

## 下肢康复机器人训练对脑卒中患者步行能力的影响

刘畅 郝淑燕 席家宁

100044 首都医科大学附属北京康复医院康复诊疗中心

通信作者: 席家宁, Email: xijn888@sina.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2019.04.017

**【摘要】目的** 观察下肢康复机器人辅助步行训练对脑卒中偏瘫患者步行能力的影响。**方法** 2015年1月至2016年10月, 60例脑卒中患者随机分为机器人组( $n=30$ )和对照组( $n=30$ )。两组均在接受常规训练基础上, 机器人组予下肢机器人辅助步行训练, 对照组予人工辅助步行训练。训练时间均为每次30 min, 每周5次, 连续训练8周。训练前后分别采用机器人评估系统评定下肢屈髋肌力(FHF)、6 min步行距离(6MWD)、10 m步行时间(MWS)与Fugl-Meyer下肢运动功能评分(FMA-LE)评定步行能力。**结果** 训练前, 两组间一般资料及各项指标差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。训练后, 两组步行能力均明显提高( $P < 0.05$ )。其中, 机器人组FHF、6MWD、MWS、FMA-LE分别为( $51.53 \pm 22.24$ )Nm、( $80.50 \pm 15.62$ )m、( $45.54 \pm 29.49$ )s和( $21.81 \pm 7.77$ )分, 与对照组的( $43.65 \pm 24.94$ )Nm、( $66.44 \pm 19.81$ )m、( $58.89 \pm 21.76$ )s和( $15.13 \pm 8.67$ )分比较, 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。**结论** 下肢康复机器人辅助步行训练能够有效提高脑卒中偏瘫患者的步行能力。

**【关键词】** 卒中; 机器人; 偏瘫; 步态

**Effect of robot-assisted gait training on the gait ability of stroke patients** Liu Chang, Qie Shuyan, Xi Jianing

Department of Rehabilitation, Beijing Rehabilitation Hospital of Capital Medical University, Beijing 100044, China

Corresponding author: Xi Jianing, Email: xijn888@sina.com

**【Abstract】Objectives** To explore the effect of robot-assisted gait training (RAGT) on the gait ability in patients with hemiplegia after stroke. **Methods** From January 2015 to October 2016, a total of 60 patients with hemiplegia were randomly divided into the RAGT group ( $n=30$ ) and control group ( $n=30$ ). Both groups received conventional rehabilitation, while the RAGT group was given robot-assisted gait training and control group was given manually assisted gait training 30 minutes a day, 5 days a week for 8 weeks. L-FORCE/HIP/Flex (FHF), 6-minutes walking distance (6MWD), maximum walking speed (MWS) and Fugl-Meyer Assessment of legs (FMA-LE) were evaluated before and after training. **Results** There was no significant difference in general information and indexes between the two groups before training ( $P > 0.05$ ). The scores improved in both groups after training ( $P < 0.05$ ). The FHF, 6MWD, MWS, and FMA-LE of RAGT group was ( $51.53 \pm 22.24$ )Nm, ( $80.50 \pm 15.62$ )m, ( $45.54 \pm 29.49$ )s and ( $21.81 \pm 7.77$ ), respectively, which were significantly better than the control group [ $(43.65 \pm 24.94)$ Nm, ( $66.44 \pm 19.81$ )m, ( $58.89 \pm 21.76$ )s and ( $15.13 \pm 8.67$ ),  $P < 0.05$ ]. **Conclusions** Robot-assisted gait training can effectively improve the gait ability of stroke patients with hemiplegia.

**【Key words】** Stroke; Robotics; Hemiplegia; Gait

脑卒中是一种严重威胁人类健康和生命的常见病, 近年来脑卒中致残率达80%以上, 重度致残者已达40%以上<sup>[1]</sup>。其中, 步行能力的丧失是严重影响患者日常生活质量的要因之一。因此恢复和提高运动功能, 特别是下肢运动功能及步行能力是脑卒中患者最迫切的要求, 也是脑卒中康复训练的重要

目标之一。下肢康复机器人作为近年来国内外康复领域的新兴步行训练手段, 是在减重等速平板训练的基础上进一步发展而来的智能训练系统。它通过下肢驱动模块、动态减重及运动平板系统对患者进行了垂直负重姿势下的重复性模拟步行训练。尤其是外骨骼式近端驱动型机器人在临床应用较为广

