

运动想象疗法在脊髓损伤患者中的应用研究进展

吴文杰¹ 黄俊豪¹ 聂瑶¹ 曾舒怡¹ 张文婷¹ 李勇强²

¹南京体育学院研究生部,南京 210014; ²南京医科大学第一附属医院康复医学中心,南京 210029

通信作者:李勇强,Email:Liyongqiang_1980@163.com

【摘要】 运动想象是指不伴随任何实际运动的情况下,通过大脑的神经活动来模拟和想象某种运动或动作的过程。近年来,越来越多的研究表明,运动想象可作为一种非侵入性的方法,在康复医学中具有潜在的应用价值。本文主要介绍了运动想象的基本概念、针对脊髓损伤患者的作用机制、康复应用和未来发展趋势,旨在为脊髓损伤康复提供一定的理论和实践指导。

【关键词】 运动想象; 脊髓损伤; 脑活动

基金项目: 无锡市“太湖人才计划”医疗卫生高层次人才项(WXTTP2020008)

Funding: Wuxi “Taihu Talent Plan” Medical and Health High-Level Talents Project (WXTTP2020008)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.05.017

脊髓损伤是指因各种原因导致脊髓结构和功能受损,从而引发损伤平面以下运动、躯体感觉、自主神经功能严重障碍^[1]。目前,治疗脊髓损伤的临床方法包括早期手术减压和固定、激素冲击疗法以及神经保护类药物等^[2-4],这些技术方法已在临床上取得了较好的疗效,但脊髓损伤患者仍需长期康复训练来维持或改善残存的肢体功能。

近年来,运动想象作为一种意识执行的过程,不需要实际运动参与,在运动技能学习和康复医学领域表现出巨大的潜力^[5-6],临床上常与脑机接口技术联合训练,一定程度上促进了脊髓损伤患者的运动功能恢复。研究表明,运动想象与运动执行相似,可促进大脑激活、增强连接模式,从而提高运动功能^[7-8]。本文主要概述运动想象在脊髓损伤康复医学领域的应用,并分析其存在的局限性及未来发展前景,旨在帮助脊髓损伤患者更科学、有效地使用运动想象疗法。

运动想象的概念和原理

1950 年 Hossack 首次提出心像的概念,即在中枢神经系统参与下,不需要实际的外部刺激,产生一种类似感受器受到刺激所产生的反应^[9]。20 世纪 90 年代,Decety 等^[10]首次阐述了运动想象是一种特殊的动态过程,存在于运动记忆中,并具有激活运动记忆中枢的能力。根据想象视角的不同,可将运动想象分为第一人称运动想象和第三人称运动想象^[11]。第一人称运动想象是指想象者通过自我模拟自己执行运动的方式来想象整个运动过程,通常是以第一人称视角来进行;第三人称运动想象是指想象者以旁观者的身份,观察自己或他人在远处执行动作,如想象正在观看自己或他人的训练视频。最初运动想象被应用于运动员的想象练习中,用来提高体育成绩。近几年在康复领域,运动想象逐渐成为一项常规康复治疗手段,被广泛应用于中枢神经损伤、手术制动期的康复治疗^[12-13]。

目前,运动想象的神经机制尚不明确,学术界提出了多种理论模式,如心理神经肌肉理论、三重编码模式、生物信息理论和多模态意象理论(包括运动认知模型、知觉认知模型和效应意象模型)^[14],而心理神经肌肉理论得到了最多的支持,该理

论基于人体中枢神经系统中存储的运动计划或运动“流程图”,认为通过运动想象可以强化实际活动中所涉及的运动“流程图”,从而改善运动执行过程^[15],即在运动想象和动作执行过程中存在重叠的神经通路。目前运动想象研究主要集中在视觉和动觉运动想象上,在神经生理学方面的探索有限。对运动想象理论模式的探索有助于更好地理解运动想象的作用机制,并为未来康复治疗提供更有效的方法。

