

· 临床研究 ·

骨盆辅助式康复机器人训练对脑卒中偏瘫患者下肢功能及骨盆运动学的影响

胡淑珍^{1,2} 顾旭东² 吴华² 曾明² 傅建明² 林在龙² 柏和风² 陆晶晶² 李亮²

¹浙江大学医学院附属儿童医院康复医学科,杭州 310003; ²嘉兴市第二医院康复医学中心,嘉兴 314000

通信作者:吴华,Email: woohua@live.com

【摘要】 目的 探讨骨盆辅助式康复机器人训练对脑卒中偏瘫患者步态运动学的影响。**方法** 采用随机数字表法将 40 例脑卒中偏瘫患者分为观察组及对照组,每组 20 例。2 组患者均给予常规药物治疗及康复训练,观察组患者在上述干预基础上辅以骨盆辅助式康复机器人训练,每周训练 6 次,每次训练 20 min,持续训练 8 周。于入选时及治疗 8 周后分别采用简化 Fugl-Meyer 下肢运动功能量表(FMA-LE)评定患者下肢运动功能,采用 Berg 平衡量表(BBS)评定患者平衡功能,通过 Biodex Gait Trainer-2 型步态分析系统检测患者步速、步长,采用骨盆辅助机器人系统检测患者骨盆旋转角、骨盆侧倾角、骨盆竖直移动及骨盆侧向移动等运动学参数。**结果** 治疗后观察组患者 FMA-LE 评分、BBS 评分、步速、健侧步长、患侧步长分别为(21.40±4.38)分、(39.45±4.47)分、(61.50±17.92)cm/s、(49.25±15.13)cm 和(48.65±11.49)cm,均较治疗前及对照组治疗后明显改善($P<0.05$)。治疗后观察组患者骨盆旋转角、侧倾角、竖直移动及侧向移动等运动学参数分别为(9.93±1.92)°、(15.57±1.68)°、(12.09±1.13)cm 和(8.92±3.26)cm,均较治疗前及对照组治疗后明显改善($P<0.05$)。**结论** 在常规康复干预基础上辅以骨盆辅助式康复机器人训练,能进一步提高脑卒中偏瘫患者骨盆控制能力,改善步行功能及平衡能力,从而促进患者下肢运动功能恢复。

【关键词】 骨盆; 运动学; 机器人; 康复; 脑卒中

基金项目:浙江省医药卫生科技计划面上项目(2019KY217);浙江省科技厅公益性技术应用研究项目(LGF18H170006);嘉兴市科技计划项目(2017AY33033)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.04.007

The effects of robot assistance on the gait kinematics of hemiplegic stroke survivors

Hu Shuzhen^{1,2}, Gu Xudong², Wu Hua², Zeng Ming², Fu Jianming², Lin Zailong², Bai Hefeng², Lu Jingjing², Li Liang²

¹Department of Rehabilitation Medicine of Children's Hospital Affiliated to The Medical College of Zhejiang University, Hangzhou 310003, China; ²Rehabilitation Medical Center of The Second Hospital of Jiaxing City, Jiaxing 314000, China

Corresponding author: Wu Hua, Email: woohua@live.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of robot assistance on the gait kinematics of hemiplegic persons after a stroke. **Methods** Forty hemiplegic stroke patients were randomly divided into an experimental group and a control group, each of 20. Both groups were given routine neurological medication and rehabilitation training, while the experimental group was additionally provided with 20 minutes of robot-assisted gait training daily, six times a week, for 8 weeks. Before and after the intervention, both groups' motor function, balance, step length and pace were evaluated, as well as their pelvic rotation angles, side inclination, vertical displacement and lateral displacement. The Fugl-Meyer assessment for the lower extremities (FMA-LE) was used along with the Berg balance scale (BBS), the gait analysis system of Biodex Gait Trainer-2 equipment. **Results** After the treatment, the average FMA-LE score, BBS score, pace and step length of the experimental group were all significantly better than the before the treatment and significantly better than the control group's averages after the treatment. The improvements observed in the pelvic rotation angle, side inclination, vertical displacement and lateral displacement were all significant. **Conclusion** Robot assistance can usefully supplement routine rehabilitation training after stroke. It can improve control of the pelvis, enhance walking and balance and generally improve the motor function of the lower extremities.

