

Lokomat全自动机器人步态训练与评定系统对不完全性脊髓损伤患者步行功能的影响*

郭素梅¹, 李建民¹, 吴庆文², 沈海涛²

Effect of gait training and assessment system of Lokomat automatic robot on walking ability of patients with incomplete spinal cord injury

Guo Su-mei¹, Li Jian-min¹, Wu Qing-wen², Shen Hai-tao²

Abstract

BACKGROUND: Robotic devices can provide safe, repetitive, high-intensity and long time gait training for patients under precisely control. Application of robotic devices in the field of rehabilitation has obvious advantages.

OBJECTIVE: To investigate the role of Lokomat-system in recovery of walking ability in people with incomplete spinal cord injury.

METHODS: Two male patients with motor-incomplete spinal cord injury were selected to join in Lokomat gait training for 5.5 months. Lower extremity motor scores, 10-meter walk test, the 6-minute walk test, the Berg test were assessed prior to, at 6, 12 weeks and 5.5 months after training.

RESULTS AND CONCLUSION: After finishing automatic gait training with Lokomat, although lower extremity motor scores was not improved apparently, the 10-meter walk test, the 6-minute and Berg test of the two patients were improved as compared with the pretraining. Automatic gait training with Lokomat is helpful to improve walking ability of patients with incomplete spinal cord injury.

¹Affiliated Hospital of Hebei Union University, Tangshan 063000, Hebei Province, China;
²College of Rehabilitation and Nursing, Hebei Union University, Tangshan 063000, Hebei Province, China

Guo Su-mei★, Master, Nurse-in-charge, Affiliated Hospital of Hebei Union University, Tangshan 063000, Hebei Province, China
zxmzq@126.com

Corresponding author: Li Jian-min, Doctor, Professor, Affiliated Hospital of Hebei Union University, Tangshan 063000, Hebei Province, China
lijianmints@sina.com

Corresponding author: Wu Qing-wen, Doctor, Professor, College of Rehabilitation and Nursing, Hebei Union University, Tangshan 063000, Hebei Province, China
wxywqw@163.com

Received: 2011-10-18
Accepted: 2012-01-09

Guo SM, Li JM, Wu QW, Shen HT. Effect of gait training and assessment system of Lokomat automatic robot on walking ability of the patients with incomplete spinal cord injury. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(13): 2324-2327. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 机器人设备能够在精确控制的环境下为患者提供安全可重复性的高强度较长时间的步态训练,其在康复领域的应用有其明显的优势。

目的: 探讨 Lokomat-全自动机器人步态训练与评定系统在改善不完全性脊髓损伤患者步行功能方面的作用。

方法: 2名男性不完全性脊髓损伤患者参加 Lokomat 步态训练 5.5 个月,于训练前、训练后 6, 12 周及训练 5.5 个月对患者进行下肢运动功能评分(Lower Extremity Motor Scores, LEMS)、10 m 最快步速、6 min 步行耐力及 Berg 平衡量表测试。**结果与结论:** 两名患者经过 Lokomat 自动步态训练,虽然 LEMS 分数无明显提高,但其 10 m 最快步速、6 min 步行耐力、Berg 平衡量表评分均较训练前改善。这说明机器人自动步态训练能够有助于改善不完全性脊髓损伤患者的步行能力。

关键词: 机器人; Lokomat 自动步态训练; 脊髓损伤; 步态; 康复; 运动

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.13.010

郭素梅, 李建民, 吴庆文, 沈海涛. Lokomat 全自动机器人步态训练与评定系统对不完全性脊髓损伤患者步行功能的影响[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(13):2324-2327. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