运动想象在脊髓损伤康复中的相关作用机制

脊髓损伤导致患者失去了部分或全部的运动功能,但由于大脑结构没有受到破坏,想象力得到保留,患者仍然可以通过脑内的认知过程来模拟运动,从而促进中枢神经系统的可塑性和功能恢复。

一、运动想象可激活与运动执行相似的脑区网络

运动想象是一种认知过程,近年来有神经科学研究发现,运动想象不仅可以激活脑部区域,而且可以激活与实际运动执行时相似的脑区网络^[16],主要包括运动前皮质、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、基底神经节和小脑,这些皮质区域构成了实际运动执行的基础,相互协调以实现人体肢体的精确和协调运动。Chen 等^[17]研究发现,对 17 例右踝运动功能障碍的不完全脊髓损伤患者进行右踝关节背屈或跖屈的想象任务(运动想象任务)和实际关节运动任务(运动执行任务)时,其大脑皮质激活区域与健康对照组非常相似,包括双侧 SMA、额下回、小脑小叶、前脑岛、右额中回;与运动执行任务相比,患者和健康对照者在运动想象任务期间的脑区活动模式更相似,结果表明,脊髓损伤患者运动想象网络的功能保留程度可能比运动执行网络更高。

另外,Wang 等^[18]采用功能性磁共振成像技术比较了 26 例完全性脊髓损伤儿童和性别年龄相仿的健康儿童在运动想象过程中的大脑激活,研究发现,运动想象过程中这些受试者的双侧 SMA、中扣带皮质和左顶下小叶以及边缘上回均被激活;与健康对照组相比,脊髓损伤儿童在运动想象和运动执行的过程中检测到更多的双侧中央旁小叶、SMA、壳核和小脑小叶 III-

V 的激活;这些共同激活的脑区均与运动的准备和执行紧密相关,进一步证实了运动想象训练可以加强大脑与运动执行相关的脑区连接,对康复和运动技能的提高具有积极的影响。

二、运动想象可改善中枢神经的可塑性

神经影像学研究显示,脊髓损伤后会发生神经可塑性变化^[19],然而这些变化对与运动想象相关的大脑皮质区域的影响程度尚不清楚。神经可塑性对于中枢神经系统损伤后的功能恢复至关重要,也是康复干预的主要焦点。一项关于脊髓损伤患者脑区变化的 Meta 分析显示,在大脑结构没有受到破坏的情况下,患者的运动皮质、小脑和顶叶也会发生明显改变,且与躯体感觉有关的脑结构、皮质重组、白质扩散和丘脑代谢物也发生了改变^[20]。脊髓损伤后损伤部位的神经可塑性可以介导一些功能恢复^[21],这有助于为患者探索更多的治疗方法。许多研究表明,运动想象训练可以刺激大脑重组并改善各种中枢神经系统疾病后的运动功能^[22-24]。

Villiger 等^[25]研究数据指出,经过运动想象训练后,患者的大脑结构会经历一系列的重塑,这些重塑与患者左侧颞中回和枕中回、左侧颞极和梭状回、海马、胼胝体、脑干和小脑等运动相关区域的体积增大有关,进一步提示这些结构的变化可能是促进脊髓损伤患者下肢神经功能恢复的重要神经影像学指标。

此外,一项基于运动想象联合脑机接口的步行训练研究首次观察到脊髓损伤患者出现显著的部分临床神经功能恢复,表现为患者损伤水平以下的躯体感觉和随意运动控制的改善,同时自主神经功能如肠道功能也发生了改善,表明使用脑机接口-运动想象训练可促进中枢神经系统的可塑性发展和功能重组^[26]。Di Rienzo 等^[22]的研究还发现,根据脑磁图研究数据,当运动想象训练被纳入脊髓损伤患者的康复阶段时,可以观察到患者的代偿性脑区活跃度有所下降,皮质活动逐渐接近健康人群,这表明运动想象训练在逆转脊髓损伤患者的代偿性神经激活中起到了关键作用,进而有助于神经的重塑。脊髓损伤后大脑根据神经可塑性的特点发生适应性变化,应用运动想象可以有助于激活受损的神经回路并增强运动神经元的活跃性。

