒中偏瘫患者上肢功能障碍的康复治疗效果不理想。近年来,在这方面也涌现出许多新的治疗手段,镜像疗法便是其一。国内外已有许多有关镜像疗法在脑卒中偏瘫患者上肢功能康复中的临床研究报告。大量研究表明镜像疗法

能明显改善脑卒中患者上肢的功能^[18-25],主要体现在运动、感觉功能的恢复及日常的能力的提高方面。同时能够减轻患侧上肢的疼痛^[18-19]。但对改善患侧肢体痉挛方面无明显作用^[19,23]。另外,Cochrane library中有关镜像疗法的系统评价表明:与其他干预组相比,镜像疗法可以显著改善脑卒中偏瘫患者的运动功能^[26]。随着研究的不断深入,目前对镜像疗法结合电刺激的综合治疗方面的研究也层出不穷。Yun GJ等^[27]通过对脑卒中患者3周的研究认为镜像疗法结合神经肌肉电刺激对改善脑卒中患者腕、手的协调性和指伸肌肌力方面与单独应用镜像疗法或神经肌肉电刺激相比有显著作用,但其在改善指屈肌、腕伸、屈肌肌力及肌痉挛方面与其他组相比无明显差别。Kim等^[28]通过4周的研究认为镜像疗法结合功能电刺激对脑卒中患者上肢运动功能的Fugl-Meyer评分、Brunnstrom分期及日常生活能力的提高有显著作用。而Kojima等^[29]通过对脑卒中后30—180天之内患者8周的研究发现,镜像疗法结合神经肌肉电刺激治疗与单独应用镜像疗法或神经肌肉电刺激治疗对改善脑卒中患者的肢体功能方面无明显差别。虽然上述大多数研究均表明镜像疗法对脑卒中后上肢功能的恢复起到了积极的作用。但由于纳入人群、年龄、干预周期、观测指标不统一,试验的整体质量不高,试验结果也存在许多分歧。未来仍需开展大样本量、多中心、实验设计更完善的高质量随机对照试验来更准确地说明镜像疗法对于脑卒中后上肢功能的康复疗效及干预机制。

2.2.2 下肢功能的康复:目前关于镜像疗法对脑卒中患者患侧下肢功能的作用方面的研究相对较少。Sütbeyaz等^[30]是第一个做出此方面研究报告的相关人员。他们通过对病程12个月内的脑卒中患者进行为期4周的试验及6个月的随访,发现镜像疗法能改善脑卒中患者下肢运动功能,主要体现在Brunnstrom分期及功能独立性评定(functional independence measure, FMA)评分与对照组间的差异具有显著性意义。但对改善下肢痉挛方面与对照组相比差异无显著性意义。Mohan等^[31]通过对发生脑卒中平均6.41天内患者2周的研究表明,镜像疗法能改善急性脑卒中患者下肢运动功能,主要体现在坐位平衡、立位平衡、步行能力的提高。但对改善下肢痉挛及Fugl-Meyer评分方面同样与对照组无显著性差异。虽然研究表明镜像疗法对改善脑卒中偏瘫患者下肢功能与试验组相比有显著性差异,但由于目前镜像神经元理论尚且缺乏更多的证据,并且对其内在机制并不是特别清楚。因此对于脑卒中患者下肢运动功能是否真正能够通过干预镜像神经元系统得到恢复,而且镜像疗法是否能够作为康复手段成为治疗脑卒中后患者下肢运动障碍的新方法还需要更多的临床实践和试验来证明。

