

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2021.02.009

· 综述 ·

脊髓损伤后居家康复的研究进展

魏嵩¹, 高峰², 刘俊¹, 李建军^{1,3,4,5}

1. 首都医科大学康复医学院,北京市 100068;2. 中国康复研究中心北京博爱医院脊柱脊髓神经功能重建科,北京市 100068;3. 中国康复科学所,北京市 100068;4. 北京脑重大疾病研究院神经损伤与修复研究所,北京市 100068;5. 北京市神经损伤与康复重点实验室,北京市 100068

通讯作者:李建军,E-mail: crcc100@163.com

基金项目:1. 国家重点研究发展计划(No. 2018YFF0301104);2. 北京市科技计划重大项目课题(No. D161100002816004);3. 首都卫生发展科研专项项目(No. 首发 2018-1-6011);4. 中国康复研究中心科研项目(No. 2019ZX-04)

摘要

居家康复可以有效减少脊髓损伤患者的临床并发症,加快患者的神经功能恢复,减轻医疗保健系统的负担。居家康复在多个研究中表现出有效性,应用神经反馈可使40%脊髓损伤居家患者的神经病理性疼痛得到缓解;应用可穿戴技术可监测手功能恢复情况并促进手运动功能的恢复;家用便携式刺激器和表面电极可抑制不必要的膀胱活动,改善尿失禁;在家进行加强伸展训练可以减轻慢性脊髓损伤患者的肩部疼痛;家中使用功能性电刺激可以改善脊髓损伤患者因失去神经营养而萎缩的肌肉功能。居家康复还存在一定局限性,如设备操作复杂、费用昂贵、不易携带,还有待进一步发展。

关键词 脊髓损伤;居家康复;综述

Advance in Home-based Rehabilitation after Spinal Cord Injury (review)

WEI Song¹, GAO Feng², LIU Jun¹, LI Jian-jun^{1,3,4,5}

1. Capital Medical University School of Rehabilitation Medicine, Beijing 100068, China; 2. Department of Spinal and Neural Function Reconstruction, Beijing Bo'ai Hospital, China Rehabilitation Research Center, Beijing 100068, China; 3. China Institute of Rehabilitation Science, Beijing 100068, China; 4. Center of Neural Injury and Repair, Beijing Institute for Brain Disorders, Beijing 100068, China; 5. Beijing Key Laboratory of Neural Injury and Rehabilitation, Beijing 100068, China

Correspondence to LI Jian-jun, E-mail: crcc100@163.com

Supported by National Key Research and Development Plan (No. 2018YFF0301104), Beijing Municipal Science and Technology Plan Major Project (No. D161100002816004), Capital Health Development Research Special Project (No. 2018-1-6011) and China Rehabilitation Research Center Research Project (No. 2019ZX-04)

Abstract

Home-based rehabilitation can effectively reduce the clinical complications of patients with spinal cord injury and accelerate the recovery of neurological function, as well as reduce the heavy economic burden on healthcare system. Home-based rehabilitation has shown effectiveness in multiple studies. Neurofeedback could relieve the neuropathic pain of 40% home patients with spinal cord injury. Wearable technology could monitor and promote the recovery of hand motor function. Household portable stimulators and surface electrodes could inhibit unnecessary bladder activity and improve urinary incontinence. Strengthening stretching training at home could reduce shoulder pain in patients with chronic spinal cord injury. Using functional electrical stimulation at home could improve the muscle function of patients with spinal cord injury due to loss of neurotrophic muscle atrophy. There are still some disadvantages of home-based rehabilitation, such as complicated operation, expensiveness and not convenient to carry for training equipment, which need to be fur-

作者简介:魏嵩(1996-),男,汉族,北京市人,硕士研究生,主要研究方向:脊柱脊髓损伤的康复与治疗。通讯作者:李建军(1962-),男,汉族,教授,主任医师,博士生和博士后导师,主要研究方向:康复医学、康复教育、康复管理及脊柱脊髓损伤的康复与治疗。

<http://www.cjrtonline.com>

ther developed.

