

步行训练在脊髓损伤致下肢运动功能障碍 康复中的临床应用进展

卢明毅, 吴冰洁, 许建文, 桂裕昌(综述), 张莉(审校)

基金项目: 广西自然科学基金项目(编号:2018GXNSFAA050033); 广西医疗卫生适宜技术开发与推广应用项目(编号:S2018021); 广西壮族自治区临床重点专科建设项目(桂卫医发[2018]6号)

作者单位: 530023 南宁, 广西中医药大学第一临床医学院(卢明毅, 吴冰洁); 530021 南宁, 广西医科大学第一附属医院康复医学科(许建文, 桂裕昌, 张莉)

作者简介: 卢明毅(1992-), 男, 在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 脊柱脊髓疾病的诊治。E-mail: 1024150599@qq.com

通讯作者: 许建文(1968-), 男, 医学博士, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 神经、脊髓及骨科中西医结合诊疗与康复。
E-mail: 1049662254@qq.com

[摘要] 脊髓损伤是一种严重影响患者生活能力的疾病, 常因交通事故、工伤事故和运动失误引起脊柱骨折或脊柱结构的改变发生脊髓的损伤, 而引起一系列功能障碍, 其中运动功能障碍是脊髓损伤后的一个常见症状。早期的康复训练有利于改善患者运动功能, 而步行训练在脊髓损伤患者运动功能的康复中扮演重要角色。该文就不同节段脊髓损伤所致运动功能障碍的特点, 步行训练的时效性及适应证, 不同的步行训练在脊髓损伤所致下肢运动能力康复中的临床应用进展作一综述。

[关键词] 脊髓损伤; 步行训练; 运动障碍; 功能康复

[中图分类号] R 493 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1674-3806(2020)01-0099-04

doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2020.01.26

Advances in research on rehabilitation of lower limb dyskinesia caused by spinal cord injury via walking training LU Ming-yi, WU Bing-jie, XU Jian-wen, et al. The First School of Clinical Medicine, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530023, China

[Abstract] Spinal cord injury (SCI) is a disease that seriously affects the living ability of patients. SCI is often caused by spinal fractures or structural changes due to traffic accidents, industrial accidents and movement errors resulting in a series of dysfunctions of which dyskinesia is a common symptom after SCI. Early rehabilitation training is beneficial to improving the movement function of the patients, and walking training plays an important role in the rehabilitation of movement function of the patients with SCI. In this paper, we review the characteristics of movement dysfunction caused by different segments of SCI, the timeliness and indications of walking training, and the advances in research on rehabilitation of lower limb dyskinesia caused by SCI via different walking trainings.

[Key words] Spinal cord injury (SCI); Walking training; Dyskinesia; Functional rehabilitation

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)发生后, 随着下肢肢体麻木和伸肌痉挛的出现, 下肢运动功能障碍而导致患者行走能力严重下降^[1], 增加了其他并发症的发生几率, 影响患者的生活能力。SCI发生后随着神经的损伤而导致下肢肌肉的萎缩, 肌力下降的出现, 随之也会导致损伤平面以下相应部位骨量的下降^[2], 影响患者康复的进度。因此, SCI患者下肢运动功能的恢复在康复治疗中尤为重要, 有效的运动训练能促进脊神经回路的可塑性, 增加下肢血

流的运行, 促进肌肉纤维的生长, 有利于诱导SCI患者下肢运动功能康复, 增加患者康复信心^[3]。目前, 国内外已将多种步行训练应用于SCI康复的研究, 并在实验研究和临床工作实践中取得了良好的效果。现将不同节段SCI所致运动功能障碍的特点, 步行训练的时效性及适应证, 不同的步行训练对SCI所致的下肢运动能力康复的研究进展综述如下。

1 不同节段SCI所致运动功能障碍的特点

根据节段分级SCI可分为颈、胸、腰段和圆锥SCI。

圆锥为脊髓最低段,损伤后会导致平面以下部位的疼痛、麻痹及自主神经功能的障碍^[4]。随着损伤平面的上升会导致更广范围的功能障碍或丧失,如腰段脊髓神经主要负责人体的下肢运动,损伤会导致约90%的神经元丢失而导致下肢运动功能障碍^[5];胸段SCI所致的运动功能障碍主要表现在躯干及下肢的完全或不完全性瘫痪,研究^[6]发现核心基因 *Csf2*、*Fars2*、*Synj2*、*Ppp3cc*、*Stat4*、*Pcsk2*、*Dnm3* 和 *Hmgcl11* 有利于协助胸椎SCI的诊断和治疗,这些基因在药物的治疗下能有效地减轻SCI引起的根性疼痛,促进轴突成熟、髓鞘形成和神经修复。而颈SCI后由于颈髓支配的神经肌肉系统的重组,会引起四肢瘫痪、肌肉萎缩和肌张力改变、上肢关节挛缩、屈伸功能缺陷^[7-9]。由此可知,SCI患者的运动功能障碍的严重程度取决于损伤的程度及节段,然而不同节段的SCI都会存在一定的下肢运动功能障碍。