2.2.3 偏侧空间忽略症的康复:偏侧空间忽略症(unilateral

spatial neglect, hemispacial neglect)也称为偏侧忽略症(unilateral neglect, hemineglect),是颅脑损伤患者常见综合征之一,表现为患者意识不到病灶对侧空间内的事物或者无法正确地对其做出反应并进行加工,对患者的康复进程、日常活动能力、住院周期等均带来不利影响^[32-33]。相关研究证实,动作观察的过程可以激活镜像神经元系统,包括前运动皮质、额下回后部、顶下小叶^[34-35]。顶下小叶则是空间注意功能的关键脑区,顶下小叶受损或功能下降均会导致偏侧忽略症。故能否通过观察肢体动作激活镜像神经元系统,从而重组或修复受损脑组织的注意机制,改善其偏侧忽略症状,目前国内外鲜见报道。Pandian等^[36]通过对偏侧空间忽略患者6个月的研究发现,镜像疗法可改善患者的空间忽略症状,主要体现在线等分试验及图像识别任务得分与对照组相比差异具有显著性意义。Dohle等^[37]对脑卒中后8周以内的患者6周的研究认为,急性脑卒中后偏侧空间忽略患者早期介入镜像疗法可使患者的轻触觉及注意力提高,并能改善患侧肢体远端运动范围。Wang W等^[38]通过行为注意障碍评测发现镜像神经元系统可作为一个新的研究领域来改善偏侧空间忽略患者的临床症状。崔立军等^[39]通过对1例典型偏侧空间忽略病例的个案研究发现镜像疗法对脑卒中偏侧忽略患者有效,主要体现在偏侧忽略症状、线等分试验、删除试验均较入院前有改善。虽然上述报道均认为镜像疗法可以改善患者的偏侧空间忽略症状,但今后仍需要更多大样本的试验以明确这种基于镜像神经元理论的训练方法是否真正能够改善偏侧忽略症状,促使脑与认知科学领域的新的理论成果及发现应用到偏侧忽略症的康复治疗中。

2.3 幻肢痛的康复

幻肢感和幻肢痛是截肢患者经常遇到的问题,经验发现各种药物治疗往往无效。对幻肢痛的发生原理,目前尚没有统一的意见,Davis等^[40-41]的研究表明,大脑皮质功能重组、大脑机能、脊髓机能及外周神经机能的改变可能与幻肢痛有关。近年来,已经有许多研究认为镜像疗法对幻肢感和幻肢痛的治疗有效。Wilcher等^[42]通过对1例24岁的左上肢截肢男子的个案研究发现镜像视觉反馈结合改进的止痛听觉反馈治疗可以减缓患者的疼痛感觉。Tilak等^[43]的研究则认为镜像疗法和经皮神经电刺激治疗均能降低截肢后幻肢痛患者的视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS),但两组间的治疗效果却无显著性差异。Hanling等^[44]的研究则发现截肢手术前的镜像疗法可以提高截肢后患者物理治疗的依从性,并减少幻肢痛的发生率。以上研究均提示对于幻肢痛的患者,镜像疗法是一种较好的治疗手段。

2.4 周围神经损伤后的康复

周围神经损伤后,因损伤神经局部神经纤维异常增生,会形成迂曲、错长的创伤性神经瘤。创伤性神经瘤合并受损

神经感觉改变后的灼痛根据国际疼痛研究学会(international association for the study of pain, IASP)的分类标准属于复杂区域性疼痛综合征Ⅱ型,Vernadakis等^[45]调查发现虽然大约150—200项技术已经建议用于治疗 and 预防神经瘤相关灼痛,但其治疗仍然非常困难。Selles等^[46]通过对两例神经瘤患者的研究发现,镜像疗法可以明显减轻患者的灼痛感,提高其日常生活能力。但镜像疗法结束后患者的灼痛感又返回到初始水平。虽然研究认为镜像疗法不能长期维持减缓神经瘤患者疼痛的功效,但短期内的镜像疗法可以用来缓解患者手术前的疼痛,并维持关节的力量和活动度。

