

分级运动想象疗法在康复中的研究进展

何佳玥¹ 刘超然² 张 凯² 王小泉² 钱菁华¹ 王宁华^{2,3}

1 分级运动想象疗法概述

分级运动想象疗法(graded motor imagery, GMI)最初由Moseley等^[1-3]学者提出,兼顾了运动想象能提高患者认知能力与镜像疗法能实现运动神经通路异化等各自的优点,设计出GMI训练,包括左右肢体判断、运动想象和镜像疗法三个阶段。2012年,Moseley与同事Butler等制定了实施GMI的规范手册^[4],且开发了更简便的“Recognize™系列”应用软件(<http://www.gradedmotorimagery.com>)。虽然在当时已有多项研究证实了Moseley方案的有效性,但其方案的干预时间、难度设置,以及进阶标准并未统一。Lagueux等^[5]在GMI训练的基础上制定了改良版分级运动想象疗法(modified graded motor imagery, mGMI),目的是探究此方法对慢性复杂性区域疼痛综合征(complex regional pain syndrome, CRPS)患者的疗效。mGMI将三个阶段增加到四个阶段,包括左右肢体判断、想象患肢运动、健肢镜像运动、双肢镜像运动。

分级运动想象疗法最早用于神经系统疾病相关的疼痛及运动障碍问题,例如CRPS^[1]、幻肢痛(phantom limb pain, PLP)^[6]、癌症疼痛^[7]。随着技术的发展,GMI也逐渐应用于脑血管疾病如脑卒中^[8]、骨折疼痛^[6,9]、腰椎术后^[10]、手外伤^[11]等疾病的康复中。本文就现有GMI在康复中的研究进展进行综述。

2 分级运动想象疗法的实施及原理

2.1 方案实施

分级运动想象疗法目前主要分为两大类,一类是Moseley提出的GMI三阶段法,另一类是由Lagueux提出的mGMI四阶段法。大多数研究采用的是Moseley提出的GMI三阶段法,包括实施左右肢体判断、运动想象训练和镜像疗法三个阶段的方法。

Moseley的GMI三阶段法。第一阶段:左右肢体判断训练。此阶段中,治疗人员通过图片(可通过电子移动设备显示)训练患者对单侧肢体的判断。治疗人员挑选一定数量、拍摄于不同场景、不同角度下单侧肢体的图片,随机地让患

者判断该图片里单侧肢体属于左或右侧肢体,完成所有图片的判断后,记录患者对每张图片的平均反应时间,以及辨识准确率。第二阶段:运动想象训练。运动想象是对一个没有实际执行的动作进行的想象,实施方法也有不同的形式,可采用图片、影像或录音,嘱患者根据治疗人员的指示,观察图片(影像或录音)时想象用患肢进行该运动。第三阶段:镜像疗法。治疗人员于患者健侧之间放置一块镜子,指导患者用健侧肢体做动作,并同时观察在镜中的运动成像,同时嘱患者用患肢模仿健肢的镜像进行运动。在使用GMI的三阶段治疗不同疾病时,每个阶段的实施方法虽然大致相同,但不同研究的介入时间、单次治疗时间、治疗频率、治疗周期等都各有不同^[7-8,10-12]。

Lagueux在Moseley的基础上制定了mGMI治疗方案,包括左右肢体判断、想象患肢运动、健肢镜像运动、双肢镜像运动四个阶段。较Moseley的治疗方案主要有两个改变:①将镜像整合到第二阶段,即执行想象运动(运动想象)时,患者同时需要观察镜子中健侧肢体的反射镜像。值得一提的是,mGMI治疗方案在应用于CRPS治疗时,因为CRPS患者会出现不明原因的异常疼痛,如果在试验过程中,某些动作引起了患者的疼痛,患者可在想象运动时,观察自己的健侧肢体,而不是观察镜中成像,注意在此阶段肢体需保持不动。②将第三阶段(镜像治疗)分为两个阶段,形成第四阶段。即第三阶段中仅用健侧肢体运动进行镜像治疗,而第四阶段则进阶到双侧肢体都运动的镜像治疗。

