

· 临床研究 ·

Lokomat 训练对脑卒中后下肢痉挛患者步行能力的影响

司马振奋 龚剑秋 吴月峰

绍兴市人民医院康复医学科, 绍兴 312000

通信作者: 龚剑秋, Email: j.gong609@yahoo.com

【摘要】 目的 观察 Lokomat 训练对脑卒中后下肢痉挛患者步行能力的影响。**方法** 采用随机数字表法将 80 例脑卒中后下肢痉挛患者分为观察组及对照组。2 组患者均给予常规康复干预(包括良姿位摆放、被动关节活动、翻身训练、斜床站立等), 观察组在此基础上辅以 Lokomat 训练, 对照组则辅以平地步行训练, 每周训练 3 次, 连续训练 8 周。于治疗前、治疗 4 周、8 周后分别对 2 组患者步行能力、下肢痉挛程度、下肢运动功能、平衡功能以及日常生活活动(ADL)能力进行评定。**结果** 治疗 4 周及 8 周时观察组恢复独立步行能力患者例数(分别为 16 例、29 例)均明显多于对照组($P<0.05$), 观察组步频、患侧步长、患侧支撑相时间及占比均明显优于对照组($P<0.05$); 治疗 8 周时观察组平均步速亦优于对照组($P<0.05$)。治疗 4 周、8 周时观察组下肢肌张力恢复正常患者例数(分别为 28 例、33 例)均明显多于对照组($P<0.05$)。治疗 4 周、8 周时观察组下肢 Fugl-Meyer 评分[分别为(20.10±8.11)分和(24.07±7.98)分]、Berg 平衡量表评分[分别为(28.87±13.41)分和(40.80±12.90)分]及改良 Barthel 指数评分[分别为(72.00±20.22)分和(82.25±15.79)分]均较治疗前及对照组明显改善($P<0.05$)。**结论** Lokomat 训练能在短期内显著改善脑卒中后下肢痉挛患者步频、步长、患侧支撑等步行参数, 长期训练还能进一步提高步速, 缓解下肢痉挛, 同时对患者下肢运动功能、平衡功能及 ADL 能力等亦有明显改善作用, 从而提高患者整体康复疗效。

【关键词】 步行能力; Lokomat 训练; 下肢痉挛; 脑卒中; 平地步行训练

基金项目:绍兴市公益性技术应用研究计划(2015B70049), 绍兴市卫生计生科技计划青年科技项目(2017QN003)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.004

Lokomat training can significantly improve the walking ability of stroke survivors with lower limb spasm

Sima Zhenfen, Gong Jianqiu, Wu Yuefeng

Department of Rehabilitation Medicine, Shaoxing People's Hospital, Shaoxing 312000, China

Corresponding author: Gong Jianqiu, Email: j.gong609@yahoo.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of Lokomat training on the walking ability of stroke survivors with lower limb spasm. **Methods** Eighty stroke survivors with lower limb spasm were randomly divided into an observation group and a control group, each of 40. Their routine rehabilitation treatment included normal limb positioning, passive joint movement, turnover training and inclined bed standing training. In addition, the control group underwent flat-ground walking training, while the observation group was given Lokomat training 3 times a week for 8 weeks. Both groups were evaluated after 4 and 8 weeks of treatment in terms of their walking ability, degree of lower limb spasm, lower limb motor functioning, balance and ability in the activities of daily life. **Results** After 4 and 8 weeks the number of patients walking independently was significantly greater in the observation group. Their average stride frequency, step length on the affected side, support phase time and proportion of weight borne on the affected side were all significantly better than the control group's averages. At both time points significantly more patients of the observation group had normal lower limb muscle tone. The observation group's average Fugl-Meyer score, Berg Balance Scale score and modified Barthel Index score had improved significantly compared with those before the treatment, and were significantly better than the control group's averages at the same time point. After 8 weeks of treatment the average walking speed of the observation group was faster than that of the control group. **Conclusions** Lokomat training can significantly improve the walking ability of stroke survivors with lower limb spasm in the short term. Longer-term training can consolidate the effect and further improve the walking speed, motor function in the lower limbs, balance and even facility in daily life activities, as well as relieving spasm.

