

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2016.08.009

· 临床研究 ·

## 足下垂助行仪联合 Lokomat 下肢康复机器人对脑卒中患者步行功能的疗效

刘燕平<sup>1,2</sup>, 罗佳<sup>3</sup>, 杨京辉<sup>4</sup>, 马启寿<sup>1</sup>, 符卫卫<sup>1</sup>

**【摘要】** 目的 观察足下垂助行仪训练联合 Lokomat 下肢康复机器人对脑卒中患者步行功能的影响。方法 将 36 例脑卒中患者随机分为对照组(n=18)和观察组(n=18)。两组均接受常规康复训练。对照组在常规康复治疗的基础上进行 Lokomat 下肢康复机器人步行训练, 观察组在对照组基础上佩戴足下垂助行仪。30 min/次, 1 次/d, 5 d/周, 共 6 周。治疗前后分别采用 Fugl-Meyer 下肢运动功能量表(FMA-LL)、功能性步行量表(FAC)和足印分析法评定下肢运动功能、步行能力和步态。结果 治疗前, 两组 FMA-LL 评分、FAC 分级、步态参数(步速、步宽、两侧步长差)均无显著性差异( $t < 0.765$ ,  $Z = 0$ ,  $P > 0.05$ )。治疗后, 两组 FMA 评分、FAC 分级和步速均有提高, 两侧步长差与步宽均减小( $t > 2.190$ ,  $Z > 3.630$ ,  $P < 0.05$ ); 观察组 FMA 评分、FAC 分级、步速及两侧步长差均优于对照组( $t > 2.030$ ,  $Z = -2.560$ ,  $P < 0.05$ ), 但两组间步宽无显著性差异( $t = 0.570$ ,  $P > 0.05$ )。结论 足下垂助行仪联合 Lokomat 下肢康复机器人同步治疗可提高脑卒中患者的步行能力, 且疗效明显优于单用 Lokomat 下肢康复机器人治疗。

**【关键词】** 脑卒中; 下肢康复机器人; 足下垂助行仪; 步行功能

### Effects of Lokomat Robotic-assisted Gait Training Combined with Drop Foot Stimulator on Gait Function in Patients with Stroke

LIU Yan-ping<sup>1,2</sup>, LUO Jia<sup>3</sup>, YANG Jing-hui<sup>4</sup>, MA Qi-shou<sup>1</sup>, FU Wei-wei<sup>1</sup>

1. Fujian University of Traditional Chinese Medicine Affiliated Rehabilitation Hospital, Fuzhou, Fujian 350003, China; 2. Fujian Provincial Rehabilitation Industrial Institution, Fuzhou, Fujian 350003, China; 3. School of Rehabilitation Medicine, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou, Fujian 350000, China; 4. Tongde Hospital of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang 310000, China

Correspondence to YANG Jing-hui. E-mail: jack\_roy\_love@163.com

**Abstract: Objective** To investigate the effects of Lokomat robotic-assisted gait training combined with drop foot stimulator on gait function in patients with stroke. **Methods** Thirty-six stroke patients were randomly divided into control group (n=18) and observation group (n=18). Both groups received routine rehabilitation training. The control group accepted Lokomat robotic-assisted gait training, while the observation group worn drop foot stimulator in addition. The training intensity was 30 minutes every day, five days per week for 6 weeks. Fugl-Meyer Assessment-Lower Limb (FMA-LL), Functional Ambulation Category (FAC) and footprint analysis were used to evaluate the motor ability of lower limbs, walking ability and gait before and after training. **Results** There was no significant difference in the scores of FMA-LL, FAC and gait parameters (walking speed, stride width, stride length difference) before training ( $t < 0.765$ ,  $Z = 0$ ,  $P > 0.05$ ). The scores of FMA-LL, FAC and walking speed improved, and the stride width and stride length difference decreased after training ( $t > 2.190$ ,  $Z > 3.630$ ,  $P < 0.05$ ). After training, the scores of FMA-LL, FAC, walking speed and stride length difference were better in the observation group than in the control group ( $t > 2.030$ ,  $Z = -2.560$ ,  $P < 0.05$ ), however, there was no significant difference in stride width between two groups ( $t = 0.570$ ,  $P > 0.05$ ). **Conclusion** Lokomat robotic-assisted gait training combined with foot drop stimulator could improve the lower limb motor function and gait ability in patients with stroke, and the effect might be better than using Lokomat robotic-assisted gait training only.