【Key words】 Pelvis; Kinematics; Robots; Rehabilitation; Stroke

Fund program: A Zhejiang Province Medical and Health Science and Technology Project (no. 2019KY217); A Public Welfare Technology Application Research Project of the Zhejiang Province Science and Technology Department (no. LGF18H170006); A Jiaxing Science and Technology Project (no. 2017AY33033)
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.04.007

脑卒中是一种常见多发病,也是目前世界范围内导致成年人残疾的主要原因之一^[1]。随着现代医学进步发展,脑卒中诊治水平显著提高,但治愈率仍偏低,约 75% 脑卒中存活者会遗留不同程度肢体功能障碍,严重影响患者日常生活活动能力^[2],因此肢体功能康复对脑卒中偏瘫患者尤为重要,其中步行功能改善是脑卒中患者功能康复的主要目标^[3-4]。然而脑卒中后肢体功能恢复的神经机制十分复杂,涉及大脑可塑性、运动再学习及大脑重组机制等。大部分脑卒中患者经早期传统康复训练后,其运动功能多能得到不同程度改善,但通常仍遗留异常步态及姿势^[5],究其原因传统康复训练难以将负重、迈步、平衡三要素有机结合,故无法保证训练高效性及强度稳定性;而康复机器人的出现有效解决了上述问题,正逐步成为一种更具针对性和高效性的训练手段。基于此,本研究以脑卒中伴下肢运动功能损伤患者作为研究对象,探讨骨盆辅助式康复机器人训练对脑卒中偏瘫患者下肢运动学及骨盆运动学的影响,为脑卒中偏瘫患者功能恢复提供一种新的治疗途径。

对象与方法

一、研究对象

选取 2016 年 4 月至 2017 年 3 月期间在嘉兴学院附属第二医院康复医学中心住院治疗的 40 例脑卒中偏瘫患者作为研究对象,患者纳入标准包括:①均符合 1995 年全国第四次脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[6];②伴单侧肢体功能障碍;③经头颅 CT 或 MRI 检查证实为首发脑卒中;④生命体征稳定,血压控制良好,无其他限制活动的合并症;⑤病程≤3 个月;⑥年龄 45~75 岁;⑦认知功能无明显异常,简易精神状态量表(mini-mental state examination, MMSE)评分≥27 分;⑧无听理解障碍,能积极配合治疗;⑨在无他人或器械辅助下能独立步行 12 m 以上;⑩患者及家属均签署知情同意书,同时本研究经嘉兴市第二医院伦理委员会审核批准。患者排除标准包括:①患者身高≥180 cm 或≤150 cm;②训练期间因客观或主观原因放弃治疗;③小脑或脑干梗死;④合并心、肝、肺、肾等重要脏器功能障碍、颅脑外伤、肿瘤等;⑤有震颤、帕金森病、不自主运动、下肢骨折或其它限制下肢运动的神经肌肉或骨关节病;⑥血糖、血压控制不佳等。采用随机数字表

法将上述患者分为观察组及对照组,每组 20 例。2 组患者一般资料情况(表 1)经统计学比较,发现组间差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	性别(例)		病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	偏瘫侧别(例)	
			男	女		左侧	右侧
观察组	20	56.6±12.2	13	7	32.5±14.6	12	8
对照组	20	57.7±10.3	11	9	30.7±15.8	16	4

二、治疗方法

2 组患者均给予控制血糖血压、营养神经、促脑代谢、改善循环等药物治疗及康复训练,康复训练内容包括早期良肢位摆放、Bobath 握手、关节活动训练、肌肉牵伸训练、关节松动训练、牵引训练、肌肉力量训练、步行训练等,其中步行训练包括早期躯干控制、站立与迈步训练、上下台阶、单腿负重、重心转移等项目,训练频率为每周 6 次,每次 40 min,持续训练 8 周,2 组患者在训练期间均放置一面镜子给予视觉反馈。

