

外骨骼下肢机器人训练对截瘫患者步行功能恢复的影响

邓小倩^a, 王杨^b, 熊愿^c, 韩俊奇^a, 刘四文^d

【摘要】 目的:本研究旨在探讨外骨骼下肢机器人训练对完全性截瘫患者步行功能恢复的影响,并讨论其临床应用范围。**方法:**分别测量30例完全性截瘫患者使用往复式截瘫步行矫形器(RGO)和外骨骼下肢机器人(ELLR)的6min步行距离、10m步行时间、生理消耗指数(PCI)、Borg主观运动强度量表评分(PRE)。**结果:**与RGO相比,受试者使用外骨骼下肢机器人步行距离显著增加($P<0.05$),10m步行时间、PCI及PRE明显下降($P<0.05$)。**结论:**与RGO相比,截瘫患者应用外骨骼下肢机器人步行时步行耐力增强、步行速度提高、能量消耗较低,可作为完全性截瘫患者的治疗性步行辅具进一步推广应用。

【关键词】 外骨骼下肢机器人;往复式截瘫步行矫形器;截瘫;步行功能;生理消耗指数

【中图分类号】 R49;R682 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.08.007

Application of exoskeleton lower limb robot in walking ability of paraplegic patients Deng Xiaoqian, Wang Yang, Xiong Yuan, et al. Guangdong Provincial Work Injury Rehabilitation Hospital, Guangzhou 510440, China

【Abstract】 Objective: To investigate the characteristics of walking ability of patients with complete paraplegia by using exoskeleton lower limb robot. **Methods:** Totally, 30 patients with complete paraplegia were examined using RGO and exoskeleton 6 min walking distance, 10 meters walking time, physiological burden index, Borg fatigue scale score. **Results:** As compared with RGO, the walking distance of exoskeleton was significantly increased ($P<0.05$), the 10 meter walking time was significantly shortened ($P<0.05$), and the physiological consumption index and PRE were decreased. **Conclusion:** Compared with RGO, the exoskeleton lower limb robot for paraplegic patients can enhance walking endurance, increase walking speed and lower energy consumption, which can be further popularized as a therapeutic walking aid for complete paraplegic patients.

【Key words】 Exoskeleton lower limb robot; Reciprocating gait orthosis; Paraplegia; Walking ability; Physiological consumption index

脊髓损伤(Spinal Cord Injury, SCI)是严重的致残性疾病,其中胸腰段脊髓损伤所致截瘫常表现为损伤平面以下运动及感觉障碍^[1]。此病患者因此导致的运动功能障碍特别是步行障碍不仅使患者无法正常进行站立、行走,同时也严重地影响其生存质量和平等参与社会活动的 ability^[2]。对于完全性截瘫患者即使不能实现功能性步行,借助以复式截瘫步行矫形器(reciprocating gait orthosis, RGO)为代表的步行矫形器进行站立、行走训练也可以对患者身体、精神、社会生活方面产生积极的影响^[3-4]。虽然RGO有一定的助动功能,但在步行时,需要大量的上肢肌肉力量,行走时步态僵硬,能量消耗较大^[5]。据报道,RGO成人弃用率为46%~54%,骨髓鞘膨出患儿弃用率为61%~90%^[6]。

随着科技的进步,外骨骼技术逐渐应用于脊髓损伤康复,其旨在提高截瘫患者的步行能力,甚至为完全性截瘫患者实现功能性步行带来新希望^[7]。近年来,国外已有ReWalk、Ekso、Indego等多款外骨骼下肢机器人用于截瘫患者的临床报道。但进口外骨骼下肢机器人属于新型辅具且价格昂贵,在国外普及程度不高,国内更较少有临床应用报道。本研究旨在对完全性截瘫患者应用外骨骼下肢机器人(以下简称外骨骼)与临床上常规使用的RGO行走时的步态特征进行对比、分析,以明确外骨骼的临床性能及其应用前景。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2018年6月~2020年12月在我院收治的30例截瘫患者作为研究对象,其中男23例,女7例。平均年龄(38.5 ± 9.5)岁;平均病程(8.8 ± 2.4)个月。纳入标准:影像学(CT/MRI)和临床检查确诊为脊髓损伤,ASIA诊断为A型的截瘫患者,神经损伤平面在T1~L1;受试前一月病情稳定,无明显功能进展或退步;经临床检查及影像学检查,脊

基金项目:广东省医学科学技术研究基金项目(B2018020)