泛。其对脑卒中患者的步态(如步长等)、步行能力的改善已被国内外多篇文献证实<sup>[2-5]</sup>,本研究对下肢机器人训练在脑卒中偏瘫患者下肢运动功能、步行能力及相关性方面进行了疗效观察。

### 一、对象与方法

1. 研究对象: 2015年1月至2016年10月在首都医科大学附属北京康复医院住院治疗的脑卒中偏瘫患者60例,临床诊断符合1995年中华医学会第四届全国脑血管病学术会议修订的诊断标准<sup>[6]</sup>,并经头颅CT或MRI证实。入选标准:(1)大脑中动脉系统初发脑卒中患者;(2)病程2~12周;(3)单侧肢体瘫痪,Fugl-Meyer分值50~95分,属于明显至中等运动瘫痪;(4)年龄30~70岁;(5)MMSE ≥ 25分;(6)患者对本研究知情同意。排除标准:(1)褥疮等皮肤病变;(2)泌尿系感染;(3)严重心脏病、慢性阻塞性肺疾病;(4)血栓;(5)下肢严重挛缩;(6)骨科损伤不稳定;(7)严重骨质疏松;(8)精神障碍;(9)体重 ≥ 135 kg;(10)双下肢长度差 ≥ 2 cm。

由一名评定科康复医师独立负责患者入组筛选及训练前后评定。采用随机数字表法将按照上述标准纳入患者分为机器人训练组(简称机器人组)和对照组。机器人组30例,其中男性17例,女性13例;年龄35~70岁,平均(52.69 ± 12.30)岁;左侧瘫痪11例,右侧瘫痪19例。对照组30例,其中男性16例,女性14例;年龄35~70岁,平均(55.38 ± 13.55)岁;左侧瘫痪10例,右侧瘫痪20例。两组患者一般临床资料比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表1。

2. 治疗方法: 机器人组使用Lokomat下肢康复机器人(瑞士Hocoma公司和瑞士苏黎世Balgrist大学附属医院脊髓损伤中心开发的Lokomat系统5.0版)给予患者步行训练。操作人员均经过专业培训及资格认证。训练前对患者腿部的长度进行测量,调节绑带尺寸。初始参数设置标准:(1)体重支持一般为患者体重的50%,以患者步行支撑期膝关节不出现打软现象为宜,系数范围在0.2~0.7(系统自行设置);引导力的初始设置通常为100%。步速的调

节在1.5~1.7 km/h。此后根据患者步行能力的改善情况,在保证步态正常的基础上逐步减少体重支持和引导力并增加速度。对照组给予徒手辅助平地步行训练,辅助量为保证步行不出现停滞下的最小辅助量。两组训练时间均为30 min/次,5次/周,共8周。此外两组均行每日1次的常规康复训练,内容包括:关节活动范围练习、肌力强化、肌张力调整、坐立位平衡训练等。

3. 观察指标:(1)下肢屈髋肌力测评(L-FORCE/HIP/Flex, FHF): 采用瑞士Hocoma医疗器械公司生产的肌力评估工具(L-FORCE)对患侧屈髋肌力进行测评。测评方法:患者下肢固定在伸髋30°,要求患者在听到电脑3 s倒计时结束的提示音时即刻行相关肌群的5 s等长最大收缩。(2)6 min步行距离(6 minutes walking distance, 6MWD): 6 min内步行距离越长,说明步行耐力越好<sup>[7]</sup>。(3)10 m步行时间(maximum walking speed, MWS): 10 m内步行时间越短,说明步行速度越高。(4)Fugl-Meyer下肢运动功能评分(FMA-LE): 下肢最高分34分,得分越高反映肢体运动功能越好。

4. 统计学方法: 采用SPSS 19.0软件进行统计分析,计量资料均符合正态分布用均数 ± 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,采用独立样本 $t$ 检验。计数资料采用 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

### 二、结果

1. 两组FHF比较: 见表2。训练前两组间FHF差异无统计学意义。两组患者训练后FHF均明显提高,训练后与训练前及训练后两组间比较差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。