观察组患者在上述干预基础上给予骨盆辅助式康复机器人训练(图 1),训练频率为每天 1 次,每次训练 20 min,每周训练 6 d,持续训练 8 周。具体训练方法如下:患者穿戴 Biodex 腰带(能减重 2~4 kg)在跑台上进行步行训练,最初 10 min 患者在跑台上进行常规步行训练,根据患者步行训练时表现逐步调节跑台速度,直至达到患者最大适宜步速,同时要求最大步行速度 <2.5 km/h。随后根据患者训练情况选择合适的模式继续训练 10 min,包括:①跟随模式训练,即跑台速度随患者步行速度而改变,设定跑台最大速度为最初 10 min 阶段最大适宜步速,如患者在最初 10 min 训练后体力不支或疲劳时宜选此模式;②抗阻模式训练,设



图 1 骨盆辅助式康复机器人训练示意图

表 2 治疗前、后 2 组患者 FMA-LE 评分、BBS 评分、步速及步长比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FMA-LE 评分 (分)	BBS 评分 (分)	步速 (cm/s)	健侧步长 (cm)	患侧步长 (cm)
观察组						
治疗前	20	16.20±4.85	14.65±3.20	48.65±17.43	37.05±11.42	35.00±10.18
治疗后	20	21.40±4.38 ^{ab}	39.45±4.47 ^{ab}	61.50±17.92 ^{ab}	49.25±15.13 ^{ab}	48.65±11.49 ^{ab}
对照组						
治疗前	20	16.95±2.48	15.75±5.13	42.10±16.72	33.90±10.46	35.50±9.89
治疗后	20	19.65±2.98 ^a	35.90±5.33 ^a	48.90±16.96 ^a	41.10±9.11 ^a	41.70±7.77 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$

定跑台最大速度为最初 10 min 阶段最大适宜步速的一半,该模式要求患者在步行训练时步速要大于跑台速度,否则跑台速度将减慢直至停止,如患者在最初 10 min 训练后无明显疲劳宜选此模式。骨盆控制调节及难度递增调节贯穿于整个训练过程中,该系统能根据患者实时骨盆动力学数据进行相应调整,当患者骨盆运动幅度过大、超过跑台垂线边缘时,康复机器人能通过 Biodex 腰带限制患者骨盆左、右侧向移动;当患者整个训练过程都表现良好时,康复机器人可调节跑台坡度(按照 5°、10°两个梯度升高)或设置跑台干扰性障碍(如设置跨越障碍物等)。如患者在训练期间有头痛、头晕等不适症状时须立即紧急制动、停止训练。

三、疗效评定方法

于治疗前、治疗 8 周后对 2 组患者进行疗效评定,由受过专业培训的康复治疗师分别采用 Fugl-Meyer 下肢运动功能量表(Fugl-Meyer assessment-lower extremity, FMA-LE)^[7]、Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)^[8]评定患者下肢运动功能及平衡功能;采用美国 Biodex 公司产 Biodex Gait Trainer-2 型步态分析系统对患者步长、步速等进行检测;患者骨盆运动学数据由骨盆辅助式机器人自带数据传感评估系统获取。

1. FMA-LE 评分:该量表评定内容包括各种反射活动、共同运动、联合运动、协调运动和分离运动、速度等 17 项,每项最高 2 分,最低 0 分,总分 34 分,得分越高表示受试者下肢运动功能越好^[7]。

2. BBS 评分:该平衡量表具有良好的信度、效度及敏感度,其评定内容包括坐下、站起、独自站立、双眼闭眼站立、双上臂向前伸、转身 1 圈、两足轮替上下台阶、单侧下肢站立等 14 个项目,每个项目最低 0 分,最高 4 分,总分 56 分,得分越高表示受试者平衡功能越好,得分在 40 分以下者提示可能存在跌倒风险^[9]。

3. 步态分析:Biodex Gait Trainer-2 型步态分析系统由 7 个传感器和 1 个电脑主机组成,步态测试前先对环境进行评估,确定周边无磁场或其它因素干扰,向患者说明测试过程及注意事项,使患者充分理解并配合。步态测试时将 7 个传感器分别安置在患者骶骨、双侧股骨外侧、双侧胫骨内侧及双侧脚背处,并对传感