Key words: spinal cord injury; home-based rehabilitation; review

[中图分类号] R651.2 [文献标识码] A [文章编号] 1006-9771(2021)02-0177-05

[本文著录格式] 魏嵩,高峰,刘俊,等. 脊髓损伤后居家康复的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(2): 177-181.

CITED AS: WEI Song, GAO Feng, LIU Jun, et al. Advance in Home-based Rehabilitation after Spinal Cord Injury (review) [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2021, 27(2): 177-181.

脊髓损伤是人类最严重的疾病之一, 致残率高, 康复治疗时间长且费用昂贵。脊髓损伤引起受伤部位以下的感觉运动功能障碍, 以及大、小便和性功能障碍。目前在院前急救、急诊科处理、临床治疗和重症护理方面取得一定研究进展, 急性期住院的平均时间已从1970年的24 d减少到目前的11 d; 住院康复的平均时间已从1970年的98 d减少到目前的34 d^[1]。康复出院返回家庭后, 患者和家属必须在家庭中独立面对心理和生理层面上可能出现的新问题。目前来看这些问题在患者的家庭内部可能难以得到解决。Skelton等^[2]的研究表明, 脊髓损伤患者在出院后返回到家庭的第一年再次住院率高达45%, 再入院会使患者产生挫败感并可能加重心理负担。

居家康复近年来成为研究热点, 它可以有效减少患者的临床并发症, 并加快患者的神经功能恢复。除此之外, 花费较少的家庭远程医疗计划也已成为临床医生克服脊髓损伤患者依从性问题的一种可靠途径, 这些远程医疗计划可以减轻脊髓损伤给医疗保健系统带来的沉重经济负担^[3]。远程医疗计划的可用性不断提高, 使诊所和其他设施可以更好地与患者建立联系, 并通过网络和视频技术提供服务。因此居家康复对于减少脊髓损伤患者的再住院率十分重要。本文对近年居家康复的最新研究进展做一综述。

1 脊髓损伤后居家康复现状

1.1 神经病理性疼痛

脊髓损伤的主要问题包括感觉和肌肉自主控制能力的丧失和减退, 而相关的次要问题是神经病理性疼痛。一般认为, 损伤水平以下的神经病理性疼痛起源于中枢, 因此也被称为中枢神经性疼痛(central neuropathic pain, CNP)^[4]。40%的脊髓损伤患者神经病理性疼痛症状严重, 持续干扰日常生活活动^[5]。药物治疗对CNP效果不佳, 用于治疗这类疼痛的药物往往伴有明显的副作用, 明显缓解疼痛的情况很少^[6]。研究表明^[7], 神经调节可以干预CNP在大脑的产生过程, 从而有可能缓解疼痛。

神经反馈是一种神经调节疗法, 已被用于治疗慢性疼痛, 如复杂的局部疼痛综合征、纤维肌痛^[8]、偏头痛^[9], 并且已经证明其在脊髓损伤患者中治疗CNP的有效性^[10-11]。Al-Taleb等^[12]研究居家患者和护理人员应用神经反馈治疗CNP的可行性, 表明有40%的患者在临床上实现疼痛的明显缓解。这将有效促进将脑机接口(brain-computer interface, BCI)应用于居家康复方面的研究, 并为可穿戴式BCI设备的开发人员提供信息。

1.2 手功能

1.2.1 手运动功能

手臂和手部功能受损是导致颈脊髓损伤后失去独立性的主要因素。即使是上肢运动恢复很少, 也能改善很多功能^[13]。患者通常将手部功能障碍视为优先解决的问题^[14]。没有正常的手部功能, 日常活动(如进食、梳理和穿衣)将变得困难, 甚至迫使患者在最基本的事务上也要依靠看护者的帮助。尽管在亚急性康复阶段, 脊髓损伤中心进行了高强度专业化的手部康复治疗或采取了相关措施, 但慢性脊髓损伤康复期间常常继续存在手功能受损的情况, 这对如何提供有效的自我管理的家庭治疗方案提出挑战。