脊髓损伤后一个最明显的功能缺陷是步行功能障碍^[1],因此步行功能恢复是脊髓损伤患者康复的主要方面。目前有多种形式的步态训练方法,其中减重或不减重运动平板训练已成为近年来备受关注的康复治疗手段,它能够将步行三要素负重、迈步与平衡相结合,能够促进正常步行模式的建立,许多文献已报道了其在改善脊髓损伤患者步行功能方面的训练效果^[2-5]。但是,由于治疗师帮助的减重运动平板训练对治疗师的体力消耗较大,人员需要较多,从而使它的临床应用受到限制。此外,对于体质较弱及无自主运动能力的患者来说,由于治疗师的疲劳,实现重复一致的步态训练是非常有困难的。目

前,已有多种形式的机器人设备被应用于神经康复领域,但有关脊髓损伤患者应用机器人自动步态训练的研究国内还没有报道,虽然国外有相关研究报道了机器人在脑卒中及脊髓损伤步态康复训练方面的训练效果^[6-13],但对于什么患者最适合机器人步态训练、训练的持续时间,对于不同患者训练参数的设置还没有确定的标准^[6]。而且,这些研究使用机器人设备训练的时间一般在3个月以内,本研究旨在探讨较长时间使用 Lokomat-全自动机器人步态训练与评定系统进行步态训练对不完全性脊髓损伤患者步行功能的影响。

1 对象和方法

1.1 病史 患者1, 男性, 22岁, 由于车祸导

致C₇水平脊髓损伤,至参加本次康复训练项目,受伤时间为1.5年,ASIA分级D级,双上肢运动功能尚可,训练前,虽然此患者能够使用右手杖步行,但步速慢、步行耐力差、持续时间短,由于患者运动时易疲劳、摔跤、及强烈的自卑心理,患者除在家里完成日常生活方面的活动需要外,不愿外出参加户外活动,没有参加任何康复训练项目,但患者受伤前身体健康,曾当过3年兵。

患者2,男,60岁,主因重物砸伤致C₄₋₅水平脊髓损伤,受伤时间为5个月,ASIA分级D级,患者上肢损伤较重,虽然下肢肌力较好,但此患者步行时平衡及稳定性很差,需要一人在身后双手支撑两肩部才能短距离行走,而且,由于年龄较大,心肺耐力差及较长时间的活动减少,此患者步行耐力很差,参加本次康复训练时主要运动方式是使用轮椅。

1.2 训练方法 患者使用的机器人步态训练设备是Lokomat-全自动机器人步态训练与评定系统,见图1,参加训练的患者训练前签署知情同意书,因患者认为使用Lokomat系统能够较长时间实现正常步行训练,患者主动坚持较长的训练时间。每次训练前、中、后监测患者的血压和心率(腕式血压计),防止有较大的波动,保证患者安全。



Figure 1 Lokomat system
图1 Lokomat 系统

Lokomat系统由运动平板、减重系统及固定髁部和双下肢的腿部支具构成。整个腿部支具被连接到1个弹簧支撑的平行四边结构,弹簧用来支撑整个支具的质量并具有调节平衡的功能。患者的双下肢由3个可调节的固定带固定到Lokomat腿部支具,腿部支具的大小腿长度可以根据不同患者的腿长分别调整,它的膝关节有线性驱动器用来控制膝关节运动并保持其与运动平板的同步性。训练过程中,减重系统通过悬吊患者胸部绑带支撑部分体重,足部升降带固定双侧踝关节于中立位,并在迈步相被动的引起足背屈。当患者有足够的踝部肌力

及控制能力时,可以降低足部升降带的张力,减少其对患者足部的限制以利于其发挥自主踝部肌力。Lokomat膝关节运动轨迹、患者系数、对患者下肢的引导力、减重量及运动速度等参数通过计算机实时控制。此外,腿部支具的膝关节装有位置和力量感受器,它们通过两个计算机屏幕分别提供患者和治疗师有关患者运动的表现。调节训练参数时,减重量的调整要以患者步行过程中双下肢在支撑相不出现膝关节弯曲并不感觉下肢沉重及迈步相不出现足趾拖曳为标准。训练速度的调整要以保证步态质量及患者的舒适与适应为前提,治疗师可以通过观察计算机屏幕的反馈曲线及Lokomat机械腿速度与运动平板速度是否匹配来判断。引导力的大小要根据患者下肢的肌力来设置,使其调节到即有利于患者的主动参与及肌力训练又不使患者感觉下肢沉重,步行吃力。随着两患者运动能力的提高逐渐增加各训练参数的难度,间断也给予患者低速至高速之间的变速训练,以训练其适应环境的能力,因训练速度较低时Lokomat机械腿的阻力较大,需根据患者的耐受程度适当增加引导力。