**Key words:** stroke; robotic-assisted gait training; foot drop stimulator; gait function

【中图分类号】 R743.3 【文献标识码】 A 【文章编号】 1006-9771(2016)08-0921-06

【本文著录格式】 刘燕平, 罗佳, 杨京辉, 等. 足下垂助行仪联合 Lokomat 下肢康复机器人对脑卒中患者步行功能的疗效[J]. 中国康复理论与实践, 2016, 22(8): 921-926.

作者单位: 1.福建中医药大学附属康复医院, 福建福州市 350003; 2.福建省康复产业研究院, 福建福州市 350003; 3.福建中医药大学康复医学院, 福建福州市 350000; 4.浙江省立同德医院, 浙江杭州市 310000。作者简介: 刘燕平(1989-), 女, 汉族, 福建武平县人, 硕士, 康复治疗师, 主要研究方向: 神经康复。通讯作者: 杨京辉, 男, 硕士, 康复治疗师。E-mail: jack\_roy\_love@163.com。

<http://www.cjrtponline.com>

**CITED AS:** Liu YP, Luo J, Yang JH, et al. Effects of Lokomat robotic-assisted gait training combined with drop foot stimulator on gait function in patients with stroke [J]. Zhongguo Kangfu Lilun Yu Shijian, 2016, 22(8): 921-926.

脑卒中患者由于大脑功能和神经系统功能的损伤,约80%患者伴有肢体功能障碍<sup>[1]</sup>。其中最常见的是步行功能障碍,约1/3~1/2的患者在出院后的3个月内仍不能独立步行<sup>[2]</sup>,严重影响患者的日常生活活动能力(activities of daily living, ADL)和生活质量。85%脑卒中幸存者的首要康复目标是恢复其步行能力<sup>[3]</sup>。因此,提高患者的步行功能成为脑卒中后康复亟需解决的问题之一。

Lokomat 下肢康复机器人训练系统<sup>[4]</sup>利用下肢外骨骼式机械腿牵引大腿和小腿,在减重系统下协调摆动完成下肢行走训练,可提供安全、有效及重复稳定的定量运动输入,对提高脑卒中偏瘫患者运动感觉的输入、神经功能的重塑和运动功能的康复有十分积极的作用<sup>[5]</sup>。但是,现今的康复机器人还存在不足之处,例如Lokomat 下肢康复机器人忽略了踝关节的参数设置及踝部肌肉用力反馈情况,将影响部分踝关节控制差的偏瘫患者的步行训练。足下垂助行仪可以很好地弥补这一缺点。足下垂助行仪是一款便携的功能性电刺激设备<sup>[6]</sup>,通过适时地发放电信号刺激神经,促进踝部背屈肌收缩,进而控制踝关节的运动,辅助患者按正确步态行走,提高行走能力。

本研究旨在探讨Lokomat 下肢康复机器人训练与足下垂助行仪同步治疗对脑卒中后偏瘫患者步行功能的影响。

### 1 资料与方法

#### 1.1 一般资料

选择2014年6月~2015年10月在福建中医药大学附属康复医院住院,并进行康复治疗的脑卒中患者36例,按照入院顺序进行编号,然后采用随机数字表法随机分为对照组(n=18)和观察组(n=18)。所有患者均符合全国第四届脑血管病学术会议确定的脑卒中诊断和分类标准<sup>[7]</sup>,并经CT或MRI证实。所有患者均签署知情同意书。

纳入标准:①首次、单侧发病,病情稳定;②病

程1~6个月;年龄35~75岁,体质量<135 kg,身高<200 cm;③患侧下肢Brunnstrom分期Ⅲ期或以上,改良Ashworth分级2级或以下;④有步行功能障碍,但一人辅助或监护下能够步行10 m以上(不佩戴踝足矫形器或借助拐杖等辅助器具);⑤对低频电刺激敏感,可出现预期动作;⑥经简易精神状态检查量表评定无认知功能障碍;⑦能够充分理解治疗并能遵照执行。