当前已经加快可变形手套装置的开发。在家庭和社区自我管理手部疗法的过程中, 柔性机器人手套是很有发展前景的设备。研究表明^[15-16], 脑卒中参与者在使用机器人手套治疗后, 包括日常生活活动能力评定表现在内的多个指标均得到改善。瑞典生产的柔性手套对高水平脊髓损伤后手功能受损者可能有治疗作用, 该设备旨在通过提供额外的手指弯曲强度来增强抓握功能^[17]。该设备通过触觉传感器检测握持物体的意图, 并应用相应的手指弯曲力量, 以促进有力的握持。由于神经可塑性, 它的使用可能会潜在地导致运动学习^[18]。这项研究表明, 对慢性脊髓损伤患者进行为期12周的居家强化治疗可显著改善手功能, 并在随访6周后依旧未观察到功能减退现象。类似的以柔性手套为核心的居家康复方案可以为没有定期接受治疗的出院患者提供一种负担得起的和容易获得的康复手段^[19]。

1.2.2 手功能恢复情况监测

手功能障碍会严重限制日常生活活动能力。测量手功能随时间变化的方法很重要。然而, 必须由专业人员完成的评估有很大局限性, 不能直接测量患者在家中或社区的功能情况。van den Berg-Emons等^[20]强调在家监测手部功能的重要性, 该研究发现康复医生低估了患有慢性疾病个体的不活动时间, 目前的评估工具与康复的最终目标之间存在差距。因此, 在家中直接测量上肢使用情况的方法将对开发新的康复策略大有裨益。

可穿戴技术最近飞速发展, 并为将神经康复评估扩展到临床之外提供一个有效途径。为了测量家庭和社区中的手功能活动状况, 多项研究探索了加速度计的效果。这些设备体积小, 且易于佩戴, 但它们缺乏图像来捕获手使用过程中的复杂性, 仅限于捕获手臂运动^[21]。为了获得在颈脊髓损伤后上肢使用的

准确图像,需要描述手如何在活动中被使用的可穿戴传感器^[22]。可穿戴相机系统能捕捉家庭和社区中颈椎损伤患者手在活动中的功能情况^[23]。有研究发现^[24],根据基于临床的结局指标,运动功能的改善并不一定转化为肢体使用量的增加,如通过加速度计测得的数据。与仅可记录手臂运动信息的加速度计不同,视频可提供有关手的姿势和运动以及与手进行交互的对象或环境的详细信息。多项研究探索通过采集视频并使用计算机视觉技术提取手部信息的方法,在研究中展示了可穿戴相机系统在家庭环境中捕获个人功能性手部使用的潜力。基于该系统的新型测量方法有可能改善目前在神经康复中基于家庭的评估很大程度上依靠自我报告的不利状况^[25]。

1.3 神经源性膀胱功能障碍

神经源性膀胱是脊髓损伤患者生活中重要的临床问题之一,它会导致患者失去独立性并产生社会孤立感和医疗并发症。神经源性逼尿肌过度活动是脊髓损伤继发神经源性膀胱功能障碍的最常见表现^[26],它在较低的膀胱容量下导致自发性反射性膀胱收缩,引起尿失禁、紧迫感和膀胱容量下降。这些膀胱收缩可能触发自主反射障碍,导致危险的血压急剧升高。如果尿道或膀胱出口功能障碍阻碍膀胱排空,如逼尿肌-括约肌协同失调,膀胱收缩可能导致输尿管反流和肾脏损害。药物可用于抑制不必要的膀胱收缩,但是这些药物可能效果不佳,而且可能产生副作用。留置导尿、增加间歇性导尿频率或限制液体使用会干扰生活质量或引起进一步的医疗并发症。也可以使用手术方法,但是手术不可逆,并且比其他技术更具侵入性。提供一种替代疗法来抑制不必要的膀胱收缩仍然是一个未被满足的需求。