患者1,使用Lokomat系统训练时间为5.5个月,共83次。开始1.5个月训练次数为3次/周,后来训练次数改为5次/周,此后,患者除上午参加此训练项目外,下午坚持在医院进行下肢自主肌力训练,但患者没有从事其他治疗师指导的步态训练,直至第4个月,患者训练次数又改为每周3次。

患者2,使用Lokomat系统训练时间为5.5个月,中途因感冒发热停止2周,共66次。患者训练次数为每周三四次,除参加Lokomat系统步态训练外,治疗师坚持给予患者上下肢被动按摩及运动,此患者也没有从事其他治疗师指导的步态训练。

1.3 评价方法 于训练前、训练后6,12周及5.5个月对患者进行康复训练效果的评价,评价指标包括:

LEMS: 美国脊柱损伤学会运动评分(ASIA-MS)被接受为评价脊髓损伤功能损害程度的一项国际标准。下肢运动评分(LEMS)总分为50分,代表双下肢(髁屈肌、伸膝肌、足背屈肌、足跖屈肌和胫长伸肌)5个关键肌按0-5级评分时,用徒手肌力检查法所评测的其肌力总和。这些测定的肌肉与相应的脊髓神经支配平面(L₂-S₁)相对应。

10 m步速测试: 测试时嘱患者在能较好地控

¹ 河北联合大学附属医院,河北省唐山市 063000;
² 河北联合大学康复护理学院,河北省唐山市 063000

郭素梅★,女,1973年生,河北省唐山市人,汉族,2011年河北联合大学毕业,硕士,主管护师,主要从事骨科康复方面的研究。
xmqaz@126.com

通讯作者:李建民,博士,教授,河北联合大学附属医院,河北省唐山市 063000
lijianmints@sina.com

并列通讯作者:吴庆文,博士,教授,河北联合大学康复护理学院,河北省唐山市 063000
wxywqw@163.com

中图分类号:R318
文献标识码:B
文章编号:1673-8225(2012)13-02324-04

收稿日期:2011-10-18
修回日期:2012-01-09
(20111018021/D·G)

制平衡的情况下尽最大努力快走, 测量其最快步速, 这在一定程度上反映了患者的最大步行潜力。为消除加速和减速的影响, 让患者以直线步行14 m, 记录中间10 m的步行时间, 反复测量3次, 取平均值, 每次测量间隔使患者休息5 min。10 m步速测试对于不完全脊髓损伤患者的有效性及可靠性已被证实, 临床有意义的步速改进为0.05~0.06 m/s^[14]。

6 min步行耐力测试: 此种测试方法除了受神经肌肉功能的影响外, 还受心肺功能的影响, 要在患者能耐受的情况下测量以免发生意外。测试时, 指导患者尽最大努力以直线步行6 min, 记录全部步行距离。测试过程中, 如果患者因疲劳不能坚持, 中间可以停下休息, 治疗师在每次测试时给予患者相同的鼓励和指导。为防止转弯太多减少步行距离, 一次直线步行距离定为30 m。

平衡功能测试使用Berg平衡量表, 其通过14个动作项目来评价患者的动态和静态平衡, 总分为56分。

2 结果

2.1 LEMS测试结果 患者1训练前下肢运动功能评分34/50, 训练后6周为35/50分, 训练后12周为36/50分, 完成5.5个月训练后为36/50分。患者2训练前LEMS为36/50分, 训练后6周为37/50分, 训练后12周为38/50, 完成5.5个月训练后为39/50分。