2 步行训练的时效性及适应证

SCI发生后,导致损伤平面以下功能的丧失,其中伸肌痉挛的出现是导致运动功能障碍的重要原因。步行训练的康复意义在于提高下肢肌力和促进下肢运动功能的恢复,治疗时机的选择是影响康复疗效的关键。当SCI发生后,应根据患者的年龄、损伤的水平、损伤的时间、美国脊髓损伤学会(American Spinal Injury Association, ASIA)的分级对患者进行个体化的综合评估,制定康复治疗计划,早期进行康复干预,并且训练的时间应该以患者个人的耐受能力、循序渐进的原则为主^[10]。祁玉军等^[11]研究发现SCI在术后1个月进行康复训练与延迟组对比能显著缩短患者的康复时间,且康复的时间会随着SCI平面的增高而延长。目前国内外的研究^[12-14]多认为当SCI在病情稳定后,ASIA分级为C-D级或股四头肌力量 ≥ 2 级时适宜进行步行康复训练,但对患有下肢开放性骨折、感染、急性深静脉血栓的患者需避免步行训练以降低并发症发生的风险。通过步行训练的康复治疗,不完全性SCI患者的行走能力能得到改善。

3 步行训练在下肢运动能力康复中的临床应用

3.1 减重步行训练(body weight support treadmill training, BWSTT)

BWSTT是一种针对下肢运动功能障碍,提高、改善步行能力的康复治疗技术,随着近20年的发展,该技术的应用也不断地丰富,并广泛应用于SCI的实验研究和临床实践。Sommers等^[14]研究发现,当SCI患者的股四头肌力量 ≥ 2 级时,BWSTT能有效地改善患者下肢肌力,有利于减少因

治疗师训练带来的缺点。近年来,BWSTT在促进神经再生与提高下肢运动能力康复的基础研究也有了新的突破。冯杰扬等^[15]研究发现,BWSTT能使不完全性SCI大鼠中脑脚桥核谷氨酸能神经递质表达升高,有利于改善不完全性SCI大鼠后肢步行能力。Tom等^[16]首次研究发现使用神经营养蛋白负载生物工程支架联合BWSTT的方案可促进神经保护和再生。董春磊^[17]研究发现,SCI小鼠在干细胞移植后联合BWSTT治疗,能够有效诱导神经细胞的分化及恢复运动神经功能,为SCI患者的治疗提供重要的实验理论依据。

3.2 BWSTT联合电针治疗

多年的临床应用证实了BWSTT是一种能改善下肢运动的训练方式,在临床上BWSTT也经常联合其他治疗方法提高康复疗效,目前国内通常结合电针联合治疗。电针有抑制SCI后炎症反应,促进神经细胞再生和组织修复的作用,利于促进SCI下肢运动功能的恢复^[18,19]。张柳娟等^[20]为了研究急性SCI大鼠Cdc42因子表达,采用电针结合BWSTT疗法,结果发现电针结合BWSTT疗法可通过增加Rho/Rock激酶信号通路中下游因子Cdc42的表达,促进大鼠运动功能的恢复。有实验研究^[21]表明,SCI大鼠经BWSTT结合电针治疗能促进神经生长因子阳性细胞和巢蛋白的表达,有效改善大鼠运动功能。由此可见,BWSTT结合电针治疗有利于促进SCI相关神经生长因子的表达,利于下肢运动能力的康复。目前,这些研究局限于动物,对SCI患者临床的疗效尚不确定。SCI属中医督脉损伤范畴,目前针对督脉损伤的治疗主要选择针刺督脉周围的穴位刺激脊髓神经细胞再生,如果能发掘不同穴位在电针刺激下结合BWSTT训练对SCI患者下肢功能障碍的修复途径,明确相关机制后将能更好地丰富该病的治疗方案。

3.3 水中平板步行训练(aquatic treadmill training, ATT)