生殖神经的电刺激有降低神经源性逼尿肌过度活动的潜力,它可以调节抑制性脊髓反射回路,导致下腹神经中记录的去交感神经活动增加,而使盆腔神经中记录的对膀胱的副交感神经活动减少^[27]。多项人体研究表明^[28],生殖神经刺激能抑制膀胱反射性活动,从而提高膀胱容量。Meta分析显示^[29],这种方法可能对任何具有神经源性逼尿肌过度活动且膀胱反射通路保持完整的个体均有效。生殖神经的电刺激与血压升高没有相关性,因此不是自主神经过反射的风险因素^[30]。1个月的家用便携式刺激器和表面电极研究显示^[31],生殖神经刺激对于抑制不必要的膀胱活动和改善尿失禁可行和有效,可以帮助实现膀胱管理目标,受试者的满意度高。

1.4 肩痛

肩痛是脊髓损伤后最常见的肌肉骨骼问题,30%~78%患者有此类问题^[32]。脊髓损伤肩痛受多因素影响,下肢功能的丧失会导致手臂在轮椅推进、身体转移和其他日常生活活动中使用过度。一项对每年例行门诊就诊截瘫患者的研究显示^[33],26例有症状患者中,71%出现肩袖撕裂,57%出现全层棘上撕裂。肩痛对日常生活活动能力和轮椅活动能力有显著影响,肩痛也随着脊髓损伤持续时间的增加而增加^[34]。通常,加强肩带肌肉的锻炼,特别是肩袖肌的锻炼,是肩部疼痛治疗方案的主

要组成部分,并被临床实践指南推荐给脊髓损伤患者^[35]。加强伸展训练可以减少慢性脊髓损伤患者的肩痛,在持续进行家庭锻炼计划12周后,肩痛明显减轻^[36]。与仅接受教育的患者相比,这项研究证实长期轮椅使用者家庭锻炼计划的积极结果^[36]。

1.5 肌肉力量

脊髓损伤后,患者每天要在轮椅上待几个小时。久坐会导致严重的肌肉萎缩和腿部水肿,并增加压疮和深部血栓性静脉炎的风险,这在下肢运动神经元完全性损伤后尤为严重^[37-39]。应用电刺激器向覆盖四头肌的大型表面电极提供所需的电流时,为期2年的家庭功能性电刺激可以改善因失去神经营养而萎缩的肌肉功能^[40-41]。使用表面神经肌肉电刺激进行电诱发的阻力训练已被证明是增强脊髓损伤患者肌肉力量的有效干预措施,进行科学训练后可以使肌体积明显增加^[42]。骨骼肌完整性的维持对于细胞和全身新陈代谢的正常运转至关重要。在损伤水平以下部分保持非脂质组织的完整性与身体成分参数、代谢健康、线粒体密度和活性的提高息息相关^[43]。Dudley等^[44]发现,训练12周后,骨骼肌体积增加,并在受伤后数年内糖耐量改善。还有研究显示^[45],家庭电诱发阻力训练18周后,膝伸肌抗疲劳性提高33%。Ryan等^[46]注意到,每周2次电诱发阻力训练16周后,线粒体代谢能力提高25%。Gorgey等^[47]指出,每周2次电诱发阻力训练12周后,骨骼肌体积增加,肌肉脂肪和内脏脂肪组织减少,胰岛素敏感性和胰岛素样生长因子-1增加。为了维持肌肉体积和功能,脊髓损伤患者必须遵守长期锻炼计划。Gorgey等^[48]的研究还显示,功能性电刺激16周后,腿部肌肉质量增加9%,而在运动计划停止2.5年后,腿部肌肉质量下降16%。有个案报道显示^[47],减少训练量至每周1次,持续12周,仍然可能导致腿部肌肉质量增加7%。然而,与每周2次训练相比,腿部肌肉质量的增加几乎减少了50%^[49]。使用实况视频会议是一种有效和安全的策略,以监测家庭电诱发阻力训练的进行,实时视频监控程序的使用确保为期8周的培训的独立性、安全性和合规性。实时反馈可确保精确地进行计划设置和所有方面的训练,以使肌肉体积和功能最大程度增加^[50]。