2.2 相关原理

GMI是镜像疗法与运动想象疗法的结合,还涉及部分肢体辨识的认知功能训练,但又不是这些治疗成分简单的叠加。GMI计划的基本原理是通过逐步分级的方式激活大脑的皮层,逐步纠正与疾病相关的皮层变化^[2]。一项I型CRPS研究将GMI的有序应用与无序应用进行了比较,结果表明有序应用在减轻疼痛方面有更好的效果^[1]。Moseley提出^[3],想象或镜像运动之前没有手的偏侧性识别,对症状有不良影响。因为这些运动本身激活了参与疼痛处理的皮层网络,有序进阶的实施方案保证了其治疗的科学性,然而机制尚未明

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.08.027

1 北京体育大学运动医学与康复学院,北京市,100084; 2 北京大学第一医院康复医学科; 3 通讯作者

第一作者简介:何佳玥,女,本科生; 收稿日期:2019-12-13

确。多年来,研究人员从认知心理学和神经科学的角度研究了运动想象、镜像治疗等的神经学基础,结合GMI的特点,其可能机制如下。

第一阶段左右辨别,又称偏侧性识别(laterality recognition),即区分左右肢体的能力。偏侧性识别功能依赖于大脑拥有完整的身体模式感知能力,大脑的这种感知功能在运动规划中尤为重要^[13]。Limakatso等^[7]研究表明偏侧性识别任务激活大脑的前运动皮层和辅助运动区(supplementary motor area, SMA),但初级运动皮层(primary motor cortex area, M1)除外。前运动皮层和辅助运动区的功能包括运动规划、运动序列规划和身体两侧的协调(如双手协调),而初级运动皮质是大脑产生神经冲动的主要部位,这些神经冲动向下传递到脊髓,控制着人体运动的执行功能^[14]。Moseley^[2]研究发现,辨别用图片显示的手是左手或右手这一过程会激活涉及运动输出高阶方面的大脑区域,即所谓的前运动皮层。前运动皮层还负责人体运动控制的某些方面,包括运动的准备、运动的感觉指导、到达的空间指导,或者直接控制某些人体运动,重点是控制肢体近端和躯干肌肉^[14]。Pacons等^[15]也发现在对手不同方向的侧方识别过程中,前运动皮层得以激活,而不是初级运动皮质。因此,左右辨别训练作为分级运动想象疗法的第一阶段,刺激了大脑的前运动皮层和辅助运动区,促进大脑损伤后的功能恢复。

第二阶段运动想象。运动想象的本质是一种进行重复记忆的认知训练,第一阶段未被激活的初级运动皮层会于此阶段被激活^[15]。Malouin等^[16]报道了在进行运动想象时前辅助运动区(pre-supplementary motor area, pre-SMA)和M1区被激活。也有研究表明,进行运动想象训练时,也有一定程度的初级躯体感觉皮层^[17](primary somatosensory cortex, S1)激活。该区域主要负责感受震动觉和部分痛觉,但其在痛觉中的作用仍有较大的争议^[18]。此外,心理—神经肌肉理论(psychoneuromuscular theory, PM)的主要理论依据是运动想象能够促进运动学习PM理论认为,个体大脑有储存运动计划或执行运动“图式”的功能^[19],实际活动中涉及的运动图式在想象中可得到强化。具体地说,由于运动想象与实际运动涉及相同的运动图式,运动想象加强运动技能发展的协调模式,且为肌肉提供额外的技能练习,故运动想象能促进其实际运动的表现。如当想象运动与实际体育活动进行比较时,同样的肌肉和运动皮层、基底节和小脑区域被激活^[20-22]。对于患者来说,尽管存在身体的运动功能障碍,但运动图式仍然保持完整,因此建议患者通过运动想象疗法来激活部分受损的脑神经运动网络^[23]。运动想象训练可以为脑卒中患者提供额外的技能训练,在改善运动能力的同时利用运动想象来激活部分受损的大脑运动神经网络,有助于功能重组,加速功能的恢复^[24]。