排除标准:①脑卒中再发;②双侧发病;③意识不清或伴有严重认知障碍;④失语症;⑤不稳定性骨折、严重的骨质疏松;⑥外周神经疾病所致足下垂或其他神经系统疾病;⑦对低频电刺激过敏或不能耐受;⑧足下垂伴有有关节挛缩、畸形等关节损伤和关节疾病不适合行走;⑨下肢严重挛缩影响下肢关节活动;⑩控制不佳的高血压(收缩压>200 mmHg,舒张压>110 mmHg);⑪难治性癫痫;⑫严重心脏疾病(美国纽约心脏学会分级Ⅱ~Ⅳ)。

两组性别、年龄、病程、身高、体质量、脑卒中类型及偏瘫侧比较无显著性差异(P>0.05)。见表1。

#### 1.2 方法

对照组在常规康复治疗的基础上进行Lokomat 下肢康复机器人辅助步行训练。观察组在对照组基础上佩戴足下垂助行仪。

##### 1.2.1 常规康复治疗

常规的康复治疗方法严格参考中国脑卒中康复指南(2011完全版)<sup>[8]</sup>,主要包括神经发育疗法(Bobath、Brunnstrom、Rood、神经肌肉本体感觉促进技术)、运动再学习、作业治疗、理疗、假肢与矫形器的应用、针灸治疗、心理治疗等。主要训练包括:①良肢位摆放,抑制痉挛模式;②牵伸训练;③主动控制训练;④转移训练;⑤平衡训练;⑥步行前准备训练和步行训练;⑦ADL训练。以上训练由经认证的专业康复治疗师进行,训练时间每次1 h,每天1次,每周5 d,为期6周。

表1 两组一般资料比较

组别	n	性别(n)		年龄(岁)	病程(月)	身高(cm)	体质量(kg)	脑卒中类型(n)		偏瘫侧(n)	
		男	女					脑出血	脑梗死	左	右
对照组	18	11	7	44.7±9.8	3.8±0.8	157.9±7.1	62.7±4.4	11	7	8	10
观察组	18	9	9	43.5±10.8	4.0±1.1	162.5±6.6	65.2±5.1	10	8	9	9
$\chi^2/t$		0.450		0.350	0.620	2.010	0.240	0.110		0.110	
P		0.502		0.729	0.537	0.052	0.814	0.735		0.738	

http://www.cjrtponline.com

### 1.2.2 Lokomat下肢康复机器人治疗方法

Lokomat下肢康复机器人训练系统(瑞士Hocoma医疗器械公司与瑞士苏黎世Balgrist医学院合作推出<sup>[9]</sup>)主要由外骨骼式矫正器、减重支持系统和运动跑台组成。治疗师按操作步骤将患者固定于外骨骼矫正器内,根据患者的个体差异性设置参数,患者站在下肢机器人运动跑台上进行减重步行训练,减重20%~50%,引导力量30%~90%,步行速度1.5~1.7 km/h。步行持续时间30 min/次,1次/d,5 d/周,为期6周。此治疗由通过Lokomat下肢康复机器人培训认证的物理治疗师协助完成。

### 1.2.3 足下垂助行仪联合Lokomat下肢康复机器人的治疗方法

足下垂助行仪采用DC-L-500智能助行仪(江苏德长医疗科技有限公司)。该设备由刺激器、绑带(含电极线)、电极、编程器、充电器、步态检测鞋垫等组成。将电极座贴置于腓总神经出口及胫骨前肌上,按颜色连接刺激器相应的母头。治疗师用编程器在刺激参数子菜单下设置合理的电刺激参数(脉宽从100  $\mu$ s开始,电流从小渐增,直至患足出现期望的理想背屈外翻动作,正相矩形波,脉宽100~300  $\mu$ s,脉冲频率20~45 Hz)。患者佩戴智能助行仪并在Lokomat下肢机器人上先进行足下垂治疗仪参数设置(设置起步角、停止角和站立角),以达到在患侧下肢摆动相时刺激足背屈动作,达到步态最优化,然后在Lokomat下肢康复机器人上进行步行训练。Lokomat下肢康复机器人步行训练的设备、方法同对照组。此治疗由通过足下垂治疗仪培训和下肢康复机器人培训认证的物理治疗师协助完成。

### 1.3 评估方法

两组均在治疗前及治疗6周后由专人评估。采用Fugl-Meyer下肢运动功能量表(Fugl-Meyer Assessment-Lower Limb, FMA-LL)<sup>[10]</sup>评定患者下肢运动功能;采用功能性步行量表(Functional Ambulation Category, FAC)<sup>[11]</sup>评定患者步行功能;采用足印分析法<sup>[12]</sup>进行步态分析。