2 小结

脊髓损伤后居家康复大多在临床研究阶段,鲜有进入实际应用阶段的治疗方法,存在一些局限性:①康复器械及相关软件使用过程复杂,操作困难,需要对患者和家属进行详细培训;②居家康复训练系统除康复器械外,必须额外安装远程监控系统等配套设施,全套系统价格昂贵,患者难以承受;③康复器械的小型化、便携化有待改进,影响患者日常使用。

远程居家康复作为一种潜在的未来康复模式已广泛出现于脊髓损伤后多种并发症相关的研究中,可监测康复进展并对治疗或生活方式进行远程干预,弥补了传统居家康复的不足,对改善疾病功能预后和不断修正康复方案具有重要价值。相信随着技术的不断发展将减小远程居家康复系统的局限性,进一步

提高它在居家康复治疗中的应用价值,使诊所和其他设施可以更好地与患者建立联系,并减轻脊髓损伤给医疗保健系统带来的沉重经济负担。

利益冲突声明:所有作者声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] Ruediger M, Kupfer M, Leiby B E. Decreasing re-hospitalizations and emergency department visits in persons with recent spinal cord injuries using a specialized medical home [J]. [ahead of print]. *J Spinal Cord Med*, 2019. doi: 10.1080/10790268.2019.1671075.
- [2] Skelton F, Hoffman J M, Reyes M, et al. Examining health-care utilization in the first year following spinal cord injury [J]. *J Spinal Cord Med*, 2015, 38(6): 690-695.
- [3] Houlihan B V, Jette A, Friedman R H, et al. A pilot study of a telehealth intervention for persons with spinal cord dysfunction [J]. *Spinal Cord*. 2013, 51(9): 715-720.
- [4] Haanpaa M, Attal N, Backonja M, et al. NeuPSIG guidelines on neuropathic pain assessment [J]. *Pain*, 2011, 152(1): 14-27.
- [5] Finnerup N B. Pain in patients with spinal cord injury [J]. *Pain*, 2013, 154(Suppl 1): S71-S76.
- [6] Dworkin R H, O'Connor A B, Backonja M, et al. Pharmacologic management of neuropathic pain: evidence-based recommendations [J]. *Pain*, 2007, 132(3): 237-251.
- [7] Boldt I, Eriks-Hoogland I, Brinkhof M W, et al. Non-pharmacological interventions for chronic pain in people with spinal cord injury [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014(11): CD009177.
- [8] Kayiran S, Dursun E, Dursun N, et al. Neurofeedback intervention in fibromyalgia syndrome; a randomized, controlled, rater blind clinical trial [J]. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 2010, 35(4): 293-302.
- [9] Stokes D A, Lappin M S. Neurofeedback and biofeedback with 37 migraineurs: a clinical outcome study [J]. *Behav Brain Funct*, 2010, 6: 9.
- [10] Hassan M A, Fraser M, Conway B A, et al. The mechanism of neurofeedback training for treatment of central neuropathic pain in paraplegia: a pilot study [J]. *BMC Neurol*, 2015, 15: 200.
- [11] Hasan M A, Fraser M, Conway B A, et al. Reversed cortical over-activity during movement imagination following neurofeedback treatment for central neuropathic pain [J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127(9): 3118-3127.
- [12] Al-Taleb M, Purcell M, Fraser M, et al. Home used, patient self-managed, brain-computer interface for the management of central neuropathic pain post spinal cord injury: usability study [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2019, 16(1): 128.