2.5 面神经炎的康复

面神经炎又称Bell麻痹,因面神经炎或神经瘤切除术引起面部神经受损后,面部神经功能不能完全恢复的发生率占25%—30%。这些患者在吃饭、喝水和说话时常不自觉流涎,给日常生活带来严重影响。对面神经炎的治疗常采用激素疗法、理疗、针灸、神经营养代谢药物等治疗。Ross等^[47]通过对慢性单侧周围性面神经损伤患者的研究发现,镜像疗法结合肌电生物反馈疗法或者单独应用镜像疗法均能明显改善患者症状,提高其生存质量。Dalla等^[48]的试验则认为面神经轴索断裂的患者接受肌电生物反馈和镜像疗法的治疗效果相同,并且与没有接受康复治疗的对照组相比并没有显著性差异。目前关于镜像疗法在Bell麻痹中应用的研究较少并且存在一定的争议。

2.6 脑性瘫痪的康复

据调查显示,脑瘫患儿的发病率在2‰—3‰,且有大幅上升趋势。及早开展各类康复治疗,如语言康复、运动疗法、作业疗法等对脑瘫患儿的康复起着至关重要的作用。近几年有关镜像疗法对脑瘫患儿的疗效的试验发现,镜像疗法对脑瘫患儿有一定的治疗效果。如Feltham等^[49]的一项研究发现镜像疗法可以降低患侧肩部的肌紧张,同时缩短患侧肘部肌肉向心和离心收缩的持续时间。其另一项研究表明镜盒可以造成视觉错误,提高视觉感知度,改善痉挛型偏瘫型脑瘫患儿的双侧对称性运动^[50]。刘洋等^[51]的研究却认为镜像疗法能改善脑瘫患儿的上肢运动功能,使其握力、肌肉厚度、前臂旋后角度增加,但对改善患儿肢体痉挛无明显效果。虽然目前关于镜像疗法在脑瘫患儿中的应用尚不成熟,但相信随着更多镜像治疗对脑瘫患儿的试验研究的开展,镜像疗法极有可能成为治疗偏瘫型脑瘫患者的一种常规治疗方法。

3 展望

镜像神经元的发现给现有的临床工作带来了很大的补充和挑战,我们发现镜像疗法成本低,操作简单,不良反应小,可推荐在临床上广泛使用。随着研究的深入,镜像疗法将尝试应用于治疗多种疾病,如对孤独症患者、精神分裂症患者