收稿日期:2021-04-23

作者单位:广东省工伤康复医院 a. 康复辅具科, b. 作业治疗科, c. 物理治疗科, d. 康复部, 广州 510440

作者简介:邓小倩(1982),女,副主任技师,主要从事康复辅具研发及临床应用研究。

柱骨折内固定稳定;病程 5~12 个月;下肢无明显畸形和挛缩;可主动配合步行及站立训练;排除标准:双上肢肌力及关节活动度明显受限;双下肢肌张力显著增高,改良 Ashworth 分级 MAS>II 级;严重心肺功能受限及其他严重内科疾病;严重并发症:如严重压疮、泌尿感染、静脉血栓需卧床治疗;研究期间同时接受其他相关研究者;不服从研究协议,自行选择入组者。

1.2 方法 受试者均在入组前进行规范的 RGO 及外骨骼的调试及系统使用训练。研究测试当天,患者使用 RGO 行相关步行测试,经 3~5h 完全休息,确认恢复训练体力后,再进行一次外骨骼的步行测试。所有的测试由经系统培训的项目成员规范执行。具体训练方案如下:①RGO 步行训练:受试者佩戴由同一位矫形师量身定制的 RGO,进行 RGO 的穿、脱训练、站立训练、平行杠内站立、步行训练、使用助行架室内步行训练。②外骨骼步行训练:受试者均使用北京航空航天大学研制的大艾外骨骼机器人,型号为 AiWalker。由经过系统培训的治疗师根据受试者大、小腿长度、骨盆宽度调节外骨骼的长度及骨盆宽度至最佳状态,根据患者适应情况选择合适的步态模式。进行穿戴外骨骼的穿、脱训练、站立训练、使用助行架进行步行训练。

1.3 评定标准 受试者借助助行架使用 RGO、外骨骼达到较为稳定的步态后,由项目评估组治疗师对其分别使用两种步行装置在室内平地行走 10 m 行走时间、6 min 步行距离测试其步行耐力;运用生理性消耗指数(Physiological burden index, PCI)测量步行时能力消耗。测试方法:受试者手腕佩戴 PALOR(M400 型)心率表,胸带固定在受试者心尖部位。测试前受试患者穿戴好步行装置先在座位安静休息 5 min,用心率表持续测量 1 min 确定休息时心率。随后让受试者以自身喜好的步速在室内 25 m 的步道上连续步行 6 min,测量步行距离,计算步行速度。受试者步行结束后立即在座位安静休息同时测定其心率,方法同前,以确定运动后心率,以下面的公式计算:

$$PCI = \frac{\text{运动后心率} - \text{静息心率}}{\text{步行速度}}$$

在步行测试结束后,即刻运用 Borg 主观运动强度量表(Rating of perceived exertion, PRE)评分,记录受试者在训练中的主观疲劳程度。

1.4 统计学方法 应用 SPSS 19.0 统计学分析软件进行数据处理,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。组间比较采用配对样本 t 检验,组内指标变化采用自身配对 t 检验, $P < 0.05$ 为差异具有显著性。

2 结果

2.1 步态参数比较 受试者使用外骨骼的 6min 步行距离测试用时、10m 步行速度、步长表现均明显优于其使用 RGO 相应的步行参数(均 $P < 0.05$)。

表 1 30 例受试者分别使用 RGO 和外骨骼的步行参数比较

组别	n	$\bar{x} \pm s$		
		6min 步行距离 (m)	10m 步行时间 (s)	步长 (m)
RGO	30	41.20±19.17	100.57±60.72	0.57±0.17
外骨骼	30	119.81±5.42 ^a	32.39±2.71 ^a	1.30±0.05 ^a

与 RGO 组比较, ^a $P < 0.05$

2.2 能量消耗比较 与 RGO 相比,患者应用外骨骼步行前后心率变化差异无统计学意义,PCI、PRE 指数明显下降(均 $P < 0.05$)。见表 2。

表 2 30 例受试者分别使用 RGO 和外骨骼的能量消耗比较

组别	n	$\bar{x} \pm s$			
		静息心率 (次/min)	运动后心率 (次/min)	PCI	PRE
RGO	30	78.3±9.77	111.6±16.44	8.71±6.89	14.93±1.55
外骨骼	30	79.6±8.24	86.87±11.15 ^a	0.36±0.24 ^a	8.93±1.39 ^a