ATT是在水疗的基础上结合BWSTT的一种康复训练方法,具有运动平板的压力和水流的阻力、水温刺激的优点。以往的研究主要集中在提高SCI患者的步行能力、下肢肌力和耐力等方面。国外学者^[22]研究发现,水下训练在精准地控制水深、水温及行走速度的情况下,能显著改善腿部的力量,增加步行速度。刘晓广等^[23]将ASIA分级为C级的不完全性SCI患者进行为期6周的训练,通过表面肌电图(sEMG)的测试发现患者的下肢运动、感觉得到明显的改善。吴琼等^[24]采用sEMG研究水中步行训练的人体运动学和动力学效应,研究发现,水中训

练时步态及肌肉的收缩程度均明显低于陆地训练时。这些研究结果表明,将 sEMG 应用于 SCI 患者的步行训练能客观地评估肌肉功能的变化,能更好地为 SCI 患者的临床康复服务。

3.4 下肢康复机器人步行训练 下肢康复机器人步行训练的优点在于能使负重、步行与平衡三个要素结合,提高康复训练的精准度,使 SCI 患者实施一致的步态,提高康复的质量。目前足底驱动和腿部驱动两种机器人训练方式应用比较广泛。LokoHelp 系统是足底驱动机器人的代表^[25]。这是一种新的、有效的改善步行能力的方法,主要运用于脑卒中患者步行能力康复的研究,在 SCI 患者步行能力的康复方面报道较少。腿部驱动以外骨骼机器人为主,Sale 等^[26]为了探讨外骨骼机器人训练对 SCI 患者的康复疗效,对 8 例患者进行了 20 次体外骨骼设备训练(ESD)并用三维步态进行分析,结果表明,ESD 能增加髋关节水平关节活动度,提高 SCI 患者的步行速度、步幅。Wu 等^[27]对 2 例完全 SCI 患者采用动力外骨骼步态训练,1 h/次,2 次/周,经过 8 周康复训练后患者的骨密度增加,并具有较低的运动强度,其行走速度及步行距离均得到改善,2 例患者在训练过程中均无损伤和摔伤。有研究^[28]发现,以胫骨肌电图测试受过 Lokomat 训练的慢性 SCI 患者的胫骨前肌和腓肠肌,结果提示异常的神经肌肉能得到较好的改善。石芝喜等^[29]对 20 例 C-D 级的 SCI 患者采用 Lokomat 结合常规的运动治疗,认为两者结合比常规运动治疗更有利于提高 SCI 患者的移动能力及日常生活活动能力。Rewalk™ exoskeleton 是一种利用患者外骨骼控制外部驱动步态的独特机器人设备,该系统的发明有助于恢复截瘫患者的步行能力。有研究^[30]对 7 例胸腰椎 SCI 患者进行为期 4~5 周的训练,结果发现,全部患者学会了站立和坐下,在保持平衡站着的时候能直行 10 m,能恢复基本的生活技能,且在训练过程只出现轻微的皮肤损伤。而 Ekso 外骨骼机器人是一种在设计上与 Rewalk™ 外骨骼机器人相似的新型下肢机器人设备,于 2015 年首次报道该技术的使用^[31]。目前该技术已经发展到第二代,在第一代的基础上增加手持辅助装置^[32],在训练的过程中相比 Lokomat 训练能更好激发躯干肌肉活动,从而利于实现躯体的平衡。有研究^[33]对 SCI 患者进行 3 次/周,共 8 周的 Ekso 外骨骼机器人训练,结果发现步行测试、定时起跑、Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)和下肢运动评分结果均有改善,且适用于包括四肢瘫痪、截瘫、短期和慢性损伤的完

整和不完整的 SCI 患者。上述下肢康复机器人证明了下肢动力外骨骼机器人步行训练是一种安全、可靠的训练方式,能有效地改善患者步行能力,但目前主要以小样本研究为主,尚缺乏大样本的临床及基础研究。

3.5 下肢步行矫形器的应用 下肢步行矫形器是一种通过改善 SCI 患者下肢髋、膝、踝关节活动度及下肢肌肉力量,帮助患者恢复站立及行走能力的技术。临床上需要全面评估 SCI 患者的损伤程度、下肢肌力、心理状态等情况来选择使用合适的矫形器。杨勤等^[34]研究发现,步行矫形器的训练能提高胸段截瘫的 SCI 患者步行距离及速度,并能控制下肢肌痉挛的发展,并且认为增强肌群力量是使用步行矫形器的前提条件。唐丹等^[35]认为步行矫形器的训练能改善患者下肢肌肉、关节的挛缩,克服焦虑状态,增加康复信心,从而提高步行能力。但目前普遍认为步行矫形器仍缺乏修复 SCI 患者神经功能的作用。