2.2 10 m步速测试

患者1: 训练前使用右侧手杖时的10 m最快步速为0.53 m/s, 但不能弃杖独立步行10 m, 训练后6周使用右侧手杖时的10 m最快步速为0.79 m/s, 而且能够能弃杖独立步行10 m, 最快步速为0.70 m/s, 训练后12周使用右侧手杖时的10 m最快步速为0.88 m/s, 弃杖独立步行10 m最快步速为0.77m/s, 训练后5.5个月使用右侧手杖时的10 m最快步速为0.95 m/s, 弃杖独立步行10 m最快步速为0.86 m/s。

患者2: 训练前由单人在身后支撑其双肩部勉强完成10 m步速测试, 最快步速为0.84 m/s, 训练后6周由单人在身后支撑其双肩部10 m最快步速为0.91 m/s, 训练后12周后为1.06 m/s, 训练后5.5个月时, 单人在其一侧扶持其肩部完成10 m步速测试的最快步速为0.97m/s。此时患者已能够在一人监护下独立步行, 10 m最快步速为0.81 m/s。

2.3 6 min步行耐力测试

患者1: 训练前步行耐力较差, 拄右手杖6 min步行距离为172.9 m, 测试结束前2 min已大汗, 双下肢摇晃不稳、酸痛且步行速度明显减慢, 但患者中间未停下来休息, 能够坚持完成测试。训练后6周患者6 min步行距离为250.5 m, 测试后期仍出汗, 但无明显摇晃减速, 中途无休息, 而且患者能够不拄手杖独立步行6 min,

步行距离为173.3 m, 但患者测试过程中因疲劳、下肢不稳中间休息2次, 每次几秒钟。训练12周后患者拄右手杖6 min步行距离为293 m, 独立步行为227 m, 训练5.5个月后患者拄右手杖6 min步行距离为300 m, 独立步行为230 m, 测试后无明显的大汗, 步行稳定性明显提高。

患者2: 训练前及训练后6周因疲劳主诉不能完成6 min步行耐力测试, 计为0 m, 训练12周后患者步行耐力明显提高, 能够自己推轮椅在一个人监护下独立步行6 min, 步行距离为230 m, 但测试完毕患者感觉疲劳出汗, 双下肢酸软无力。训练后5.5个月, 患者能够推轮椅步行254 m, 测试后疲劳感较前明显减轻, 而且患者可以在一个人监护下独立步行6 min, 步行距离为176 m, 但患者因疲劳、步行稳定性差中途休息1次, 但能够在无人支持的情况下能独立完成测试。

2.4 平衡功能测试

患者1: 训练前Berg平衡量表评分为42分, 训练后6周为51分, 但训练后12周及5.5个月仍为51分。

患者2: 训练前Berg平衡量表评分为16分, 训练后6周为29分, 但训练后12周为32分, 训练后5.5个月为40分。

2.5 训练的安全性 见表1。

Item	Patient one			
	Pretraining	At 6 wk after training	At 12 wk after training	At 5.5 mon after training
Unload	20	11	5	5
Guide force	70%	40%	35%	35-70%
Training speed	1.8	2.0	2.3	1.3-2.3
LEMS	34	35	36	36
10 MWT	0.53 ^a	0.79 ^a (0.70 ^b)	0.88 ^a (0.77 ^b)	0.95(0.86)
6 MWT	172.9 ^a	250.5 ^a (173.3 ^b)	293 ^a (227 ^b)	300 ^a (230 ^b)
BBS	42	51	51	51
Item	Patient two			
	Pretraining	At 6 wk after training	At 12 wk after training	At 5.5 mon after training
Unload	20	15	5	4
Guide force	70%	60%	40%-80%	30%-70%
Training speed	1.8	1.4-2.0	1.4-2.0	1.4-2.2
LEMS	36	37	38	39
10 MWT	0.84 ^c	0.91 ^c	1.06 ^c	0.97 ^d (0.81 ^b)
6 MWT	0	0	230 ^e	254 ^a (176 ^b)
BBS	16	29	32	40