者、臂丛根性撕脱伤患者、失语症患者、骨折后主动活动不能患者均有着巨大的应用潜力。但在如何解释其机制及如何将该系统的基础发现应用于临床,还有待于进一步探索研究。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Cattaneo L, Rizzolatti G. The mirror neuron system[J]. *Arch Neurol*, 2009, 66(5):557—560.
- [3] Ramachandran VS, Altschuler EL. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function[J]. *Brain*, 2009, 132(Pt 7):1693—1710.
- [4] Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action [J]. *Nat Rev Neurosci*, 2001, 2(9):661—670.
- [5] Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system[J]. *Annu Rev Neurosci*, 2004, 27(1):169—192.
- [6] Ferrari PF, Rozzi S, Fogassi L. Mirror neurons responding to observation of actions made with tools in monkey ventral premotor cortex[J]. *J Cogn Neurosci*, 2005, 17(2):212—226.
- [7] 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.
- [8] Iacoboni M, Molnar-Szakacs I, Gallese V, et al. Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system [J]. *PLoS Biol*, 2005, 3(3):e79.
- [9] Buccino G, Vogt S, Ritzl A, et al. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study[J]. *Neuron*, 2004, 42(2):323—334.
- [10] Mulder T. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation[J]. *J Neural Transm (Vienna)*, 2007, 114(10):1265—1278.
- [11] Kosslyn SM, Ganis G, Thompson WL. Neural foundations of imagery[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2001, 2(9):635—642.
- [12] Holper L, Wolf M. Motor imagery in response to fake feedback measured by functional near-infrared spectroscopy [J]. *Neuroimage*, 2010, 50(1):190—197.
- [13] Birbaumer N, Cohen LG. Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis[J]. *J Physiol*, 2007, 579(Pt 3):621—636.
- [14] Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors[J]. *Proc Biol Sci*, 1996, 263(1369):377—386.
- [15] Michielsen ME, Smits M, Ribbers GM, et al. The neuronal correlates of mirror therapy: an fMRI study on mirror induced visual illusions in patients with stroke[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2011, 82(4):393—398.
- [16] Calmels C, Holmes P, Jarry G, et al. Variability of EEG synchronization prior to and during observation and execution of a sequential finger movement[J]. *Hum Brain Mapp*, 2006, 27(3):251—266.
- [17] Merians AS, Jack D, Boian R, et al. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke[J]. *Phys Ther*, 2002, 82(9):898—915.
- [18] Cacchio A, De Blasis E, De Blasis V, et al. Mirror therapy in complex regional pain syndrome type 1 of the upper limb in stroke patients[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2009, 23(8):792—799.
- [19] 张洪翠,于大君,刘志华,等. 镜像疗法对偏瘫患者上肢功能康复疗效的观察[J]. *中国卒中杂志*, 2011, 6(5):381—387.
- [20] Michielsen ME, Selles RW, van der Geest JN, et al. Motor recovery and cortical reorganization after mirror therapy in chronic stroke patients: a phase II randomized controlled trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2011, 25(3):223—233.
- [21] de Almeida Oliveira R, Cintia Dos Santos Vieira P, Rodrigues Martinho Fernandes LF, et al. Mental practice and mirror therapy associated with conventional physical therapy training on the hemiparetic upper limb in poststroke rehabilitation: a preliminary study[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2014, 21(6):484—494.
- [22] Mirela Cristina L, Matei D, Ignat B, et al. Mirror therapy enhances upper extremity motor recovery in stroke patients [J]. *Acta Neurol Belg*, 2015, 115(4):597—603.
- [23] Samuelkamaleshkumar S, Reethajanetsureka S, Pauljebraj P, et al. Mirror therapy enhances motor performance in the paretic upper limb after stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(11):2000—2005.
- [24] 张晓钰,桑德春,王丽华. 弥散张量纤维束成像分析脑卒中偏瘫患者镜像治疗康复后大脑再塑变换的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2013, 28(8):727—730.
- [25] 丁力,贾杰. “镜像疗法”作为一种康复治疗技术的新进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(5):509—512.
- [26] Thieme H, Mehrholz J, Pohl M, et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke[J]. *Stroke*, 2013, 44(1):e1—e2.
- [27] Yun GJ, Chun MH, Park JY, et al. The synergic effects of mirror therapy and neuromuscular electrical stimulation for hand function in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2011, 35(3):316—321.
- [28] Kim H, Lee G, Song C. Effect of functional electrical stimulation with mirror therapy on upper extremity motor