综上所述,运动想象对于脊髓损伤患者来说是一种有益的康复训练方法,通过激活与运动执行相似的运动网络,可以帮助脊髓损伤患者重建与受损肢体的连接,并重塑与运动功能改善相关的大脑结构。虽然运动想象在脊髓损伤康复中的有效性已得到初步验证,但其确切的作用机制尚未完全阐明,仍需进一步的研究来深入探讨。

脊髓损伤患者运动想象能力的影响因素

运动想象的能力受多种因素的影响。一项针对运动员的研究表明,运动想象能力受个人心理特征的影响,因此存在差异性,包括认知、情感和运动控制等多个方面^[27]。然而目前学术上对于脊髓损伤患者运动想象能力的影响因素研究相对较少。Scandola 等^[28]研究表明,运动想象能力受脊髓损伤的程度和疼痛的影响。抑郁症是脊髓损伤患者中最常见的心理问题之一^[29],它可以影响患者的注意力、记忆、执行功能和认知处理等认知功能。最近的一项研究表明,运动想象作为一种涉及高级认知加工的心理活动,也会受到抑郁症状的影响^[30]。然而,

当前学术研究对于脊髓损伤患者运动想象能力的探究存在一个显著缺陷,即研究样本数量不足。

Kaur 等^[31]首次探究了大样本脊髓损伤人群中临床和心理变量对运动想象评分的影响,并比较了 130 例脊髓损伤患者的临床变量(如年龄、病程和损伤水平)、心理变量(压力和抑郁)与运动想象能力的相关性,结果表明,颈段损伤的患者运动想象评分明显低于胸段损伤患者,且较高节段的脊髓损伤会导致运动想象评分较低。此外,压力和抑郁情绪对受试者运动想象的所有单项指标均有显著影响($P < 0.001$)。与以往的研究结果相似^[30],该研究中并未发现年龄对脊髓损伤患者运动想象能力的影响。而想象能力可能因人而异,有研究表明,患有脊髓损伤的人很难从第一人称视角进行运动想象^[28]。因此,运动想象干预之前应该进行测试。

运动想象在脊髓损伤康复中的应用研究

一、运动想象在脊髓损伤运动功能障碍康复中的应用

脊髓损伤患者肌肉丧失神经控制,通常表现为运动功能障碍。随着人机交互技术的不断进步,目前 Donati 等^[26]已成功应用运动想象联合康复机器人和脑机接口技术长期治疗完全性和不完全性脊髓损伤患者的运动功能障碍,所有 8 例患者的多个皮质区的躯体感觉(疼痛定位、精细或粗触觉和本体感觉)均得到改善。王辉等^[32]将 58 例不完全脊髓损伤患者随机分为试验组和对照组,所有患者均接受常规康复训练及下肢康复机器人辅助步行训练,试验组额外增加了运动想象训练,结果显示,经 8 周干预后,2 组患者的 Fugl-Meyer 下肢运动功能评分、Berg 平衡量表、脊髓损伤步行指数 II 和改良的 Barthel 指数(modified Barthel index, MBI)评分均高于组内治疗前,且试验组治疗后上述指标的改善情况均优于对照组。亦有研究^[33-34]证实了脊髓损伤患者可以通过运动想象训练改善美国脊髓损伤协会(American Spinal Injury Association, ASIA)脊髓运动和感觉神经功能评分以及 MBI 评分,还能激活部分损伤的运动系统,有效改善患者肢体运动功能状况,提升自我效能感。