器定位及患者姿态进行校准,为确保所测数据精确性,嘱患者先在 12 m 走道上以自然步速来回行走 1 次以适应步行环境,随后开始正式测试,患者在走道上来回行走 2 次,连续记录其步长、步速并取平均值。

四、统计学分析

本研究所得计量数据以($\bar{x}\pm s$)表示,采用 SPSS 23.0 版统计学软件包进行统计分析,治疗前、后计量数据组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、治疗前、后 2 组患者下肢运动功能、平衡功能及步态参数比较

治疗前 2 组患者 FMA-LE 评分、BBS 评分及步速、健侧步长、患侧步长组间差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗后发现 2 组患者 FMA-LE 评分、BBS 评分及步速、健侧步长、患侧步长均较治疗前明显改善(均 $P<0.05$);并且上述指标均以观察组患者的改善幅度较显著,与对照组间差异均具有统计学意义(均 $P<0.05$),具体数据见表 2。

二、治疗前、后 2 组患者骨盆运动学数据比较

治疗前 2 组患者骨盆旋转角、骨盆侧倾角、骨盆竖直移动及骨盆侧向移动数据组间差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);治疗后 2 组患者骨盆旋转角、骨盆侧倾角、骨盆竖直移动及骨盆侧向移动数据均较治疗前明显减小(均 $P<0.05$);并且上述指标减小幅度均以观察组患者较显著,与对照组间差异均具有统计学意义(均 $P<0.05$),具体数据见表 3。

表 3 治疗前、后 2 组患者骨盆运动学数据比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	骨盆旋转角 (°)	骨盆侧倾角 (°)	骨盆竖直 移动 (cm)	骨盆侧向 移动 (cm)
观察组					
治疗前	20	14.67±2.91	25.41±3.53	16.47±2.26	11.96±3.46
治疗后	20	9.93±1.92 ^{ab}	15.57±1.68 ^{ab}	12.09±1.13 ^{ab}	8.92±3.26 ^{ab}
对照组					
治疗前	20	13.30±1.62	26.14±2.94	16.86±1.04	11.80±2.57
治疗后	20	10.49±0.64 ^a	18.34±1.72 ^a	14.07±1.18 ^a	9.49±2.70 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$

讨 论

随着医疗技术进步,近年来脑卒中患者死亡率明显下降,但仍有一系列亟待解决的问题;相关研究表明约 60% 脑卒中患者遗留有步行功能障碍,而步行功能是良好生活的基础,因此改善步行功能已成为脑卒中偏瘫患者康复的首要目标及迫切需求^[10-12]。目前针对脑卒中偏瘫患者步行功能的康复方法主要包括常规步行训练、减重步行训练、助行器辅助步行训练和近年来逐渐兴起的康复机器人训练等,关于上述疗法的治疗效果报道不一。有学者指出减重支持训练对偏瘫患者步态模式几乎无改善作用^[13-14]。下肢康复机器人作为新兴技术,兼具稳定性、重复性和持续性优势而成为近年来研究热点,它通过模拟正常运动轨迹辅助患者进行步态训练,有助于预防异常步态及姿势形成,具有积极康复作用。

步行是涉及全身众多关节和肌肉的一种周期性协调运动,包括髋、膝、踝关节屈伸运动、重心转移和骨盆调整等。卒中后偏瘫患者异常步行主要表现为患侧支撑力减弱、运动反应迟缓、躯干协调性以及骨盆稳定性下降等,其中骨盆稳定性和运动控制能力对正常步态形成至关重要。相关报道指出,针对性的骨盆训练能强化机体骨盆稳定性及运动控制能力,从而提高步行能力、改善下肢平衡功能^[15]。