2. 两组6MWD比较: 见表3。训练前两组间6MWD差异无统计学意义。两组患者训练后6MWD均明显提高,训练后与训练前及训练后两组间比较差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。

3. 两组MWS比较: 见表4。训练前两组间MWS差异无统计学意义。两组患者训练后MWS均明显降低,训练后与训练前及训练后两组间比较差异均

表1 训练前两组一般资料比较

组别	例数	年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	性别(例)		病程(d, $\bar{x} \pm s$ )	偏瘫侧(例)		FMA-LE( $\bar{x} \pm s$ )	FIM(分, $\bar{x} \pm s$ )
			男	女		左	右		
对照组	30	55.38 ± 13.55	17	13	69.69 ± 20.37	10	20	11.94 ± 7.98	53.88 ± 30.83
机器人组	30	52.69 ± 12.30	16	14	71.81 ± 18.98	11	19	14.88 ± 7.17	55.44 ± 32.46
$t/\chi^2/Z$ 值		0.805	0.067		0.464	0.073		1.501	0.374
$P$ 值		0.424	0.795		0.644	0.787		0.139	0.710

有统计学意义( $P < 0.05$ )。

4. 两组 FMA-LE 比较: 见表 5。训练前两组间 FMA-LE 差异无统计学意义。对照组训练前后比较差异无统计学意义, 机器人组训练后 FMA-LE 评分明显提高, 与训练前及训练后的对照组比较, 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。

表 2 两组患者训练前后 FHF 比较(Nm,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	训练前	训练后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
对照组	30	39.92 ± 24.61	43.65 ± 24.94	-4.941	< 0.001
机器人组	30	36.72 ± 20.66	51.53 ± 22.24	-7.530	< 0.001
<i>t</i> 值		-0.399	0.704		
<i>P</i> 值		0.693	0.027		

表 3 两组患者训练前后 6MWD 比较(m,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	训练前	训练后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
对照组	30	58.56 ± 19.5	66.44 ± 19.81	-4.941	< 0.001
机器人组	30	59.75 ± 14.6	80.50 ± 15.62	-7.530	< 0.001
<i>t</i> 值		0.136	1.339		
<i>P</i> 值		0.892	0.041		

表 4 两组患者训练前后 MWS 比较(s,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	训练前	训练后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
对照组	30	66.59 ± 44.52	58.89 ± 21.76	-2.397	0.030
机器人组	30	65.48 ± 34.68	45.54 ± 29.49	-2.679	0.021
<i>t</i> 值		2.410	0.276		
<i>P</i> 值		2.029	0.035		

表 5 两组患者训练前后 FMA-LE 比较(分,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	训练前	训练后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
对照组	30	11.94 ± 7.98	15.13 ± 8.67	1.483	0.144
机器人组	30	14.88 ± 7.17	21.81 ± 7.77	3.590	0.001
<i>t</i> 值		1.501	3.143		
<i>P</i> 值		0.139	0.003		

**讨论** 脑卒中偏瘫患者步行能力降低常表现为步速下降、步长缩短和步频降低<sup>[8]</sup>。本研究通过试验发现下肢机器人辅助步行训练后患者的步行能力明显提高, 主要原因考虑为与下肢肌力增强、充分负重基础上感觉输入及大重复量运动学习等方面密切相关。

肌肉弱化是脑卒中后常见的运动功能障碍之一。脑卒中患者下肢肌力与步行能力、爬楼梯能力、站立平衡和转移能力有密切联系<sup>[9]</sup>。首先, 肌力增强的要因, 主要受肌源性因素和神经源性因素影响。肌源性因素包括肌肉的生理横断面积、肌纤维类型、