目前,大量临床研究不仅将运动相关参数作为评定运动想象疗法对脊髓损伤患者运动功能改善效果的依据,还采用脑区激活模式作为客观指标进行验证。邹颖等^[35]采用近红外脑功能成像技术,对比脊髓损伤患者与健康受试者根据电脑指令完成“屈伸右膝”动作时运动想象和运动执行任务态下的脑区激活模式,结果表明脊髓损伤组运动想象、健康组运动执行及运动想象任务期间激活了相同脑区,左感觉区、左运动区、缘上回和左布洛卡三角区被共同激活,从脑区激活角度证实运动想象疗法可作为治疗脊髓损伤患者运动功能障碍的有效方法。

二、运动想象在脊髓损伤疼痛治疗中的应用

脊髓损伤除导致损伤水平以下的感觉运动功能障碍外,还可导致中枢神经病理性疼痛(central nervous pain, CNP)。约有 65% 的脊髓损伤患者出现 CNP 症状,通常表现为烧灼痛、刺痛、针扎痛、阵发性疼痛、诱发性疼痛或电击样疼痛^[36]。

研究表明,刺激运动皮质可以作为治疗疼痛的非药物方法之一^[37];而运动想象也可以刺激运动皮质,从而起到缓解疼痛的作用。Richardson 等^[38]招募了 59 例患有脊髓损伤和神经病理性疼痛的患者,随机分为虚拟步行运动想象组和虚拟轮椅运

动想象组。受试者被要求观看一段 20 min 的录影视频,步行视频中一名演员以第一人称视角沿着一条路径行走,且低头看着正在移动的腿和脚,而轮椅视频则是同一名演员在相同的时间内沿着相同的路径推动手动轮椅。受试者被要求想象自己正在表演视频中演员的动作;结果表明,虚拟步行运动想象组在治疗后疼痛显著减轻,且研究者推荐每次进行康复治疗时采用 20 min 以上的多次重复运动想象训练,有助于缓解患者疼痛。

然而也有研究表明,运动想象训练可能会使脊髓损伤患者疼痛加剧^[39]。一些研究认为,运动想象诱发疼痛可能与背外侧前额皮质、前扣带皮质、辅助前额叶、双侧前岛叶、初级运动皮质等认知情感相关的脑功能区发生变化有关^[40]。尽管如此,临床上大多研究认为,运动想象在脊髓损伤患者的疼痛康复治疗中具有潜在的应用价值,有助于减轻患者疼痛,提高生活质量,因此认为运动想象应被纳入脊髓损伤患者疼痛治疗的康复方案中。然而,还需要进一步研究运动想象在脊髓损伤患者疼痛中的最佳康复方案以及长期应用效果。

三、运动想象在脊髓损伤神经源性膀胱治疗中的应用

大部分脊髓损伤患者存在膀胱或尿道功能障碍,导致一系列的下尿路症状和并发症,即神经源性膀胱,其常见的症状包括尿失禁、尿频、尿急和尿路感染等,严重者可引起肾结石、肾积水、肾功能衰竭等^[41]。张卫卫等^[42]探讨运动想象疗法联合间歇导尿治疗脊髓损伤后神经源性膀胱的疗效,50 例脊髓损伤患者被随机分为试验组和对照组,试验组在常规治疗的基础上采用运动想象疗法和间歇导尿联合治疗,而对照组则单独使用清洁间歇导尿治疗。经 2 个月干预后,试验组的余尿量和导尿次数均有所减少,表明在脊髓损伤患者常规膀胱干预方案中加入运动想象训练可以促进排尿反射弧的形成,改善患者排尿功能。

张敏等^[43]将 84 例脊髓损伤后神经源性膀胱患者随机分为试验组和观察组,对照组进行常规间歇导尿护理,试验组在对照组基础上实施运动想象疗法;治疗后,试验组患者尿路感染率明显较低,自主排尿恢复时间明显短于对照组;并观察到试验组干预后的生活指定测定量表各领域评分均明显高于组内干预前及对照组治疗后,提示采取运动想象联合常规膀胱干预方法可更好地提高患者生理、心理等方面的舒适度,显著改善患者的生活质量。