4 展望

综上所述,BWSIT、ATT、下肢康复机器人步行训练及下肢步行矫形器都能改善 SCI 患者的下肢力量、步行能力及平衡功能,尤其是 BWSIT 已在临床上广泛应用于 SCI 和脑卒中所致的步行功能障碍的研究。但步行训练在促进脊髓神经恢复中的作用机制仍有待进一步研究,特别是下肢机器人步行训练在恢复 SCI 下肢运动能力的基础研究较少,对激活肌肉和神经的程度尚不清楚,同时缺乏大样本及长期随访的临床研究。目前国内外针对 SCI 患者步行康复训练的时效性及适应证报道较少,对于不同节段、分级及损伤时间的 SCI 患者相关研究有待深入开展。如果能针对不同节段 SCI 步行康复训练的时效性及适应证开展相关基础及应用研究,掌握最佳训练时间,采取个体化训练方案,将能更好地促进 SCI 患者下肢运动能力的康复。

参考文献

- 1 Covarrubias-Escudero F, Rivera-Lillo G, Torres-Castro R, et al. Effects of body weight-support treadmill training on postural sway and gait independence in patients with chronic spinal cord injury[J]. *J Spinal Cord Med*, 2019, 42(1): 57-64.
- 2 庞日朝,王文春,董超,等. 步行训练对外伤性脊髓损伤患者骨量丢失的影响[J]. *中国康复*, 2018, 33(3): 207-210.
- 3 Fu J, Wang H, Deng L, et al. Exercise Training Promotes Functional Recovery after Spinal Cord Injury [J]. *Neural Plast*, 2016, 2016: 4039580.
- 4 Bigbee AJ, Akhavan M, Havton LA. Plasticity of Select Primary Afferent Projections to the Dorsal Horn after a Lumbosacral Ventral Root