#### 1.3.1 下肢运动功能

FMA-LL共17项,每项0~2分,最高分为34分。得分越高,分离运动越好;得分越低,障碍越严重。

#### 1.3.2 步行能力

FAC分为6个等级(0~5级)。分级越高,步行功能越好。0级:患者不能走或需2个人帮助下行走。1级:患者需在1个人持续不断地帮助减重及维持平衡下行走。2级:患者在1个人持续或间断扶持下行走。3级:患者无需他人直接身体扶持,但仍需要1人监护或言语指导。4级:可在平坦地面上独立行走,但在上下坡、楼梯等仍需他人帮助或扶持。5级:完全独立,可在任何地方都能独立行走。

#### 1.3.3 步态分析

采用临床常用的足印分析法测量并记录步行进程中的时间距离参数。要求患者独立或少量辅助下(小于25%辅助量)走完10 m长的步道。测量并记录患侧步速、步宽和左、右步长。每次测3遍,取平均值。

### 1.4 统计学分析

采用SPSS 22.0软件进行统计学分析。测定的计量数据均进行正态性检验,结果以( $\bar{x} \pm s$ )形式表示。两组间比较时,如资料符合正态分布,采用独立样本 $t$ 检验;不符合正态分布则采用两样本秩和检验。组内前后比较时,资料符合正态分布采用配对 $t$ 检验,不符合正态分布采用配对秩和检验。性别、卒中类型、偏瘫侧别为计数资料,采用 $\chi^2$ 检验;FAC分级为等级资料,采用Wilcoxon符号秩次检验秩和检验。显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

### 2 结果

治疗前,两组FMA评分、FAC分级、步态参数(步速、步宽、两侧步长差)均无显著性差异( $P>0.05$ )。治疗6周后,两组FMA评分、FAC分级较治疗前显著提高( $P<0.001$ ),且观察组明显优于对照组( $P<0.01$ )。两组治疗前后步态参数显示,两组步速均有增加( $P<0.05$ ),左、右步长差和步宽均减小( $P<0.05$ );治疗后观察组的步速和左、右步长差优于对照组( $P<0.05$ ),但两组间步宽无显著性差异( $P>0.05$ )。见表2~表6。

表2 两组治疗前后FMA评分比较

组别	n	治疗前	治疗后	t	P
对照组	18	16.02 $\pm$ 2.31	20.08 $\pm$ 3.66	3.980	<0.001
观察组	18	15.32 $\pm$ 3.12	23.81 $\pm$ 2.71	8.710	<0.001
t		0.760	3.475		
P		0.450	0.001		

表3 两组治疗前后FAC评级比较

组别	n	治疗前						治疗后						Z	P
		0级	1级	2级	3级	4级	5级	0级	1级	2级	3级	4级	5级		
对照组	18	0	0	4	14	0	0	0	0	0	7	8	3	-3.630	<0.001
观察组	18	0	0	4	14	0	0	0	0	0	2	6	10	-3.870	<0.001
Z		0						-2.560							
P		1.000						0.010							

表4 两组治疗前后步速比较(m/s)

组别	n	治疗前	治疗后	t	P
对照组	18	0.50±0.22	0.68±0.27	2.190	0.035
观察组	18	0.52±0.31	0.86±0.26	3.565	0.001
t		0.220	2.030		
P		0.825	0.048		

表5 两组治疗前后步宽比较(cm)

组别	n	治疗前	治疗后	t	P
对照组	18	28.5±6.56	23.12±7.02	2.380	0.023
观察组	18	29.20±7.36	21.80±6.77	3.140	0.003
t		0.300	0.570		
P		0.765	0.570		

表6 两组治疗前后两侧步长差比较(cm)

组别	n	治疗前	治疗后	t	P
对照组	18	10.89±3.14	7.26±2.08	4.090	<0.001
观察组	18	10.13±3.44	5.56±2.85	4.340	<0.001
t		0.690	2.040		
P		0.493	0.047		

### 3 讨论

脑卒中后大部分患者遗留步行功能障碍。许多研究已显示一些康复手段可以有效改善偏瘫步态<sup>[13-15]</sup>，但是存在一定的局限性。近几年来，针对偏瘫步态的新治疗方法不断涌现，比如下肢康复机器人和功能性电刺激的应用。