因此,运动想象与传统膀胱干预相结合的疗法可以为患者提供更加综合和个体化的康复方案,然而,仍需要进一步的研究来深入探讨其效果和机制,为存在膀胱问题患者提供更有效的治疗策略。

小结

近年来,运动想象疗法因其在脊髓损伤中的康复作用而日益受到重视。作为一种辅助治疗手段,运动想象训练不受设备和场地限制,可重复性高,且操作简单,人力、物力成本相对较低。因其易于学习和应用,多数患者都能较快掌握方法并投入到训练中。目前运动想象训练应用于脑卒中患者研究较多,而脊髓损伤患者研究较少,由于样本量较少,且实验设计存在差异,导致难以得出一致的结论。因此,为了更好地验证运动想象在脊髓损伤康复中的有效性,未来需要更规范、科学的大样

本和多中心临床研究加以验证。

参 考 文 献

- [1] Ropper AE, Ropper AH. Acute spinal cord compression[J]. N Engl J Med, 2017, 376(14): 1358-1369. DOI: 10.1056/NEJMra1516539.
- [2] Fehlings MG, Tetreault LA, Wilson JR, et al. A clinical practice guideline for the management of acute spinal cord injury: introduction, rationale, and scope[J]. Global Spine J, 2017, 7(3 Suppl): 84S-94S. DOI: 10.1177/2192568217703387.
- [3] Badhiwala JH, Ahuja CS, Fehlings MG. Time is spine: a review of translational advances in spinal cord injury[J]. J Neurosurg Spine, 2018, 30(1): 1-18. DOI: 10.3171/2018.9.SPINE18682.
- [4] Karsy M, Hawryluk G. Modern medical management of spinal cord injury[J]. Curr Neurol Neurosci Rep, 2019, 19(9): 65. DOI: 10.1007/s11910-019-0984-1.
- [5] Carvalho R, Azevedo E, Marques P, et al. Physiotherapy based on problem solving in upper limb function and neuroplasticity in chronic stroke patients: A case series[J]. J Eval Clin Pract, 2018, 24(3): 552-560. DOI: 10.1111/jep.12921.
- [6] Li F, Zhang T, Li BJ, et al. Motor imagery training induces changes in brain neural networks in stroke patients[J]. Neural Regen Res, 2018, 13(10): 1771-1781. DOI: 10.4103/1673-5374.238616.
- [7] Xu L, Zhang H, Hui M, et al. Motor execution and motor imagery: a comparison of functional connectivity patterns based on graph theory[J]. Neuroscience, 2014, 261: 184-194. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2013.12.005.
- [8] Kraeutner S, Gionfriddo A, Bardouille T, et al. Motor imagery-based brain activity parallels that of motor execution: evidence from magnetic source imaging of cortical oscillations[J]. Brain Res, 2014, 1588: 81-91. DOI: 10.1016/j.brainres.2014.09.001.
- [9] 高家欢, 胡昔权. 运动想象在脑卒中上肢功能康复的应用进展[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(9): 1060-1063. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2017.09.014.
- [10] Decety J, Grèzes J. Neural mechanisms subserving the perception of human actions[J]. Trends Cogn Sci, 1999, 3(5): 172-178. DOI: 10.1016/s1364-6613(99)01312-1.
- [11] Vogt S, di Rienzo F, Collet C, et al. Multiple roles of motor imagery during action observation[J]. Front Hum Neurosci, 2013, 7: 807. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00807.
- [12] Grosprêtre S, Lebon F, Papaxanthis C, et al. Spinal plasticity with motor imagery practice[J]. J Physiol, 2019, 597(3): 921-934. DOI: 10.1113/JP276694.
- [13] Marusic U, Grosprêtre S, Paravlic A, et al. Motor imagery during action observation of locomotor tasks improves rehabilitation outcome in older adults after total hip arthroplasty[J]. Neural Plast, 2018, 2018: 5651391. DOI: 10.1155/2018/5651391.
- [14] Hurst AJ, Boe SG. Imagining the way forward: a review of contemporary motor imagery theory[J]. Front Hum Neurosci, 2022, 16: 1033493. DOI: 10.3389/fnhum.2022.1033493.
- [15] Page SJ, Levine P, Sisto S, et al. A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke[J]. Clinical Rehabilitation, 2001, 15(3): 233-240. DOI: 10.1191/026921501672063235.
- [16] Hardwick RM, Caspers S, Eickhoff SB, et al. Neural correlates of action: comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2018, 94: 31-44. DOI: 10.1016/j.