- function in poststroke patients[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2014, 23(4):655—661.
- [29] Kojima K, Ikuno K, Morii Y, et al. Feasibility study of a combined treatment of electromyography-triggered neuromuscular stimulation and mirror therapy in stroke patients: a randomized crossover trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2014, 34(2):235—244.
- [30] Sütbeyaz S, Yavuzer G, Sezer N, et al. Mirror therapy enhances lower-extremity motor recovery and motor functioning after stroke: a randomized controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2007, 88(5):555—559.
- [31] Mohan U, Babu SK, Kumar KV, et al. Effectiveness of mirror therapy on lower extremity motor recovery, balance and mobility in patients with acute stroke: A randomized sham- controlled pilot trial[J]. *Ann Indian Acad Neurol*, 2013, 16(4):634—639.
- [32] Parton A, Malhotra P, Husain M. Hemispatial neglect[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2004, 75(1):13—21.
- [33] 陈晓伟,余滨宾,单春雷,等.脑梗死后偏侧空间忽略症患者不同感觉通道与空间参考框架的表现及其康复效果[J].*中国脑血管病杂志*,2012,9(6):317—320.
- [34] Haslinger B, Erhard P, Altenmüller E, et al. Transmodal sensorimotor networks during action observation in professional pianists[J]. *J Cogn Neurosci*, 2005, 17(2):282—293.
- [35] Johansen-Berg H, Dawes H, Guy C, et al. Correlation between motor improvements and altered fMRI activity after rehabilitative therapy[J]. *Brain*, 2002, 125(Pt 12):2731—2742.
- [36] Pandian JD, Arora R, Kaur P, et al. Mirror therapy in unilateral neglect after stroke (MUST trial): a randomized controlled trial[J]. *Neurology*, 2014, 83(11):1012—1017.
- [37] Dohle C, Püllen J, Nakaten A, et al. Mirror therapy promotes recovery from severe hemiparesis: a randomized controlled trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2009, 23(3):209—217.
- [38] Wang W, Zhang X, Ji X, et al. Mirror neuron therapy for hemispatial neglect patients[J]. *Sci Rep*, 2015, 5(2):8664.
- [39] 崔立军,吴毅,胡永善.脑卒中后单侧忽略的评价及康复治疗[J].*中国康复医学杂志*,2008,23(11):1043—1045.
- [40] Davis KD, Kiss ZH, Luo L, et al. Phantom sensations generated by thalamic microstimulation[J]. *Nature*, 1998, 391(6665):385—387.
- [41] Isaacson SA, Funderburk M, Yang J. Regulation of proprioceptive memory by subarachnoid regional anesthesia[J]. *Anesthesiology*, 2000, 93(1):55—61.
- [42] Wilcher DG, Chervov I, Yan K. Combined mirror visual and auditory feedback therapy for upper limb phantom pain: a case report[J]. *J Med Case Rep*, 2011, (5):41.
- [43] Tilak M, Isaac SA, Fletcher J, et al. Mirror therapy and transcutaneous electrical nerve stimulation for management of phantom limb pain in amputees—a single blinded randomized controlled trial[J]. *Physiother Res Int*,2016,21(2):109—115.
- [44] Hanling SR, Wallace SC, Hollenbeck KJ, et al. Preamputation mirror therapy may prevent development of phantom limb pain: a case series[J]. *Anesth Analg*, 2010, 110(2):611—614.
- [45] Vernadakis AJ, Koch H, Mackinnon SE. Management of neuromas[J]. *Clin Plast Surg*, 2003, 30(2):247—268.
- [46] Selles RW, Schreuders TA, Stam HJ. Mirror therapy in patients with causalgia (complex regional pain syndrome type II) following peripheral nerve injury: two cases[J]. *J Rehabil Med*, 2008, 40(4):312—314.
- [47] Ross B, Nedzelski JM, McLean JA. Efficacy of feedback training in long-standing facial nerve paresis[J]. *Laryngoscope*, 1991, 101(7 Pt 1):744—750.
- [48] Dalla Toffola E, Tinelli C, Lozza A, et al. Choosing the best rehabilitation treatment for Bell's palsy[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2012, 48(4):635—642.
- [49] Feltham MG, Ledebt A, Deconinck FJ, et al. Mirror visual feedback induces lower neuromuscular activity in children with spastic hemiparetic cerebral palsy[J]. *Res Dev Disabil*, 2010, 31(6):1525—1535.
- [50] Feltham MG, Ledebt A, Bennett SJ, et al. The "mirror box" illusion: effect of visual information on bimanual coordination in children with spastic hemiparetic cerebral palsy [J]. *Motor Control*, 2010, 14(1):68—82.
- [51] 刘洋,李晓捷,汤敬华,等.镜像视觉反馈疗法治疗20例偏瘫型脑性瘫痪儿童上肢功能疗效观察[J].*中国中西医结合儿科学*, 2013,5(2):162—164.