下肢康复机器人是基于“重复、集中、任务导向”的理念，帮助患者模拟正常的生理步态模式进行步行训练，使脑受损后具有重新映射或建立新的神经通路的潜能，达到改善偏瘫步态的目的。下肢康复机器人具备许多人工无法比拟的特点，如安全性好、可重复运动、减少人力成本，长期、稳定地定量运动输入，提供实时的反馈信息，保证训练过程中的一致性和持续性，可客观地评价康复效果等。一些研究已证实 Lokomat 下肢康复机器人在脑卒中康复中的有效性。Westlake 等比较脑卒中后偏瘫患者在进行4周的 Lokomat 训练(8例)和人工减重训练(8例)的变化，Lokomat 组地面步行速度、6 min 步行距离和患侧步长比

例均得到改善，而人工减重训练组只有平衡能力稍改善，表明 Lokomat 下肢康复机器人训练效果优于人工减重训练<sup>[16]</sup>。Mayr 和 Husemann 发现使用 Lokomat 可以延长偏瘫患者步态周期中的支撑相时间，提高 6 min 步行距离<sup>[17-18]</sup>。

然而，也有研究者发现 Lokomat 下肢机器人训练比其他改善步态的训练有其局限性。Hidler 等的研究发现，通过比较健康人在 Lokomat 下肢机器人和普通活动平板上步行时肌肉的不同激活模式，Lokomat 下肢机器人上进行步行试验者的股四头肌和腓绳肌的肌肉活动明显提高，而在几乎整个步态周期中踝关节背屈肌群和跖屈肌群活动较小<sup>[19]</sup>。

李菁等将功能性电刺激辅助步行设备配合减重系统训练应用于脑卒中患者，发现功能性电刺激辅助步行设备配合减重训练能提高脑卒中患者 FMA-LL 得分、Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)得分及 FAC 评级，且较传统方法结合减重训练更有利于促进脑卒中患者下肢功能恢复<sup>[20]</sup>。但是研究者忽略了患者减重支持系统进行训练时，无法抑制步行时偏瘫下肢髋、膝关节的异常运动模式或代偿动作，早期偏瘫患者进行异常步行模式的输入，将严重影响后期步态。

本研究将 Lokomat 下肢康复机器人联合足下垂助行仪进行偏瘫患者步行训练，作为脑卒中后偏瘫步态训练的新方法。一方面应用足下垂助行仪通过追踪患者步行时小腿倾斜角度或足底压力变化来启动装置，适时精确地控制电脉冲传送到腓总神经，刺激及唤醒腓总神经通路和突触，促进患者完成关节活动，把正确关节活动的感觉和肌肉收缩的感觉传递给大脑，建立有功能的突触连接和新的兴奋通路<sup>[21]</sup>，从而控制足部运动，矫正足下垂、内翻，辅助患者以正常步态行走，提高步行能力。另一方面应用下肢机器人训练刺激其“中枢模式发生器”(center pattern generator, CPG)，当特定感觉传入后，CPG 产生步行中屈肌和伸肌交替转换的神经节律冲动，首先屈肌兴奋性冲动通过中间神经元抑制伸肌活动，屈肌兴奋完成后伸肌神经兴奋释放，引起伸肌活动，从而在步行动作启动

之后,产生自发性屈肌-伸肌交替兴奋,产生迈步动作<sup>[22]</sup>。下肢康复机器人与功能相电刺激同步治疗可早期应用于脑卒中患者进行步行训练,步行时髋关节、膝关节、踝关节均可在正确引导下进行控制,在步行训练时输入接近生理模式的步态,增加运动与感觉信息输入,刺激大脑皮质功能,激活受累大脑半球的运动区和感觉区的活动。

本研究结果显示,两组患者FMA-LL、FAC及步速、左右步长差均改善,且除步宽外,观察组改善均优于对照组( $P<0.05$ )。

FMA-LL得分的提高表明下肢运动能力及下肢控制能力的改善。两组FMA-LL得分均有明显提高,原因可能为下肢康复机器人步行训练包含下肢伸髋下屈膝、屈髋下伸膝等运动成分,这些运动称为分离运动,为FMA-LL中评分项目之一<sup>[23]</sup>。观察组比对照组改善明显的原因可能与踝关节控制能力改善有关,FMA-LL中部分分离运动包括屈髋下背屈踝关节运动,踝关节背屈控制改善将提高与踝部相关的分离运动。