第三阶段的镜像视觉反馈训练解决了S1和M1皮质激活不足的问题。目前镜像疗法的作用机制主要有镜像神经元系统机制、视觉反馈—运动观察机制、运动通路易化机制、经胼胝体连接机制,以及抑制通路机制,其中镜像神经元系统是被普遍认同的机制。与镜像视觉反馈训练相关的治疗效果可能来源于对侧大脑半球镜像神经元的激活,研究发现这些镜像神经元在观察和执行运动任务时表现为活跃状态^[25]。镜像神经元系统由Rizzolatti等^[26]学者首先提出,包含支配感觉、运动神经的网络,它的存在为大脑的行为观察与具体行为活动之间的联系提供了一种特殊的途径。他们认为,镜像神经元系统能够直接在个体大脑中映射出外界的动作、情感、意图。镜像神经元广泛存在于多个脑区,参与动作的理解、模仿、共情、社会认知活动。镜像神经元连接视觉处理的感觉神经元和动作信号传递的运动神经元,在观察和执行运动时激活。同时镜像神经元具有可塑性,镜像神经元系统的活化使损伤脑区残存神经元的功能部分恢复,引起神经元重建运动联系,甚至促进受损神经的轴索发芽^[27]。因此,第三阶段实施的镜像疗法可能是通过上述神经学机制的发生,进而促进脑功能的重组。

3 GMI在康复治疗中的应用

3.1 GMI在CRPS中的应用

国际疼痛研究协会(the International Association for the Study of Pain)将CRPS定义为与诱发事件在时间和疼痛强度不成比例的情况下出现的一种疼痛的状态^[28]。诱发事件包括,手术、骨折、拉伤、车祸等。CRPS根据神经损伤类型分为I型与II型,I型不能确认主要受损的神经,不符合神经性疼痛的标准;而II型表现为明显的神经损伤特点^[29]。CRPS的症状表现出高度的个体差异性,除疼痛外,可能会表现出感觉—运动整合的改变和身体因畸变而导致的功能丧失,并出现认知、感觉和运动忽视的现象,其按照症状也可分为急性期与慢性期两个阶段,但具体的过度时间还未被确认。目前认为疾病发生3—6个月后,便过渡成慢性期^[30]。CRPS的具体产生机制还不明确,但其主要与神经系统的改变,包括交感神经系统、周围神经系统和中枢神经系统有关^[4,31]。迄今为止,临床上治疗CRPS的方法包括药物治疗、物理治疗、心理治疗、交感神经阻滞和脊髓电刺激等^[32]。GMI作为其治疗方法的一种,总的来说可归因于其激活皮层运动网络并改善其组织的能力,从而减轻疼痛和改善功能。

研究发现^[33],CRPS与初级躯体感觉皮层(S1)和次级躯体感觉皮质(secondary somatosensory cortex, S2)、运动皮质、后顶叶皮质(posterior parietal lobe, PPC)和辅助运动皮质区(SMA)有关。CRPS患者还表现出触觉灵敏度的降低,这也与大脑皮质重组有关^[34],正是CRPS可能的中枢神经系

统适应性可塑性改变,GMI这种治疗方法才能重新训练大脑,起到皮质重塑的作用。也正如前面机制中提到的那样,功能性核磁共振成像结果显示^[35],GMI组受试者对侧S1和S2的激活(疼痛处理区)减少,即疼痛信号得到抑制。GMI的不同阶段激活也不相同,研究表明^[35],GMI仅在镜像疗法阶段,就有相关区域(疼痛处理区)激活幅度的变化。相比之下,在运动想象阶段,研究发现只有PPC的激活量发生了显著的变化,PPC是一个在视觉领域处理物体空间质量的区域。其他11个区域,如M1、S1、S2和视觉区域在测量前没有显示出明显的激活,在治疗期间也没有显示出减少,这也就说明,GMI能够针对性地激活S1、S2、PPC,达到治疗CRPS的疗效,且不会抑制其他区域的大脑激活。