10 MWT: 10-meter walk test; 6 MWT: 6-minute walk test; BBS: Berg balance scale; LEMS: lower extremity motor scores; a: walk with a right crane; b: walk independently; c: walk with the assistance of one person on two sides; d: walk with the assistance of one person on single side; e: walk with wheelchair

Lokomat系统能为患者提供比较安全的训练环境, 只有开始几次训练时主诉吊带导致腹股沟区皮肤发红疼痛, 1例患者出现小腿内侧靠近内踝处皮肤磨损发红,

但通过加垫保护, 及调整吊带的松紧, 1周后适应并好转, 没有影响训练。应用Lokomat系统训练没有导致患者其它并发症的发生, 也没有发生任何安全问题。

3 讨论

据统计, 许多运动不完全性脊髓损伤患者能够重获一定的地面步行能力, 但是其步行质量和效率由于某些因素的影响相对较差, 这显著限制了这些患者的正常的社区运动能力。因此脊髓损伤后步行功能康复训练策略的发展具有愈加的重要性。现代治疗方法的理念是目标针对性的(即训练是功能本身), 并且依赖于重复性、强化训练的原则^[15-16]。机器人设备能够在精确控制的环境下为患者提供安全重复性地高强度较长时间的步态训练, 其在康复领域的应用有其明显的优势。

从本实验结果显示, Lokomat训练后2位患者的步行能力及平衡功能都取得了不同程度的改善。虽然有一患者受伤时间较短, 有可能存在潜在的自发性恢复, 但两位患者训练后了LEMS增加均较少, 自发性恢复可能不是导致他们运动能力改进的主要原因。而且, 对于颈髓损伤四肢瘫的患者, 训练后LEMS分数的增加与患者步行功能的改进不一定相关^[17]。这是因为四肢瘫患者, 尤其像患者2这样脊髓损伤平面较高、上肢和躯干功能较弱的患者, 他们可能需要更强的下肢肌肉力量去补偿较差的下肢稳定性, 但一旦稳定性建立, 其可能取得更好的运动功能。Lokomat运动平板训练时交替地、节律地下肢负重步行能够使中枢神经系统不断接受并处理多种输入的感觉信息的刺激, 通过在这种训练环境下对感觉输入信息的整合训练, 能够促进主动肌及拮抗肌更加协调的运动模式^[18], 能防止患者异常的代偿步行模式, 使两侧下肢肌肉得到有效地、协调地利用, 而且, 动物研究也显示, 运动平板训练时除了下肢肌肉的参与, 躯干肌肉也被激活, 改进的下肢肌肉的协调性及活动能力、心肺耐力等因素都有助于患者步行及平衡功能的改善^[19]。

从本实验结果也可以看出, 患者1训练前期的运动功能改进较后期更快, 原因可能是患者的步行功能障碍除了与脊髓损伤所引起的神经控制障碍有关外, 长期的肌肉无用、减少的心肺耐力等继发性损伤也可能导致此患者步行功能的进一步下滑, 开始的较好的训练效果也可能与这些功能的提高有关, 但患者处于脊髓损伤的慢性阶段, 不能期望产生非常大的步行功能的改进。

2位患者都取得了步行耐力的提高, 这也说明Lokomat步行不是完全被动的, 通过治疗师不断改变训练参数的设置及利用计算机屏幕反馈信息、不断地监督及口头指导患者, 调动其训练的信心和积极性, 可使患者发挥最大自主肌力。