FAC分级提高体现患者步行能力的改善。本研究中两组FAC分级均显著改善。王俊等在下肢康复机器人研究中发现类似结果,可能与下肢功能提高有关<sup>[5]</sup>。观察组优于对照组,可能与观察组踝背屈能力的诱发有关。下肢康复机器人训练只提供足部升降带,如有踝部阵挛患者,此足部升降带反而易诱发出踝阵挛和伸肌痉挛模式,影响步态;观察组增加诱发胫前肌和腓骨长短肌的收缩,打破伸肌痉挛模式,提高步行能力。

步速是反应偏瘫患者步行能力的敏感、可靠指标<sup>[24]</sup>。两组步速均明显提高,与赵雅宁等的研究<sup>[25]</sup>一致。观察组较对照组改善明显,可能与踝背屈能力改善有关。踝背屈提高可改善步行摆动过程中下肢廓清能力,缩短偏瘫侧摆动时间,进而提高步行速度。双侧步长差的降低可提高步态对称性,与下肢运动功能和平衡功能高度相关<sup>[26]</sup>。下肢机器人训练可提高下肢功能,患侧屈髋和屈膝控制改善可提高步长,患侧伸髋和伸膝控制改善可延长患侧支撑期,有助于健侧下肢正常跨步,进而降低左右步长偏差。因此,两组患者左右步长偏差均明显改善。观察组优于对照组可能与踝部控制改善有关,踝部背屈力量促进摆动时廓清能力和首次触地时足跟先着地,减少左右步长差。

本研究发现治疗前后两组步宽均减少,但是两组

间差异无统计学意义。步宽是反映患者平衡功能的一项指标。步宽越大,平衡功能越差<sup>[27]</sup>。偏瘫患者常会通过增加步宽来保持步行的平衡。在本研究中,步宽的减少体现两组患者经过6周的常规训练辅以机器人步行训练,提高了整体平衡能力,使步宽更接近于正常人,这可能与下肢的协调性改善及肌力增加有关。同时,观察治疗后的两组数据可以发现,虽然并未出现统计学上的显著性差异,但观察组的步宽减少相对于对照组更加明显,更接近于正常值。通常来说,偏瘫患者容易出现踝背屈不足同时伴有足内翻,会使足底的接触面减少而影响步行的稳定性。观察组在6周的足下垂仪刺激干预后,迈步过程中的踝背屈相比对照组更加充分,而充分的踝背屈减少了足内翻的产生,增大了支撑相时的接触面;同时充分的踝背屈有助于避开地面的障碍物,有助于预防跌倒。我们认为,两组间治疗后步宽未能出现统计学差异的原因可能在于整体干预时间不够长,足下垂助行仪可能需要超过6周时间才能更有效的改善踝背屈。

Lokomat下肢康复机器人与足下垂助行仪同步治疗进行步行训练可提高脑卒中患者的步行能力,且疗效明显优于单用Lokomat下肢康复机器人治疗。此方法值得在临床上进行实践,为脑卒中后步行训练和下肢机器人的改进设计提供一个新思路。

本研究还存在很多的不足之处。①治疗操作过于繁杂,耗时较长。如足下垂助行仪出现异常情况如电量不足时,需要停下Lokomat下肢机器人重新进行调节。若在下肢机器人上内置功能性电刺激,将简化操作,提高治疗效率。②本研究未具体分析观察组踝部关节活动度及背屈肌肉肌电信号区别,无法得知两组结果数据的差别是否是因踝部控制活动引起,有待进一步研究。③研究中未充分考虑少量辅助量对于治疗前后步态分析的影响,有待进一步改进。

#### [参考文献]

- [1] 胡永善,吴毅,刘世文,等. 三级康复治疗改善脑卒中偏瘫患者综合功能的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(1): 3-8.
- [2] 黄晓琳,王平,王伟,等. 脑卒中偏瘫患者减重平板步行训练的临床应用研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2003, 25(9): 544-547.
- [3] Candelise L, Gattinoni M, Bersano A, et al. Stroke-unit care for acute stroke patients: an observational follow-up study [J]. *Lancet*, 2007, 369(9558): 299-305.
- [4] Swinnen E, Baeyens JP, Knaepen K, et al. Robot-assisted walking with the Lokomat: The influence of different levels of guid-