早期GMI的创始人Moseley^[1-3]将GMI应用于慢性I型CRPS患者,后人据此进行实验设计分别研究了GMI对不同类型CRPS(I型和II型),不同时期(慢性、急性)的影响,但目前未有单独对II型CRPS患者的研究。2012年Lagueux^[5]等将此应用于I型CRPS患者的急性期,并用mGMI对患者进行了干预,研究发现mGMI似乎可以有效地减少疼痛和增强急性I型CRPS患者上肢的握力。2016年Jimena等^[36]在Lagueux的试验基础上,对I型和II型CRPS患者进行了研究,研究结果表明改良GMI方案具有明显的优点,可以减轻疼痛,提高患手的主动活动能力,并有助于其在日常活动中的表现。这些研究都表明GMI是治疗CRPS的一种有效的方法。除了将GMI应用于CRPS患者治疗之外,McGee等^[37]将GMI应用于桡骨骨折老年女性,为降低或预防经石膏固定治疗而继发成为I型CRPS的发病风险。研究人员还将GMI与其他方法结合,但效果不佳,例如,Lagueux^[38]的研究表明,经颅直流电刺激联合GMI治疗没有减少慢性CRPS患者的疼痛。为了体现GMI的整体性,Méndez-Rebolledo^[39]综述分析了GMI和镜像治疗(MT)对I型和II型CRPS患者疼痛的影响,以前的研究^[1,40]也表明虽然镜像疗法能缓解急性期I型CRPS患者的疼痛,但是其对于慢性CRPS并无效果,其机制可能是单独的镜像疗法或者运动想象会引起控制疼痛相关大脑区域的激活,而GMI的第一阶段就很好的避免大脑触发保护性的疼痛反应,也能为后面阶段做准备,实现皮层刺激。

虽然最近关于CRPS治疗的指南中提到GMI应该作为一线治疗^[31],可能是基于上述这些积极的结果。但2017年的一篇综述^[39]表明GMI应用于I型CRPS的治疗效果仍有限,其原因为现有文章质量低,且部分学者认为GMI仅可缓解I型CRPS患者的疼痛。此外,Johnson^[41]的多中心随机对照试验得出相反的结论。考虑到GMI在临床实践中是否有效尚未确定,2010年,GMI首次被应用于临床进行多中心试验,试验开展了20例患者的治疗,结果却发现患者疼痛并没有

得到改善。虽然此试验结果与以前的研究相悖,但其原因可能与较低的练习频率,以及临床多种治疗手段结合有关。在现实世界中实施GMI的失败表明,我们需要更好地理解GMI的方法及其与其他治疗方法的相互作用,以确保GMI的研究结果能够转化为临床实践。

3.2 GMI在幻肢痛康复中的应用

幻肢痛(PLP)是一种衰弱性疾病,其特征是截肢部分的疼痛感^[42],多达85%的截肢者会出现幻肢疼痛,这使得幻肢疼痛成为截肢者最常见的慢性疼痛症状^[43]。研究的结果显示^[43],在减少截肢患者的幻肢疼痛方面,GMI治疗优于常规物理治疗,且GMI对于减少截肢患者幻肢疼痛的有效性适用于任何一种截肢情况。除此之外,GMI可能有效地改善因疼痛引起的相应功能障碍。但是,在目前的GMI与PLP的研究中,与健康相关的生活质量并没有随着疼痛的减少而改善。这可能是由于有许多与疼痛无关的因素,影响着健康相关的生活质量^[44]。

最近的神经生理学证据表明,PLP与截肢肢体的大脑对侧皮层改变有关,包括躯体感觉皮层和运动皮层^[45],这些皮层区域的改变与PLP的严重程度呈正相关^[5-6]。这些神经可塑性的改变是可以逆转的,同时在PLP截肢患者中神经可塑性改变的逆转与疼痛缓解之间也存在相关性^[45-46],而GMI可以激活截肢患肢对侧躯体感觉皮层,前运动皮层和初级运动皮层^[43]。同时在PLP患者身上发现,他们的左右肢体判断不准确,出现了延迟^[9],GMI的第一阶段正好弥补了患者这一缺陷。从目前的研究^[6,43]表明,GMI是一种低成本、无创的治疗方法,且副作用和并发症少,适用于PLP患者。