本课题组采用的 Natural gait I 型骨盆辅助式康复机器人(见图 1)是由上海大学、上海电气研究中心、嘉兴市第二医院康复医学中心共同研发,是集骨盆稳定控制、运动训练跑台、数据传感及记录于一体的智能康复机器人。该系统能允许患者骨盆在可活动范围内练习各方向(包括左右、上下、侧倾、旋转等 4 个自由方向)动作,且运动范围较正常骨盆生理活动范围更大。另外该机器人训练系统能对患者进行适当减重支持,在保证安全情况下允许患者双下肢充分负重,有助于改善下肢运动功能。该机器人运动跑台由电动装置驱动,可根据偏瘫患者恢复程度调控步行训练模式(如跟随模式训练或抗阻模式训练)及跑台速度,同时该设备还能对运动跑台坡度进行调节,也可在步行训练时增加一定难度的干扰性障碍(如跨越障碍物等),有利于脑卒中偏瘫患者提高平衡调节能力。患者在进行机器人康复训练时其骨盆动力学参数均能通过数据传感器传输到配对电脑并记录。整个训练期间可在运动跑台前放置一面全身镜,患者可通过镜子观察步行训练时姿势及步态,从而通过视觉反馈来促进机体学习正常步行模式。通过该康复机器人对脑卒中偏瘫患者骨盆进行有针对性控制和运动训练,能促使偏瘫患者更好地掌控身体重心、稳定骨盆及躯干,最终达到提高

平衡功能及改善步行能力目的。

本研究结果显示,治疗后 2 组患者下肢运动功能、平衡功能、步行能力以及骨盆运动学参数(如竖直位移、侧向位移、旋转角及侧倾角等)均较治疗前明显改善(均 $P<0.05$),并且观察组患者上述指标改善幅度亦显著优于对照组水平(均 $P<0.05$)。其作用机制可能包括:通过适当减重,患者偏瘫侧肢体承重能力及站立相时间增加,使得患者躯干肌及骨盆周围肌群得到力量训练,能增强骨盆稳定性,使骨盆运动范围更接近正常人水平;同时骨盆稳定性及协调性控制能力提高,能协调步行动作进行同步周期性运动,减少各关节废用性利用,使骨盆各关节及相应肌肉得到充分训练,从而提高骨盆肌力及控制能力,这也从另一方面减轻了患者心理压力,增加了训练信心及积极性。另外通过骨盆辅助式康复机器人进行高强度、高重复性步行训练,能改善脑卒中偏瘫患者下肢伸肌痉挛,提高患者神经系统代偿水平,进一步促进脑卒中偏瘫患者下肢运动功能恢复^[16]。与 Hornby 及 Mayr 等^[17-18]学者观点相同,认为下肢康复机器人训练优于传统康复训练,能显著改善脑卒中偏瘫患者步行功能。French^[19]等通过 Meta 分析也发现,重复训练能有效提高脑卒中患者下肢运动功能及日常生活活动能力;其次骨盆辅助式康复机器人能进行对称性康复训练,该训练方式有助于提高机体步行稳定性^[20]。上述研究均提示骨盆稳定在机体核心稳定中占有重要作用,而针对骨盆稳定性和协调性的训练能有效提高脑卒中偏瘫患者平衡功能及运动能力。

综上所述,本研究结果表明,骨盆辅助式康复机器人训练能改善脑卒中偏瘫患者骨盆控制能力,提高平衡功能及步行能力,促进患者下肢运动功能恢复,从而更好地回归家庭及社会。需要指出的是,本研究还存在一些不足之处,如并未针对卒中后偏瘫患者足下垂给予相应治疗措施,这可能会影响康复训练疗效及进度;同时本研究样本量较少,尚未发现偏瘫患者对下肢康复机器人训练产生躯体或心理依赖,而有学者认为机器人训练方式会增加患者的依赖性、降低主动性,不利于患者功能康复^[21];另外本研究采用的骨盆辅助式康复机器人系统还处于研发阶段,其推荐训练强度、训练时间等参数仍有待后续探索。

参 考 文 献

- [1] Bonita R, Mendis S, Truelsen T, et al. The global stroke initiative[J]. Lancet Neurol, 2004, 3(7): 391-393. DOI: 10.1016/S1474-4422(04)00800-2.
- [2] Johansson K, Linder I, Widner H, et al. Can sensory stimulation improve the functional outcome in stroke patient[J]. Neurology, 1993, 43(11): 2189-2192.