- [13] Kramer J L, Lammertse D P, Schubert M, et al. Relationship between motor recovery and independence after sensorimotor-complete cervical spinal cord injury [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2012, 26(9): 1064-1071.
- [14] Lo C, Tran Y, Anderson K, et al. Functional priorities in persons with spinal cord injury: using discrete choice experiments to determine preferences [J]. *J Neurotrauma*, 2016, 33(21): 1958-1968.
- [15] Kang B B, Choi H, Lee H, et al. Exo-Glove Poly II: a polymer-based soft wearable robot for the hand with a Tendon-driven actuation system [J]. *Soft Robot*, 2019, 6(2): 214-227.
- [16] Heung K, Tong R, Lau A, et al. Robotic glove with soft-elastic composite actuators for assisting activities of daily living [J]. *Soft Robot*, 2019, 6(2): 289-304.
- [17] Radder B, Prange-Lasonder G B, Kottink A I, et al. A wearable soft-robotic glove enables hand support in ADL and rehabilitation: a feasibility study on the assistive functionality [J]. *J Rehabil Assist Technol Eng*, 2016, 3: 2055668316670553.
- [18] Lotze M, Braun C, Birbaumer N, et al. Motor learning elicited by voluntary drive [J]. *Brain*, 2003, 126(Pt 4): 866-872.
- [19] Osuagwu B, Timms S, Peachment R, et al. Home-based rehabilitation using a soft robotic hand glove device leads to improvement in hand function in people with chronic spinal cord injury: a pilot study [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1): 40.
- [20] van den Berg-Emons R J, Bussmann J B, Stam H J. Accelerometry-based activity spectrum in persons with chronic physical conditions [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2010, 91(12): 1856-1861.
- [21] Noorkoiv M, Rodgers H, Price C I. Accelerometer measurement of upper extremity movement after stroke: a systematic review of clinical studies [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014, 11: 144.
- [22] Nguyen T H, Nebel J C, Florez-Revuelta F. Recognition of activities of daily living with egocentric vision: a review [J]. *Sensors (Basel)*, 2016, 16(1): 72.
- [23] Likitlersuang J, Sumitro E R, Theventhiran P, et al. Views of individuals with spinal cord injury on the use of wearable cameras to monitor upper limb function in the home and community [J]. *J Spinal Cord Med*, 2017, 40(6): 706-714.
- [24] Waddell K J, Strube M J, Bailey R R, et al. Does task-specific training improve upper limb performance in daily life post-stroke? [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017, 31(3): 290-300.
- [25] Likitlersuang J, Sumitro E R, Cao T, et al. Egocentric video: a new tool for capturing hand use of individuals with spinal cord injury at home [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2019, 16(1): 83.
- [26] New P W, Dillon L. Neurogenic bladder and urodynamic outcomes in patients with spinal cord myelopathy [J]. *Top Spinal*