3.3 GMI在脑卒中康复中的应用

国内外对于分级运动想象疗法在脑卒中患者中的应用研究较少,2017年Andrea等^[14]首次对24例脑卒中偏瘫患者进行了非随机对照试验,揭示了GMI能改善患者的运动功能。国内学者的研究也表明GMI有助于脑卒中患者症状的改善和功能恢复^[8,47-48]。如谷鹏鹏等^[47]对偏瘫患者进行4周的作业治疗联合上肢GMI治疗,发现GMI组的Fugl-Meyer上肢评分、上肢和手的Brunnstrom分期等恢复指标均优于对照组。此外,蒋松鹤等^[48]也研究了GMI对脑卒中患者上肢功能的影响,并通过血氧水平依赖对比功能磁共振成像技术(blood oxygen level development-functional magnetic resonance imaging, BOLD-fMRI)对其神经机制进行探讨,发现长期GMI训练可提高脑卒中患者患侧大脑半球部分镜像神经系统的活动,起到促进观察模仿学习运动的作用。到目前为止,尚无使用GMI对脑卒中患者下肢进行干预的相关报道,但是GMI所包含的各个阶段,如镜像治疗^[49]、运动想象疗法^[50]等,单独应用于脑卒中患者康复治疗的研究相对较多,涉及对脑卒中患者上肢、下肢功能的影响等。

3.4 其他

因GMI主要应用于疼痛患者,除了CRPS,PLP患者为最主要研究对象以外,GMI还应用于其他不同种类的疼痛管理^[10,51-53]。例如:Dilek等^[9]将GMI应用于远端桡骨骨折术后急性期患者,探讨GMI对此类患者手功能的影响。试验结果表明患者疼痛明显得到了改善,且与对照组相比手关节活动度、握力、上肢功能有明显提升。Louw^[10]的个案研究结果显示,在腰椎术后立即应用GMI技术可显著改善运动和立即的痛觉过敏效应,GMI可以为急性腰椎术后患者提供有效的物理治疗,并为物理治疗在急性腰椎患者中建立新的作用。

4 展望

综上所述,GMI是一种有前景、成本效益高的治疗方法,有缓解症状和改善功能恢复的益处。虽然目前已有大量研究支持GMI,但还有许多因素,如:其是否适用于更广泛的疼痛治疗,其在临床有效性的问题也需要进一步的研究。由于GMI原理机制还未被明确,望今后有更多关于GMI疗法的研究探寻其作用机制,并指导临床医务工作人员更科学地实施GMI治疗。