虽然参加本研究的患者除参加Lokomat训练外没有进行其他治疗师指导的步态训练, 但患者平时自主的下肢肌力训练、治疗师给予的被动按摩及运动也可能促进其步行的功能的提高, 因此, 本实验不能保证患者步行功能的改进完全由Lokomat训练引起, 但相信Lokomat训练非常有助于2例患者步行功能的改进。此外, 尽管该训练导致了患者较大的运动能力改进, 但不同的参数设置可能导致不同的结果。

致谢: 感谢河北联合大学附属医院康复科及唐山骨伤医院脊髓康复科的各位老师对本文的帮助。

4 参考文献

- [1] Fouad K, Pearson K. Restoring walking after spinal cord injury. *Prog Neurobiol* 2004;73(2):107-126.
- [2] Protas EJ, Holmes SA, Qureshy H, et al. Supported treadmill ambulation training after spinal cord injury: a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*.2001;82(6):825-831.
- [3] Hicks AL, Adams MM, Martin Ginis K, et al. Long-term body weight supported treadmill training and subsequent follow-up in persons with chronic SCI: effects on functional walking ability and measures of subjective well-being. *Spinal Cord*.2005;43(5):291-298.
- [4] Dobkin B, Apple D, Barbeau H, et al. Weight-supported treadmill vs over-ground training for walking after acute incomplete SCI. *Neurology*. 2006;66(4):484-493.
- [5] Leahy TE. Impact of a limited trial of walking training using body weight support and a treadmill on the gait characteristics of an individual with chronic, incomplete spinal cord injury. *Physiother Theory Pract*. 2010;26(7):483-489.
- [6] Hornby TG, Zemon DH, Campbell D. Robotic-assisted, body-weight-supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury. *Phys Ther* 2005;85(1):52-66.
- [7] Wirz M, Zemon DH, Rupp R, et al. Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a multicenter trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86(4):672-680.
- [8] Nooijen CF, Ter Hoeve N, Field-Fote EC. Gait quality is improved by locomotor training in individuals with SCI regardless of training approach. *J Neuroeng Rehabil*.2009;6:36.
- [9] Field-Fote EC, Lindley SD, Sherman AL. Locomotor training approaches for individuals with spinal cord injury: a preliminary report of walking-related outcomes. *J Neurol Phys Ther*.2005;29(3):127-137.
- [10] Mayr A, Kofler M, Quirbach E, et al. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabil Neural Repair*.2007;21(4):307-314.
- [11] Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2009;6:18.
- [12] Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, et al. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2009;23(1):5-13.
- [13] Hornby TG, Campbell DD, Kahn JH, et al. Enhanced gait-related improvements after therapist- versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke: a randomized controlled study. *Stroke*. 2008;39(6):1786-1792.
- [14] Musselman KE, Fouad K, Misiasek JE, et al. Training of walking skills overground and on the treadmill: case series on individuals with incomplete spinal cord injury. *Phys Ther*. 2009;89(6):601-611.
- [15] Freivogel S, Mehrholz J, Husak-Sotomayor T, et al. Gait training with the newly developed 'LokoHelp'-system is feasible for non-ambulatory patients after stroke, spinal cord and brain injury. A feasibility study. *Brain Inj*.2008;22(7-8):625-632.
- [16] Hesse S, Uhlenbrock D, Werner C, et al. A mechanized gait trainer for restoring gait in nonambulatory subjects. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81(9):1158-1161.
- [17] Shin JC, Yoo JH, Jung TH, et al. Comparison of lower extremity motor score parameters for patients with motor incomplete spinal cord injury using gait parameters. *Spinal Cord*. 2011;49(4):529-533.
- [18] Harkema SJ. Neural plasticity after human spinal cord injury: application of locomotor training to the rehabilitation of walking. *Neuroscientist*. 2001;7(5):455-468.
- [19] Wernig A, Muller S, Nanassy A, et al. Laufband therapy based on 'rules of spinal locomotion' is effective in spinal cord injured persons. *Eur J Neurosci*. 1995;7(4):823-829.