- ance force on thorax and pelvis kinematics [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2015, 30(3): 254-259.
- [5] 王俊,廖麟荣,杨振辉,等. 运动想象结合下肢康复机器人训练对脑卒中患者步行障碍的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(6): 542-546.
- [6] 何可,艾坤,谭洁,等. 足下垂助行仪用于治疗脑卒中后踝关节功能障碍的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(5): 472-475.
- [7] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管病诊断要点[J]. 中华神经内科学杂志, 1996, 29(6): 379-380.
- [8] 中华医学会神经病学分会神经康复学组, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组, 卫生部脑卒中筛查与防治工程委员会办公室. 中国脑卒中康复治疗指南(2011完全版)[J]. 中国康复理论与实践, 2012, 18(4): 301-318.
- [9] 丁敏,李建民,吴庆文,等. 下肢步态康复机器人:研究进展及临床应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(35): 6604-6607.
- [10] Sullivan KJ, Tilson JK, Cen SY, et al. Fugl-Meyer assessment of sensorimotor function after stroke: standardized training procedure for clinical practice and clinical trials [J]. Stroke, 2011, 42(2): 427-432.
- [11] Mehrholz J, Wagner K, Rutte K, et al. Predictive validity and responsiveness of the functional ambulation category in hemiparetic patients after stroke [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2007, 88(10): 1314-1319.
- [12] 杜琳,张章,韩义皇,等. 足印分析法评价针灸治疗中风痉挛步态疗效[J]. 中国中医药信息杂志, 2013, 20(2): 74-75.
- [13] Liston R, Mickelborough J, Harris B, et al. Conventional physiotherapy and treadmill re-training for higher-level gait disorders in cerebrovascular disease [J]. Age Ageing, 2000, 29(4): 311-318.
- [14] Belda-Lois JM, Mena-del Horno S, Bermejo-Bosch I, et al. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach [J]. J Neuroeng Rehabil, 2011, 8: 66.
- [15] Kumar S, Kumar A, Kaur J. Effect of PNF technique on gait parameters and functional mobility in hemiparetic patients [J]. J Exerc Sci Phys, 2012, 8(2): 67-73.
- [16] Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke [J]. J Neuroeng Rehabil, 2009, 6(1): 18-20.
- [17] Mayr A, Kofler M, Quirbach E, et al. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2007, 21(4): 307-314.
- [18] Husemann B, Müller F, Krewer C, et al. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study [J]. Stroke, 2007, 38(2): 349-354.
- [19] Hidler JM, Wall AE. Alterations in muscle activation patterns during robotic-assisted walking [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2005, 20(2): 184-193.
- [20] 李菁,黄华尧,陈清法,等. 功能性电刺激辅助步行设备配合减重训练对脑卒中患者下肢功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(8): 786-789.
- [21] 方征宇,尤琪,周宁,等. 足下垂助行仪联合减重步行训练改善脑卒中偏瘫患者下肢功能的临床研究[J]. 中国康复, 2013, 28(6): 443-445.
- [22] 王俊,杨振辉,刘海兵,等. 下肢康复机器人在脑卒中患者步行障碍的应用和研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(8): 784-788.
- [23] 许光旭,高晓阳,陈文红,等. Fugl-Meyer运动功能评分的敏感性及其实用性[J]. 中国康复, 2001, 16(1): 18-19.
- [24] Kavanagh JJ. Lower trunk motion and speed-dependence during walking [J]. J Neuroeng Rehabil, 2009, 6(9): 1-10.
- [25] 赵雅宁,郝正玮,李建民,等. 下肢康复训练机器人对缺血性脑卒中偏瘫患者及步行功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(11): 1015-1020.
- [26] 李华,姚红华,刘利辉. 肌力训练对偏瘫步态的影响及下肢功能评定与步态分析间的相关性[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2003, 25(1): 34-36.
- [27] 单莎瑞,黄国志,曾庆,等. 步态诱发功能性电刺激对脑卒中后足下垂患者步态时空参数的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2013, 28(6): 558-563.

(收稿日期:2016-04-18 修回日期:2016-05-20)