参考文献

- [1] Moseley GL. Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomised controlled trial[J]. *Pain*, 2004, 108(1—2):192—198.
- [2] Moseley GL. Graded motor imagery for pathologic pain: A randomized controlled trial[J]. *Neurology*, 2006, 67(12): 2129—2134.
- [3] Moseley GL. Is successful rehabilitation of complex regional pain syndrome due to sustained attention to the affected limb? A randomised clinical trial[J]. *Pain*, 2005, 114(1—2): 54—61.
- [4] Moseley GL. The graded motor imagery handbook[M]. Noigroup Publications, 2012:0—143.
- [5] Lagueux E, Charest J, Lefrançois—Caron E, et al. Modified graded motor imagery for complex regional pain syndrome type 1 of the upper extremity in the acute phase: a patient series[J]. *Int J Rehabil Res*, 2012, 35(2):138—145.
- [6] Limakatso K, Corten L, Parker R. The effects of graded motor imagery and its components on phantom limb pain and disability in upper and lower limb amputees: a systematic review protocol[J]. *Syst Rev*, 2016, 5(1):145.
- [7] Kumar SP, Kumar A, Shenoy K, et al. Guided/graded motor imagery for cancer pain: exploring the mind-brain interrelationship[J]. *Indian J Palliat Care*, 2013, 19(2): 125—126.
- [8] Polli A, Moseley GL, Gioia E, et al. Graded motor imagery for patients with stroke: A non-randomized controlled trial of a new approach[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2017, 53(1):14—23.
- [9] Dilek B, Ayhan C, Yagci G, et al. Effectiveness of the graded motor imagery to improve hand function in patients with distal radius fracture: A randomized controlled trial[J]. *J Hand Ther*, 2018, 31(1):2—9.
- [10] Louw A, Schmidt SG, Louw C, et al. Moving without moving: immediate management following lumbar spine surgery using a graded motor imagery approach: a case report [J]. *Physiother Theory Pract*, 2015, 31(7):509—517.
- [11] Rostami HR, Arefi A, Tabatabaei S. Effect of mirror therapy on hand function in patients with hand orthopaedic injuries: a randomized controlled trial[J]. *Disabil Rehabil*, 2013, 35(19):1647—1651.
- [12] Tabak N, Bergman R, Alpert R. The mirror as a therapeutic tool for patients with dementia[J]. *Int J Nurs Pract*, 1996, 2(3):155—159.
- [13] Lee JS, Hobden E, Stiell IG, et al. Clinically important change in the visual analog scale after adequate pain control[J]. *Acad Emerg Med*, 2003, 10(10):1128—1130.
- [14] Bradley R. Postle. Essentials of cognitive neuroscience[M]. Wiley-Blackwell, 2015:0—608.
- [15] Parsons LM. Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging[J]. *Acta Psychol (Amst)*, 2001, 107: 155—181.
- [16] Malouin F, Richards CL, Jackson PL, et al. Brain activations during motor imagery of locomotor-related tasks: a PET study[J]. *Hum Brain Mapp*, 2003, 19(1):47—62.
- [17] Page SJ, Levine P, Sisto S, et al. A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke[J]. *Clin Rehabil*, 2001, 15(3):233—240.
- [18] Lenoir C, Huang G, Vandermeeren Y, et al. Human primary somatosensory cortex is differentially involved in vibrotactile and nociception[J]. *J Neurophysiol*, 2017, 118 (1):317—330.
- [19] Dechent P, Merboldt KD, Frahm J. Is the human primary motor cortex involved in motor imagery?[J]. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2004, 19(2):138—144.
- [20] Bakker FC, Boschker MSJ, Chung T. Changes in muscular activity while imagining weight lifting using stimulus or response propositions[J]. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1996, 18(3):313—324.
- [21] Livesay JR, Samaras MR. Covert neuromuscular activity of the dominant forearm during visualization of a motor task[J]. *Percept Mot Skills*, 1998, 86(2):371—374.
- [22] Roth M, Decety J, Raybaudi M, et al. Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study[J]. *Neuroreport*, 1996, 17(7):1280—1284.
- [23] Johnson SH. Imagining the impossible: intact motor representations in hemiplegics[J]. *Neuro Report*, 2000, 11(4): 729—732.
- [24] Van LR, Inglis TJ. Mental practice and imagery: a potential role in stroke rehabilitation[J]. *Physical Therapy Reviews*, 1998, 3(1):47—52.