肌肉收缩时的初长度等, 神经源性因素包括中枢激活水平、中枢神经对肌肉的协调和控制能力、神经系统的兴奋状态等方面<sup>[10]</sup>。

肌源性因素中, 肌肉收缩时的初长度对肌肉最大肌力具有极大影响。当肌肉处于某一初长度时, 肌小节中粗、细肌丝的重叠状态最佳, 收缩可活化的横桥数目最多, 因而产生的力量也最大。通常, 肌肉的最适初长度稍长于肌肉在人体内的静息长度。此外, 收缩前牵拉肌肉使力量增加的原因, 还与牵张反射相关<sup>[11]</sup>。机器人训练时, 机械臂与跑台传送带的强制性向后运动较人工辅助步行更易使髋关节被动牵伸到最大伸髋位, 这一快速充分的牵拉使屈髋肌群肌纤维被牵伸拉长, 肌肉初长度增大, 肌梭感受器敏感性提高, 即对 I a 纤维的兴奋性输入刺激会更易发生, 传入纤维发放冲动的频率增大, 从而促使肌肉更易收缩。也有研究表明, 传送带的强迫性运动使髋关节被动过伸, 这一牵拉会提高髋部肌肉收缩使肢体向前摆动<sup>[12]</sup>。

在肌肉产生收缩的基础上, 肌力增强的要因, 还与肌肉的生理横断面积的增大密切相关。而这需要有足够的阻力负荷和承重负荷<sup>[13]</sup>。机器人训练通过不断降低引导力和体重支持、增加跑台的速度来及时增加屈髋肌群的阻力负荷和承重负荷。在训练中可以通过更大剂量的负荷、更高的效率及精确的重复来巩固效果<sup>[12]</sup>, 增强肌力并改善有氧运动能力<sup>[14]</sup>。

据文献报道, 偏瘫患者下肢肌力与步行速度和步行独立性密切相关, 其中在患侧下肢髋屈曲、膝伸展和踝背屈肌力等诸肌力因素中, 髋屈曲肌力与步行速度和步行独立性的关系最为密切, 髋屈曲肌力是决定步频的最主要肌力因素, 可以解释 33% 的步行速度和步行独立性的变化<sup>[9]</sup>。朱童<sup>[15]</sup>研究也证实机器人训练后步频、跨步长较对照组明显增加。本文研究结果也可以考虑为屈髋肌群肌力增强促进了步频的增加, 从而提高了步行效率。

除肌源性因素之外, 从感觉输入等神经源性因素考虑, 机器人训练时足跟充分负重有助于激活支撑期躯干及下肢的抗重力伸展机制。相关文献报道, 足跟着地时的触压觉刺激, 是诱发躯干、下肢伸展运动的触发器, 而小腿三头肌等下肢后部肌肉的牵伸又对支撑期的负重起到重要作用<sup>[16]</sup>。偏瘫患者由于足跟向前下方蹬踏(足跟着地)和脚尖向后下方蹬离地面能力减小, 直接影响步态和步速<sup>[17]</sup>。在下肢机器人训练中, 由于足部被绑带固定在背屈 10°

左右,能够保证患者在支撑初期时足跟着地继而形成跟趾步态,由此推测足跟着地时的触压觉刺激使本体感觉容易上行传导,兴奋前庭脊髓束,激活伸髋肌群及躯干等抗重力伸展系统。朱童<sup>[16]</sup>在使用三维步态分析系统评价下肢机器人训练对偏瘫患者步行能力的研究中证实,试验组较对照组的足部垂直及前后方向的反力峰值显著增加,说明试验组患肢对于地面的支撑力以及地面对于下肢的推进力明显提高。

足跟在充分着地后,随着重心从支撑初期向末期的过渡,跟腱及小腿三头肌的牵伸可使高尔基体及Ia纤维而来的感觉信息给予伸肌群运动神经以反馈,激活负重反应,并在支撑末期至摆动初期抑制该肌群,配合屈髋肌群的牵伸,诱发摆动期,有助于步行模式的形成。朱琳等<sup>[18]</sup>在研究中也提出下肢机器人训练中患肢脚底的机械受点(压力/负荷)、压力性应答(神经肌梭传来的脉冲)及关节肌腱启动了主要的步行模式或运动程序。

有研究表明<sup>[19-20]</sup>,以任务为导向的重复性运动学习可以显著提高中枢神经损伤后患者的运动能力。让患者进行足够的重复性特定训练能够取得良好的临床效果,本研究结果提示,在相同时间内,下肢机器人步行训练通过较为接近生理性步态的高精度大重复量训练,虚拟情景任务模式,以及适时适量的负荷刺激,较人工辅助步行训练在改善6MWD及MWS方面显示了更为显著的效果,从步行功能和能力方面提高了患者日常生活自理能力,减轻了社会负担。