- [3] Xu GZ, Song AG, Pan LZ, et al. Clinical experimental research on a-daptive robot aided therapy control methods for upper-limb rehabilitation [J]. *Robotica*, 2014, 32 (7): 1081-1100. DOI: 10. 1017/S0263574713001264.
- [4] YaKub F, Md Khudzari AZ, Mori Y. Recent trends for practical rehabilitation robotics-current challenges and the future [J]. *Int J Rehabil Res*, 2014, 37(1): 9-21. DOI: 10.1097/MRR.0000000000000035.
- [5] Page SJ, Levine P, Sisto SA, et al. Mental practice combined with physical practice for upper-limb motor deficit in subacute stroke [J]. *Phys Ther*, 2001, 81(8): 1455-1462. DOI: 10.1093/ptj/81.8.1455.
- [6] 中华神经科学会. 各类脑血管病诊断要点 [J]. *中华神经科杂志*, 1996, 26(9): 379-380.
- [7] 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. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.592766.
- [8] Berg KO, Wood-Dauphinee SL, Williams JJ, et al. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument [J]. *Can J Public Health*, 1992, 83(s2): 7-11. DOI: 10.1080/03014469200002282.
- [9] Blum L, Koner-Bitensky N. Usefulness of the Berg Balance Scale in stroke rehabilitation; a systematic review [J]. *Phys Ther*, 2008, 88(5): 559-566. DOI: 10.2522/ptj.20070205.
- [10] Stein J, Bishop L, Stein DJ, et al. Gait training with a robotic leg brace after stroke; a randomized controlled pilot study [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2014, 93 (11): 987-994. DOI: 10. 1097/PHM.0000000000000119.
- [11] 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. DOI: 10.1016/S0140-6736(07)60152-4.
- [12] Qin T, Zhang LX. Coordinated control strategy for robotic-assisted gait training with partial body weight support [J]. *J Cent South Univ*, 2015, 22(8): 2954-2962. DOI: 10.1007/s11771-015-2831-0.
- [13] Routson RL, Clark DJ, Bowden MG, et al. The influence of locomotor rehabilitation on module quality and post-stroke hemiparetic walking performance [J]. *Gait Posture*, 2013, 38(3): 511-517. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.01.020.
- [14] Takao T, Tanaka N, Lizuka N, et al. Improvement of gait ability with a short-term intensive gait rehabilitation program using body weight support treadmill training in community dwelling chronic poststroke survivors [J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(1): 159-163. DOI: 10.1589/jpts.27.159.
- [15] 李岩, 顾旭东, 姚云海, 等. 骨盆强化训练对偏瘫患者步态的影响 [J]. *中国康复理论与实践*, 2012, 18(2): 118-120. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2012.02.006.
- [16] 吴华, 顾旭东, 徐从英, 等. 机器人辅助步行训练对脑卒中后偏瘫患者骨盆运动能力和步行功能的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41(3): 174-177. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.03.003.
- [17] 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 [J]. *Stroke*, 2008, 39 (6): 1786-1792. DOI: 10.1161/STROKEAHA.107.504779.
- [18] 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. DOI: 10.1177/1545968307300697.
- [19] French B, Thomas L, Leathley M, et al. Does repetitive task training improve functional activity after stroke? A Cochrane systematic review and meta-analysis [J]. *J Rehabil Med*, 2010, 42(1): 9-14. DOI: 10.2340/16501977-0473.
- [20] Coenen P, van Werven G, van Nunen MP, et al. Robot-assisted walking vs overground walking in stroke patients; an evaluation of muscle activity [J]. *J Rehabil Med*, 2012, 44(4): 331-337. DOI: 10.2340/16501977-0954.
- [21] Krishnan C, Kotsapouikis D, Dhaher YY, et al. Reducing robotic guidance during robot-assisted gait training improves gait function; a case report on a stroke survivor [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2013, 94(6): 1202-1206. DOI: 10.1016/j.apmr.2012.11.016.

(修回日期: 2019-02-20)

(本文编辑: 易 浩)