与 RGO 组比较, ^a $P < 0.05$

3 讨论

本研究所选用两种步行装置的特点如下:①RGO 特点:是由一对髋关节、两根钢索和附在一金属骨盆箍上的两个大腿矫形器以及躯干支条构成。患者使用 RGO 步行时,当身体重心移到一侧,该侧髋关节作过伸运动时,通过钢索牵拉使另一侧髋关节产生屈髋运动,从而达到带动下肢向前移动的目的,用同样的方法可迈出另一条腿。RGO 的骨盆箍为杠杆支撑点,腰背部约束带为力点,不仅在步行中有辅助功能,而且在患者站立与坐位姿势互换过程中有支撑稳定的功能^[8]。见图 1。②AiWalker 特点:是由对两个髋电机和两个膝电机进行位置和力度的闭环控制以及四个电机的协调运动控制,以实现事先规划好的步态运动^[9]。为减少训练中的风险, AiWalker 配有移动支撑台架,可提供稳定的腰部支撑和面积较大的四角支撑,提高初始训练的安全性和稳定性。见图 2。

因本研究设计目的为比较同一患者同一天内使用两种不同步行装置的步行参数特征,2 组功能前提较为统一。入组该研究的前提条件之一是掌握使用助行架借助两种步行辅具实现平地步行的功能要求。临床实践中,也由于不同损伤平面、年龄、性别的受试者使用 RGO 及外骨骼设备达到助行架步行能力的时间不同。因此本研究中未具体规定患者系统使用训练时长。



图1 本研究训练用的RGO



图2 本研究训练用的外骨骼装置

本研究结果显示:与使用RGO相比,同一截瘫患者使用外骨骼可以达到更高的步行效率。患者使用外骨骼6min步行距离平均为119.84m,约是RGO步行效率的3倍;10m步行用时是约RGO用时的约1/3,步长为RGO的2.3倍。此外,研究团队还发现:30例性别、年龄、身高、体重、损伤平面、病程各异的受试者使用外骨骼的步态参数组间差异较小,而RGO组间差异较大。6min步行测试中,受试者使用外骨骼步行距离区间为108.5~135m。而使用RGO的步行距离区间为25.2~79.2m。此结果与Carsten等^[10]报道一致,无论年龄、性别和损伤平面如何,患者都可以通过外骨骼进行步行训练,并达到一定的步行能力。而使用RGO的步行能力与使用者受损伤平面、性别、年龄影响较大^[11]。

本研究中,患者应用外骨骼时代表能量消耗客观指标的PCI及主观指标的PRE均明显优于应用RGO,也提示外骨骼能为受试者带来更为高效的步行

功能。分析外骨骼的优势可见,外骨骼通过自带锂电池提供动力辅助,受试者进行步行活动较RGO在步行中能量效率方面具有显著优势。RGO由于缺少外动力装置,步行时需要大量的上肢、躯干肌肉力量,能量效率低。这使得患者在使用RGO步行时容易疲劳。在严重情况下,甚至会导致上肢肌肉的损伤^[12]。某种程度上,外骨骼下肢机器人可看作是机械型截瘫步行器如RGO的升级和发展。与RGO的训练目的相同,现阶段进行外骨骼训练的理由一方面是减少截瘫患者处于坐位的时间,减少对SCI后并发症的影响,如疼痛、痉挛、肠和膀胱功能^[13],另一方面外骨骼也可以发挥其高效、节能的优势,作为未来潜在的功能型移动装置继续探索其在临床上的应用。Hartigan等^[14]报道仅5次训练后,四肢瘫痪和截瘫患者均能快速掌握Indego外骨骼的使用技巧,并可以在不同路面行走实现社区性步行。

在实践应用中,研究团队也发现本实验选用的外骨骼设备尚需改进之处:如穿戴耗时较长(平均5min),而RGO平均穿戴时间约1min;且个性化程度不足:现有技术尚不能实现使用者自如控制步态,仅能完成程序化步态。目前用于临床的可穿戴式外骨骼机器人普遍存在设备臃肿笨重、穿戴不便、人机结合欠佳等问题^[15]。进一步的研发中,建议外骨骼在仿生能力、便携性及智能控制方面继续加强。大量临床证据显示,对于不完全性以及完全性脊髓损伤患者而言,下肢外骨骼康复机器人能有效且安全的提高步行能力,继而减少压疮、肺部感染、尿路感染等各种并发症,提高患者尊严,减少花费^[16-17]。随着下肢外骨骼康复机器人性能的逐渐改进,将会得到更加广阔的临床应用。

综上所述,与RGO相比,截瘫患者应用外骨骼下肢机器人步行时步行耐力增强、步行速度提高、能量消耗较低,可作为完全性截瘫患者的治疗性步行辅具进一步推广应用。

【参考文献】

- [1] 厉建安,许光旭,姚刚,等. 脊髓损伤的康复治疗[M]. 北京:人民军医出版社,2013,425-435.
- [2] 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.
- [3] 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]. 中国临床解剖杂志,2017,35(2):224-231.
- [4] 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.
- [5] Bernardi M, Canale I, Castellano V, et al. The efficiency of walking of paraplegic patients using a reciprocating gait orthosis [J]. Spinal Cord, 1995, 33(7):409-415.