综上所述,下肢机器人训练可以通过改善下肢肌力、促进负重等本体感觉输入以及重复性运动学习来提高步速、支撑力,更有效地提高偏瘫患者的步行能力。因此,在改善脑卒中偏瘫患者姿势控制、运动控制以及步态方面,神经生理学疗法及步态训练毋庸置疑具有更为重要的意义和优势,但如何更为合理地将二者有效结合,发挥更大的训练效果,是康复治疗工作者未来的课题之一。

**利益冲突** 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

**作者贡献声明** 构思与设计、研究实施、数据收集、文献调研与整理、数据分析与解释、论文撰写为刘畅,论文修订为郅淑燕,审校为席家宁

## 参 考 文 献

[1] 谢财忠,徐格林,刘新峰.脑卒中后早期康复的研究进展[J].中国康复理论与实践,2009,15(10):908-911. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2009.10.003.

Xie CZ, Xu GL, Liu XF. Advance in Early Rehabilitation after Stroke(review) [J]. Chin J Rehabi Theory Pract, 2009, 15(10): 908-911.

[2] 陈源,张继荣.脑卒中患者步行功能障碍的康复现状[J].中国康复,2017,32(1):70-73. DOI: 10.3870/zgkf.2017.00.026.

Chen Y, Zhang JR. Rehabilitation of Walking Dysfunction in Stroke Patients[J]. Chinese Journal of Rehabilitation, 2017, 32(1): 70-73.

[3] Lünenburger L, Colombo G, Riener R, et al. Clinical assessments performed during robotic rehabilitation by the gait training robot Lokomat [C]. 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005: 345-346.

[4] Pohl M, Werner C, Holzgraefe M, et al. Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (DEutsche GAntrainerStudie, DEGAS) [J]. Clin Rehabil, 2007, 21(1): 17-27. DOI: 10.1177/0269215506071281.

[5] Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke [J]. J Neuroeng Rehabil, 2009, 6: 18. DOI: 10.1186/1743-0003-6-18.

[6] 中华神经科学会,中华神经外科学会.各类脑血管疾病诊断要点[J].中华神经科杂志,1996,29(6):379-380.

[7] 梁丰,王磊,曹振宇,等.成人脑瘫患者6分钟步行试验步行距离的影响因素[J].中国康复医学杂志,2015,30(1):14-17. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2015.01.004.

Liang F, Wang L, Cao ZY, et al. The influential factors on six-minute walking distance in adults with cerebral palsy [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30(1): 14-17.

[8] 翁长水.脑卒中患者步行功能障碍评价[J].中国临床康复,2002,6(13):1869-1871. DOI: 10.3321/j.issn: 1673-8225.2002.13.00.

[9] 谢远见,翁长水,毕胜,等.脑卒中患者患侧下肢肌力与步行速度和步行独立性的关系[J].中国临床康复,2003,7(10):1532-1533. DOI: 10.3321/j.issn: 1673-8225.2003.10.026.

Xie YJ, Weng CS, Bi S, et al. Relationship between strength of the paretic lower limb and walking speed and independent walking in stroke patients [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2003, 7(10): 1532-1533.

[10] 王瑞元,苏全生.运动生理学[M].北京:人民体育出版社,2011:334-335.

[11] 赵雅宁,郝正玮,李建民,等.下肢康复机器人训练对缺血性脑卒中早期偏瘫患者步行能力的影响[J].实用医学杂志,2013,29(5):748-750. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2013.05.025.

[12] Klarner T, Chan HK, Wakeling JM, et al. Patterns of muscle coordination vary with stride frequency during weight assisted treadmill walking [J]. Gait Posture, 2010, 31(3): 360-365. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.01.001.

[13] 丁文娟,郑蒙蒙,梁成盼,等.一种下肢康复机器人对脑卒中亚急性期偏瘫患者步行功能的影响[J].中国康复医学杂志,2014,29(10):929-932. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2014.10.006.

Ding WJ, Zheng MM, Liang CP, et al. The effect of G-EO Gait-therapy System on walking ability in patients with subacute stroke hemiplegic [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2014, 29(10): 929-932.