- Cord Inj Rehabil, 2015, 21(3): 250-256.
- [27] Walter J S, Wheeler J S, Robinson C J, et al. Inhibiting the hyperreflexic bladder with electrical stimulation in a spinal animal model [J]. *NeuroUrol Urodyn*, 1993, 12(3): 241-252; discussion 253.
- [28] Farag F F, Martens F M, Rijkhoff N J, et al. Dorsal genital nerve stimulation in patients with detrusor overactivity: a systematic review [J]. *Curr Urol Rep*. 2012, 13(5): 385-388.
- [29] Bourbeau D J, Creasey G H, Sidik S, et al. Genital nerve stimulation increases bladder capacity after SCI: a meta-analysis [J]. *J Spinal Cord Med*, 2018, 41(4): 426-434.
- [30] Lee Y H, Creasey G H, Lim H, et al. Detrusor and blood pressure responses to dorsal penile nerve stimulation during hyperreflexic contraction of the bladder in patients with cervical cord injury [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(1): 136-140.
- [31] Bourbeau D J, Gustafson K J, Brose S W. At-home genital nerve stimulation for individuals with SCI and neurogenic detrusor overactivity: a pilot feasibility study [J]. *J Spinal Cord Med*, 2019, 42(3): 360-370.
- [32] Brose S W, Boninger M L, Fullerton B, et al. Shoulder ultrasound abnormalities, physical examination findings, and pain in manual wheelchair users with spinal cord injury [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008, 89(11): 2086-2093.
- [33] Escobedo E M, Hunter J C, Hollister M C, et al. MR imaging of rotator cuff tears in individuals with paraplegia [J]. *Am J Roentgenol*, 1997, 168(4): 919-923.
- [34] Dyson-Hudson T A, Kirshblum S C. Shoulder pain in chronic spinal cord injury, Part I: epidemiology, etiology, and pathomechanics [J]. *J Spinal Cord Med*, 2004, 27(1): 4-17.
- [35] Paralyzed Veterans of America Consortium for Spinal Cord Medicine. Preservation of upper limb function following spinal cord injury: a clinical practice guideline for health-care professionals [J]. *J Spinal Cord Med*, 2005, 28(5): 434-470.
- [36] Cardenas D D, Felix E R, Cowan R, et al. Effects of home exercises on shoulder pain and pathology in chronic spinal cord injury: a randomized controlled trial [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2020, 99(6): 504-513.
- [37] Carlson B M. The biology of long-term denervated skeletal muscle [J]. *Eur J Transl Myol*, 2014, 24(1): 3293.
- [38] Carraro U, Kern H. Severely atrophic human muscle fibers with nuclear misplacement survive many years of permanent denervation [J]. *Eur J Transl Myol*, 2016, 26(2): 5894.
- [39] Lomo T. The response of denervated muscle to long-term stimulation (1985, Revisited here in 2014) [J]. *Eur J Transl Myol*, 2014, 24(1): 3294.
- [40] Carraro U, Kern H, Gava P, et al. Recovery from muscle weakness by exercise and FES: lessons from masters, active or sedentary seniors and SCI patients [J]. *Aging Clin Exp Res*, 2017, 29(4): 579-590.
- [41] Sajer S. Mobility disorders and pain, interrelations that need new research concepts and advanced clinical commitments [J]. *Eur J Transl Myol*, 2017, 27(4): 7179.
- [42] Bickel C S, Yazar-Fisher C, Mahoney E T, et al. Neuromuscular electrical stimulation-induced resistance training after SCI: a review of the Dudley protocol [J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2015, 21(4): 294-302.
- [43] O'Brien L C, Wade R C, Segal L, et al. Mitochondrial mass and activity as a function of body composition in individuals with spinal cord injury [J]. *Physiol Rep*, 2017, 5(3): e13080.
- [44] Dudley G A, Castro M J, Rogers S, et al. A simple means of increasing muscle size after spinal cord injury: a pilot study [J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1999, 80(4): 394-396.
- [45] Hammel J, Magasi S, Heinemann A, et al. Environmental barriers and supports to everyday participation: a qualitative insider perspective from people with disabilities [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2015, 96(4): 578-588.
- [46] Ryan T E, Brizendine J T, Backus D, et al. Electrically induced resistance training in individuals with motor complete spinal cord injury [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2013, 94(11): 2166-2173.
- [47] Gorgey A S, Mather K J, Cupp H R, et al. Effects of resistance training on adiposity and metabolism after spinal cord injury [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, 44(1): 165-174.
- [48] Gorgey A S, Martin H, Metz A, et al. Longitudinal changes in body composition and metabolic profile between exercise clinical trials in men with chronic spinal cord injury [J]. *J Spinal Cord Med*, 2016, 39(6): 699-712.
- [49] Gorgey A S, Caudill C, Khalil R E. Effects of once weekly NMES training on knee extensors fatigue and body composition in a person with spinal cord injury [J]. *J Spinal Cord Med*, 2016, 39(1): 99-102.
- [50] Gorgey A S, Lester R M, Wade R C, et al. A feasibility pilot using telehealth videoconference monitoring of home-based NMES resistance training in persons with spinal cord injury [J]. *Spinal Cord Ser Cases*, 2017, 3: 17039.

(收稿日期:2020-10-17 修回日期:2020-11-28)