neubiorev.2018.08.003.

- [17] Chen X, Wan L, Qin W, et al. Functional preservation and reorganization of brain during motor imagery in patients with incomplete spinal cord injury: a pilot fMRI study [J]. *Front Hum Neurosci*, 2016, 10: 46. DOI:10.3389/fnhum.2016.00046.
- [18] Wang L, Zheng WM, Liang TF, et al. Brain activation evoked by motor imagery in pediatric patients with complete spinal cord injury [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2023, 44 (5): 611-617 DOI: 10.3174/ajnr.A7847.
- [19] Moxon KA, Oliviero A, Aguilar J, et al. Cortical reorganization after spinal cord injury: always for good [J]. *Neuroscience*, 2014, 283: 78-94. DOI:10.1016/j.neuroscience.2014.06.056.
- [20] Solstrand Dahlberg L, Becerra L, Borsook D, et al. Brain changes after spinal cord injury, a quantitative meta-analysis and review [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2018, 90: 272-293. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2018.04.018.
- [21] Kakulas BA. Neuropathology: the foundation for new treatments in spinal cord injury [J]. *Spinal Cord*, 2004, 42 (10): 549-563. DOI: 10.1038/sj.sc.3101670.
- [22] Di Rienzo F, Guillot A, Mateo S, et al. Neuroplasticity of prehensile neural networks after quadriplegia [J]. *Neuroscience*, 2014, 274: 82-92. DOI:10.1016/j.neuroscience.2014.05.021.
- [23] Malouin F, Jackson PL, Richards CL. Towards the integration of mental practice in rehabilitation programs: a critical review [J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 576. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00576.
- [24] Schuster C, Hilfiker R, Amft O, et al. Best practice for motor imagery: a systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines [J]. *BMC Med*, 2011, 9: 75. DOI: 10.1186/1741-7015-9-75.
- [25] Villiger M, Grabher P, Hepp-Reymond MC, et al. Relationship between structural brainstem and brain plasticity and lower-limb training in spinal cord injury: a longitudinal pilot study [J]. *Front Hum Neurosci*, 2015, 9: 254. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00254.
- [26] Donati AR, Shokur S, Morya E, et al. Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients [J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 30383. DOI: 10.1038/srep30383.
- [27] Di Corrado D, Guarnera M, Vitali F, et al. Imagery ability of elite level athletes from individual vs. team and contact vs. no-contact sports [J]. *PeerJ*, 2019, 7: e6940. DOI: 10.7717/peerj.6940.
- [28] Scandola M, Aglioti SM, Pozeg P, et al. Motor imagery in spinal cord injured people is modulated by somatotopic coding, perspective taking, and post-lesional chronic pain [J]. *J Neuropsychol*, 2017, 11 (3): 305-326. DOI: 10.1111/jnp.12098.
- [29] Hearn JH, Cross A. Mindfulness for pain, depression, anxiety, and quality of life in people with spinal cord injury: a systematic review [J]. *BMC Neurol*, 2020, 20 (1): 32. DOI: 10.1186/s12883-020-1619-5.