- Avulsion Injury and Root Replantation in Rats [J]. *Front Neurol*, 2017, 8:291.
- 5 Züchner M, Kondratskaya E, Sylte CB, et al. Rapid recovery and altered neurochemical dependence of locomotor central pattern generation following lumbar neonatal spinal cord injury[J]. *J Physiol*, 2018, 596(2):281-303.
 - 6 Shi GD, Zhang XL, Cheng X, et al. Abnormal DNA Methylation in Thoracic Spinal Cord Tissue Following Transection Injury [J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24:8878-8890.
 - 7 Cremoux S, Tallet J, Dal Maso F, et al. Impaired corticomuscular coherence during isometric elbow flexion contractions in humans with cervical spinal cord injury[J]. *Eur J Neurosci*, 2017, 46(4):1991-2000.
 - 8 Hardwick D, Bryden A, Kubec G, et al. Factors associated with upper extremity contractures after cervical spinal cord injury: A pilot study [J]. *J Spinal Cord Med*, 2018, 41(3):337-346.
 - 9 Britten L, Coats R, Ichiyama R, et al. Bimanual reach to grasp movements after cervical spinal cord injury [J]. *PLoS One*, 2017, 12(4):e0175457.
 - 10 余娇莲. 综合护理干预对脊髓损伤患者康复的效果观察[J]. *中国临床新医学*, 2013, 6(6):592-594.
 - 11 祁玉军, 孙文琳, 孟德钊, 等. 康复治疗起始时间对不同节段脊髓损伤治疗效果的影响[J]. *中国临床保健杂志*, 2018, 21(5):652-655.
 - 12 李建军, 杨明亮, 杨德刚, 等. “创伤性脊柱脊髓损伤评估、治疗与康复”专家共识[J]. *中国康复理论与实践*, 2017, 23(3):274-287.
 - 13 石芝喜, 刘明俭, 蔡朋, 等. 下肢步行机器人用于 C-D 级脊髓损伤患者步行训练的疗效研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(1):96-98.
 - 14 Sommers J, Wieferink DC, Dongelmans DA, et al. Body weight-supported bedside treadmill training facilitates ambulation in ICU patients: An interventional proof of concept study [J]. *J Crit Care*, 2017, 41:150-155.
 - 15 冯杰扬, 陈杨霞, 郭磊, 等. 减重步行训练对不完全脊髓损伤大鼠脚桥核可塑性影响的研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(6):624-630.
 - 16 Tom B, Witko J, Lemay M, et al. Effects of bioengineered scaffold loaded with neurotrophins and locomotor training in restoring H-reflex responses after spinal cord injury [J]. *Exp Brain Res*, 2018, 236(11):3077-3084.
 - 17 董春磊. 减重步行训练对脊髓损伤鼠干细胞移植后神经细胞诱导分化的实验研究[D]. 新疆医科大学, 2015.
 - 18 卫哲. 电针对脊髓损伤后小鼠神经功能重塑的机制研究[J]. *上海针灸杂志*, 2017, 36(5):608-613.
 - 19 邹恩苗, 胡洁, 高丽萍, 等. 电针刺刺激对大鼠脊髓损伤后炎症反应的影响[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2018, 26(10):10-13.
 - 20 张柳娟, 何克林, 马睿杰. 电针结合运动疗法对急性脊髓损伤大鼠 Cdc42 因子表达的研究[J]. *江西中医药大学学报*, 2015, 27(5):66-69.
 - 21 马睿杰, 孙连珠, 张柳娟, 等. 电针结合减重步行训练对急性脊髓损伤大鼠巢蛋白和神经生长因子表达的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(6):532-537.
 - 22 Stevens SL, Caputo JL, Fuller DK, et al. Effects of underwater treadmill training on leg strength, balance, and walking performance in adults with incomplete spinal cord injury [J]. *J Spinal Cord Med*, 2015, 38(1):91-101.
 - 23 刘晓广, 杨学民, 龚雷, 等. 水中步行训练对脊髓损伤患者下肢表面肌电和神经功能的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2017, 23(5):599-602.
 - 24 吴琼, 张通, 丛芳, 等. 健康成人水中平板步行运动分析[J]. *中国康复理论与实践*, 2017, 23(1):63-67.
 - 25 张军, 王宝军, 李月春, 等. 一种下肢机器人对脑梗死偏瘫患者步行能力疗效的观察[J]. *中国康复医学杂志*, 2015, 30(10):1068-1070.
 - 26 Sale P, Russo EF, Scarton A, et al. Training for mobility with exoskeleton robot in spinal cord injury patients: a pilot study [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2018, 54(5):745-751.
 - 27 Wu CH, Mao HF, Hu JS, et al. The effects of gait training using powered lower limb exoskeleton robot on individuals with complete spinal cord injury [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2018, 15(1):14.
 - 28 Mirbagheri MM, Niu X, Kindig M, et al. The effects of locomotor training with a robotic-gait orthosis (Lokomat) on neuromuscular properties in persons with chronic SCI [J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012, 2012:3854-3857.
 - 29 石芝喜, 蔡朋, 刘明俭, 等. 下肢步行机器人对脊髓损伤后日常生活能力及步行能力的影响[J]. *中国康复*, 2018, 33(3):211-214.
 - 30 Platz T, Gillner A, Borgwaldt N, et al. Device-Training for Individuals with Thoracic and Lumbar Spinal Cord Injury Using a Powered Exoskeleton for Technically Assisted Mobility: Achievements and User Satisfaction [J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016:8459018.
 - 31 Kozłowski AJ, Bryce TN, Dijkers MP. Time and Effort Required by Persons with Spinal Cord Injury to Learn to Use a Powered Exoskeleton for Assisted Walking [J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2015, 21(2):110-121.
 - 32 Alamro RA, Chisholm AE, Williams AMM, et al. Overground walking with a robotic exoskeleton elicits trunk muscle activity in people with high-thoracic motor-complete spinal cord injury [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2018, 15(1):109.
 - 33 Bach Baunsgaard C, Vig Nissen U, Katrin Brust A, et al. Gait training after spinal cord injury: safety, feasibility and gait function following 8 weeks of training with the exoskeletons from Ekso Bionics [J]. *Spinal Cord*, 2018, 56(2):106-116.
 - 34 杨勤, 唐丹, 赵艳玲, 等. 胸段脊髓损伤患者应用截瘫步行矫形器对下肢康复的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(31):4967-4972.
 - 35 唐丹, 刘四文, 邓小倩, 等. 重心移动式截瘫步行矫形器对胸腰段脊髓损伤患者的疗效分析[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2017, 35(2):224-227, 231.
- [收稿日期 2019-04-24] [本文编辑 潘洪平 韦颖]