- [25] Cleeland CS, Ryan KM. Pain assessment: global use of the Brief Pain Inventory[J]. *Ann Acad Med Singapore*, 1994, 23(2):129—38.
- [26] Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2001, 2(9):661—670.
- [27] Numata K, Murayama T, Takasugi J, et al. Mirror observation of finger action enhances activity in anterior intraparietal sulcus: a functional magnetic resonance imaging study [J]. *J Jpn Phys Ther Assoc*, 2013, 16(1):1—6.
- [28] Sebastin SJ. Complex regional pain syndrome[J]. *Indian J Plast Surg*, 2011, 44(2):298—307.
- [29] Gierthmühlen J, Binder A, Baron R. Mechanism-based treatment in complex regional pain syndromes[J]. *Nat Rev Neurol*, 2014, 10(9):518—528.
- [30] Żyluk A, Puchalski P. Complex regional pain syndrome of the upper limb: a review[J]. *Neurol Neurochir Pol*, 2014, 48(3):200—205.
- [31] Harden RN, Oaklander AL, Burton AW, et al. Complex regional pain syndrome: practical diagnostic and treatment guidelines, 4th edition[J]. *Pain Med*, 2013, 14(2):180—229.
- [32] Aneja R, Grover R, Dhir V, et al. Complex regional pain syndrome- Management options[J]. *Indian Journal of Rheumatology*, 2006, 1(3):111—115.
- [33] Maihfer C, Speck V. Graded motor imagery for complex regional pain syndrome: Where are we now?[J]. *Eur J Pain*, 2012, 16(4):461—462.
- [34] Marinus J, Moseley GL, Birklein F, et al. Clinical features and pathophysiology of complex regional pain syndrome[J]. *Lancet Neurol*, 2011, 10(7):637—648.
- [35] Walz AD, Usichenko T, Moseley GL, et al. Graded motor imagery and the impact on pain processing in a case of CRPS[J]. *Clin J Pain*, 2013, 29(3):276—279.
- [36] Jimena O, Nicora Y, María AZ. Benefits of the modified graded motor imagery protocol in the treatment of patients with complex regional pain syndrome type I and type II [J]. *HAND*, 2016, 1:136.
- [37] McGee C, Skye J, Van Heest A. Graded motor imagery for women at risk for developing type I CRPS following closed treatment of distal radius fractures: a randomized comparative effectiveness trial protocol[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2018, 19(1):202.
- [38] Lagueux É, Bernier M, Bourgault P, et al. The effectiveness of transcranial direct current stimulation as an add-on modality to graded motor imagery for treatment of complex regional pain syndrome: a randomized proof of concept study[J]. *Clin J Pain*, 2018, 34(2):145—154.
- [39] Méndez-Rebolledo G, Gatica-Rojas V, Torres-Cueco R, et al. Update on the effects of graded motor imagery and mirror therapy on complex regional pain syndrome type 1: A systematic review[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2017, 30(3):441—449.
- [40] Moseley GL, Zalucki N, Birklein F, et al. Thinking about movement hurts: the effect of motor imagery on pain and swelling in people with chronic arm pain[J]. *Arthritis Rheum*, 2008, 59(5):623—631.
- [41] Johnson S, Hall J, Barnett S, et al. Using graded motor imagery for complex regional pain syndrome in clinical practice: Failure to improve pain[J]. *Eur J Pain*, 2012, 16(4):550—561.
- [42] Siddle L. The challenge and management of phantom limb pain after amputation[J]. *Br J Nurs*, 2004, 13(11):664—667.
- [43] Limakatso K, Madden VJ, Manie S, et al. The effectiveness of graded motor imagery for reducing phantom limb pain in amputees: a randomised controlled trial[J]. *Physiotherapy*, 2019, 6(9):0—10.
- [44] Davie-Smith F, Coulter E, Kennon B, et al. Factors influencing quality of life following lower limb amputation for peripheral arterial occlusive disease: a systematic review of the literature[J]. *Prosthet Orthot Int*, 2017, 41(6):537—547.
- [45] Maciver K, Lloyd DM, Kelly S, et al. Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery[J]. *Brain*, 2008, 131(8):2181—2191.
- [46] Foell J, Bekrater-Bodmann R, Diers M, et al. Mirror therapy for phantom limb pain: brain changes and the role of body representation[J]. *Eur J Pain*, 2014, 18(5):729—739.
- [47] 谷鹏鹏, 陈许艳, 徐来, 等. 分级运动想象联合常规作业治疗对脑卒中后偏瘫患者上肢运动功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41(2):101—105.
- [48] 谷鹏鹏. 分级运动想象训练对脑卒中患者上肢运动功能的影响及其fMRI机制研究[D]. 浙江:温州医科大学, 2018, 1—89.
- [49] Choi HS, Shin WS, Bang DH. Bang mirror therapy using gesture recognition for upper limb function, neck discomfort, and quality of life after chronic stroke: a single blind randomized controlled trial[J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25:3271—3278.
- [50] Kim SS, Lee BH. Motor imagery training improves upper extremity performance in stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27:2289—2291.
- [51] Anne W. Recognise™ Hands app for graded motor imagery training in chronic pain[J]. *Journal of Physiotherapy*, 2014, 177(60):1836—9553.
- [52] Anderson B, Meyster V. Treatment of a patient with central pain sensitization using graded motor imagery principles: A case report [J]. *J Chiropr Med*, 2018, 17(4):264—267.
- [53] Bowering KJ, O'Connell NE, Tabor A, et al. The effects of graded motor imagery and its components on chronic pain: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Pain*, 2013, 14(1):3—13.