- [30] Thomschewski A, Ströhlein A, Langthaler PB, et al. Imagine there is no plegia. Mental motor imagery difficulties in patients with traumatic spinal cord injury [J]. *Front Neurosci*, 2017, 11: 689. DOI: 10.3389/fnins.2017.00689.
- [31] Kaur J, Ghosh S, Singh P, et al. Cervical spinal lesion, completeness of injury, stress, and depression reduce the efficiency of mental imagery in people with spinal cord injury [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2022, 101 (6): 513-519. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001955.
- [32] 王辉, 马奔. 运动想象联合康复机器人在不完全性 SCI 的应用 [J]. *西南国防医药*, 2018, 28 (4): 377-379. DOI: 10.3969/j.issn.1004-0188.2018.04.030.
- [33] 罗绯, 刘建成, 李艳波, 等. 运动想象疗法对不完全脊髓损伤患者肢体功能及 ADL 的影响 [J]. *中国康复*, 2015, 30 (5): 364-365. DOI: 10.3870/zgkf.2015.05.013.
- [34] 张雪. 运动想象疗法对脊髓神经损伤患者下肢功能康复和自我效能感的影响 [J]. *承德医学院学报*, 2021, 38 (1): 13-16. DOI: 10.15921/j.cnki.cyx.2021.01.004.
- [35] 邹颖, 张长杰, 孔瑛. 脊髓损伤患者运动想象期间的近红外脑功能成像研究 [J]. *创伤外科杂志*, 2022, 24 (3): 175-181. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4237.2022.03.004.
- [36] Lee S, Zhao X, Hatch M, et al. Central neuropathic pain in spinal cord injury [J]. *Crit Rev Phys Rehabil Med*, 2013, 25 (3-4): 159-172. DOI: 10.1615/CritRevPhysRehabilMed.2013007944.
- [37] Le Déan Y, Brissebrat B, Castel-Lacanal E, et al. Management of neuropathic central pain by non-invasive brain stimulation and mirror therapy [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2016, 59: e145. DOI: 10.1016/j.rehab.2016.07.323.
- [38] Richardson EJ, McKinley EC, Rahman AKMF, et al. Effects of virtual walking on spinal cord injury-related neuropathic pain: a randomized, controlled trial [J]. *Rehabil Psychol*, 2019, 64 (1): 13-24. DOI: 10.1037/rep0000246.
- [39] Gustin SM, Wrigley PJ, Gandevia SC, et al. Movement imagery increases pain in people with neuropathic pain following complete thoracic spinal cord injury [J]. *Pain*, 2008, 137 (2): 237-244. DOI: 10.1016/j.pain.2007.08.032.
- [40] Gustin SM, Wrigley PJ, Henderson LA, et al. Brain circuitry underlying pain in response to imagined movement in people with spinal cord injury [J]. *Pain*, 2010, 148 (3): 438-445. DOI: 10.1016/j.pain.2009.12.001.
- [41] Chen G, Liao L, Wang Y, et al. Urodynamic findings during the filling phase in neurogenic bladder patients with or without vesicoureteral reflux who have undergone sacral neuromodulation [J]. *Neurourol Urodyn*, 2020, 39 (5): 1410-1416. DOI: 10.1002/nau.24354.
- [42] 张卫卫, 杨阳, 邹丽丽, 等. 运动想象疗法联合间歇导尿在脊髓损伤后神经源性膀胱中的应用 [J]. *医药论坛杂志*, 2021, 42 (8): 35-38.
- [43] 张敏, 赵玉国, 孙树乾. 自我清洁间歇导尿护理联合运动想象疗法对脊髓损伤后神经源性膀胱患者膀胱残余尿量及尿路感染的影响 [J]. *武警后勤学院学报 (医学版)*, 2021, 30 (6): 110-113. DOI: 10.16548/j.2095-3720.2021.06.039.

(修回日期: 2024-03-25)

(本文编辑: 汪玲)