- [6] Hirokawa S, Grimm M. Energy consumption in paraplegic ambulation using the reciprocating gait orthosis and electric stimulation of the thigh muscles[J]. Arch Phys Med Rehabil, 1990, 71(9): 687 - 694.
- [7] 王陶陶, 古剑雄. 康复机器人在临床中的应用进展及展望[J]. 实用心脑血管病杂志, 2021, 29(3): 137-140.
- [8] 邓小倩, 王杨, 张朝阳, 等. 往复式截瘫步行矫形器结合强化步行训练对截瘫患者步行能力的疗效研究[J]. 中国康复, 2019, 34(5): 262-264.
- [9] 助行+康复, 做了百例临床试验的大艾要打造专业医用的外骨骼机器人[EB/OL]. [2019-03-31]. <http://mini.eastday.com/a/170109130530754-2.html>.
- [10] Carsten BB, Ulla VN, Anne KB 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.
- [11] Arazpour M, Bani MA, Hutchins SW. Reciprocal gait orthoses and powered gait orthoses for walking by spinal cord injury patients[J]. Prosthet Orthot Int, 2013, 37(1): 14 - 21.
- [12] Sykes L, Campbell IG, Powell ES, et al. Energy expenditure of walking for adult patients with spinal cord lesions using the reciprocating gait orthosis and functional electrical stimulation[J]. Spinal Cord, 1996, 34(11): 659-65.
- [13] Carpino G, Pezzola A, Urbano M, et al. Assessing effectiveness and costs in robot-mediated lower limbs rehabilitation: a meta-analysis and state of the art[J]. Journal of Healthcare Engineering, 2018, 6(1): 1-9.
- [14] Hartigan C, Kandilakis C, Dalley S, et al. Mobility Outcomes Following Five Training Sessions with a Powered Exoskeleton[J]. Top Spinal Cord Injury Rehabil, 2015, 21(2): 93-99.
- [15] 张晓玉. 截瘫行走矫形器智能技术研究进展[J]. 科技导报, 2019, 37(22): 51-59.
- [16] 向小娜, 宗慧燕, 何红晨. 下肢外骨骼康复机器人对脊髓损伤患者步行能力改善的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(1): 119-122.
- [17] 石芝喜, 蔡朋, 刘明检, 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.

• 外刊拾粹 •

肩峰撞击综合征的神经松动术治疗

肩峰撞击综合征(SIS)包括肩袖肌腱炎和肩关节滑囊炎。肩峰撞击综合征中肌腱疼痛的起源有三种理论假说:机械性、血管性和神经性。本研究比较了神经松动术(NM)联合物理治疗对于肩峰撞击综合征患者疼痛和功能障碍的疗效。研究对象为 80 例有肩峰撞击综合征病史的患者。所有患者进行基线和随访评估,包括视觉模拟评分法(VAS)进行疼痛的评估,加州大学洛杉矶分校肩关节功能评分量表(UCLA)进行功能障碍的评估。常规物理治疗组的治疗包括脉冲短波治疗、超声波治疗和经皮神经电刺激治疗。运动训练包括肩部肌力训练和牵伸治疗,每次 5 秒,重复 10 次。神经松动术采用 Butler 方法,从神经滑动逐渐进阶到神经张力练习。最终纳入 68 例患者。实验组 VAS 疼痛评分从 6.95 分降到 2.15 分,对照组从 6.78 分降到 4.9 分($P < 0.001$)。同样, UCLA 评分在治疗组的改善程度优于对照($P < 0.001$)。结论:本研究针对肩峰撞击综合征的患者,与单纯物理治疗相比,在常规物理治疗的基础上增加神经松动术能够更好地改善疼痛和功能。

(孙楚桐 元香南译)

Akhtar M, et al. The Effectiveness of Routine Physiotherapy, With and Without Neuromobilization, on Pain and Functional Disability in Patients with Shoulder Impingement Syndrome; A Randomized, Control Clinical Trial. BMC Musculoskel Disord. 2020 Nov 21;21(1):770. doi:10.1186/s12891-020-03787-0.

中文翻译 由 WHO 康复培训与研究合作中心(武汉)组织
本期由中国医科大学附属盛京医院 张志强教授主译编