## 颈动脉低灌注大鼠模型海马区 IL-33 和 cleaved-caspase-3 的表达

孟德龙 贾柯娟 李艳 张彬

150001 哈尔滨医科大学附属第一医院神经内科

通信作者: 孟德龙, Email: 278882027@qq.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2019.04.018

**【摘要】目的** 探讨 IL-33 在颈动脉低灌注导致的认知障碍中的可能作用。**方法** 36 只成年雄性 SD 大鼠随机分为 3 组: 假手术(S)组, 模型 2 周(L2w)组, 模型 4 周(L4w)组。Morris 水迷宫测试各组大鼠学习记忆能力; 免疫组化法检测海马区 cleaved-caspase-3 表达水平; Western-blot 法检测海马区 IL-33 表达水平。**结果** 水迷宫测试、cleaved-caspase-3 表达和 IL-33 表达, 3 组之间比较差异均有统计学意义( $F=64.201, P < 0.05$ ;  $F=233.558, P < 0.05$ ;  $F=51.498, P < 0.05$ )。与 S 组( $20.32 \pm 6.30$ )s 比较, L2w 组( $46.67 \pm 9.49$ )s 逃逸潜伏期显著延长( $t=-4.902, P < 0.05$ ); L4w 组( $81.51 \pm 14.67$ )s 与 L2w 组比较, 逃逸潜伏期显著延长( $t=-6.397, P < 0.05$ )。与 S 组( $1.31 \pm 1.19$ )比较, L2w 组( $6.56 \pm 1.32$ )海马区 cleaved-caspase-3 表达显著增加( $t=-6.328, P < 0.05$ ); 与 L2w 组比较, L4w 组( $18.78 \pm 5.83$ )海马区 cleaved-caspase-3 表达显著增加( $t=-14.733, P < 0.05$ )。与 S 组( $0.26 \pm 0.02$ )比较, L2w 组( $0.3 \pm 0.04$ )海马区 IL-33 表达有增加趋势, 但结果无统计学意义( $t=-1.530, P=0.147$ ); 与 L2w 组比较, L4w 组( $0.49 \pm 0.06$ )海马区 IL-33 表达显著增加( $t=-7.924, P < 0.05$ )。**结论** IL-33 可能在脑组织低灌注导致的认知障碍中起作用。

**【关键词】** 血管性痴呆; 颈动脉低灌注; 白介素-33; cleaved-caspase-3

- [14] Kim CM, Eng JJ. The relationship of lower-extremity muscle torque to locomotor performance in people with stroke[J]. Phys Ther, 2003, 83(1): 49-57. DOI: 10.1093/ptj/83.1.49.
- [15] 朱童. 运用三维步态分析评价下肢康复机器人对偏瘫患者步行能力影响的研究[D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2015.
- [16] 古泽正道, 曾根政富. 脳卒中後遺症患者の Bobath アプローチ - 臨床篇 [M]. 東京: 運動と医学出版社, 2016: 117-118.
- [17] Lunenburger L, Colombo G, Riener R, et al. Clinical assessments performed during robotic rehabilitation by the gait training robot Lokomat[C]. 9<sup>th</sup> International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005: 345-346. DOI: 10.1109/ICORR.2005.1501116.
- [18] 朱琳, 宋为群, 刘霖, 等. 下肢康复机器人联合任务导向训练对卒中后步行能力的康复作用[J]. 中国脑血管病杂志, 2016, 13(5): 240-248. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2016.05.004. Zhu L, Song WQ, Liu L, et al. Rehabilitation effect of lower limb rehabilitation training robot combined with task-oriented training on walking ability after stroke[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2016, 13(5): 240-248.
- [19] Barbeau H. Locomotor training in neurorehabilitation: emerging rehabilitation concepts[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2003, 17(1): 3-11. DOI: 10.1177/0888439002250442.
- [20] 卢丽萍, 桑德春, 季淑凤. 下肢康复机器人训练对脑卒中偏瘫患者运动能力和日常生活活动能力的影响[J]. 中国康复理论与实践, 2016, 22(10): 1200-1203. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2016.10.019. Lu LP, Sang DC, Ji SF, et al. Effect of Leg Rehabilitation Robot Training on Motor and Activities of Daily Living in Hemiplegic Patients after Stroke[J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2016, 22(10): 1200-1203.

(收稿日期: 2018-07-05)

(本文编辑: 戚红丹)