【Key words】 Walking ability; Lokomat training; Spasm; Stroke; Walking training

Funding: A Public Welfare Technology Applied Research Project of Shaoxing City (2015B70049); A Youth Science and Technology Project of the Shaoxing Health and Technology Plan (2017QN003)
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.004

脑卒中后约 75% 的患者存在各种功能障碍及继发损害,严重影响其生存质量,仅有约 40% 的患者经康复治疗后可恢复独立行走功能^[1]。限制脑卒中偏瘫患者恢复独立步行的因素主要包括肌张力异常、本体感觉障碍、姿势控制减弱等^[2],其中下肢伸肌痉挛是影响患者步行能力的直接因素^[3],有效控制痉挛对患者开展步行训练、恢复步行能力具有重要意义。目前国内广泛开展的平地步行训练对于合并下肢痉挛的脑卒中患者较难实施,且疗效结果不一,如何在控制痉挛的基础上实施高效步行训练,是当前康复治疗的重点及难点之一。Lokomat 是辅助下肢运动障碍患者在医用跑台上进行减重步行训练的仿生外骨骼机械腿设备^[4],目前认为它提供的重复性牵伸辅助运动可能对痉挛缓解具有一定作用,有助于提高步行训练疗效。基于此,本研究拟采用 Lokomat 下肢机器人对脑卒中后下肢痉挛患者进行干预,并观察对患者步行能力的影响,现报道如下。

对象与方法

一、研究对象

患者纳入标准包括:①均符合全国第 4 次脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[5],并经颅脑 CT 或 MRI 检查确诊;②存在患侧下肢痉挛,Ashworth 痉挛评级≥1 级;③患者生命体征稳定,神经系统症状、体征不再进展;④病程≤90 d,年龄 18~75 岁;⑤伴肢体功能障碍;⑥能独立或在他人扶持下站立;⑦入组前未进行过正规、系统的步行训练;⑧患者或授权代理人对本研究知晓并签署知情同意书。患者排除标准包括:①双侧脑卒中或病灶位于小脑;②患者意识不清,有严重认知障碍或不能合作者;③有严重感染或心、肝、肺、肾等重要器官功能障碍;④下肢有严重的持久性挛缩或 Ashworth 痉挛评级≥3 级;⑤有导致骨不稳等疾病,如患有非稳定性骨折、脊柱不稳、严重骨质疏松症等;⑥双腿和(或)脊柱发育极其不对称,如骨软骨发育不良等;⑦有体位性循环障碍;⑧下肢或躯干部位皮肤破损或有皮肤病或严重的下肢血管疾病;⑨髋、膝、踝关节固定;⑩身高>2 m 和(或)体重>135 kg。本

研究同时经绍兴市人民医院伦理委员会审批[(2016)伦审论第(099)号]。

选取 2016 年 1 月至 2019 年 4 月期间在绍兴市人民医院康复医学科治疗且符合上述标准的脑卒中后下肢痉挛患者 80 例,采用随机数字表法将其分为观察组及对照组,每组 40 例。2 组患者一般资料情况(详见表 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。

二、治疗方法

2 组患者均给予常规康复治疗,观察组在此基础上辅以 Lokomat 步行训练,对照组则辅以平地步行训练,具体训练方法如下。

1. 常规康复治疗:依据物理医学与康复学临床诊疗指南,按统一模式、循序渐进原则,由专职康复医师开具处方,专职康复治疗师承担治疗,具体干预内容包括良姿位摆放、关节被动活动、翻身训练、斜床站立、坐位平衡训练、坐位耐力训练、坐站转移训练、站位平衡训练、上肢及手功能训练、日常生活活动(activities of daily living, ADL)能力训练、物理因子治疗等。

2. Lokomat 步行训练:Lokomat 全称为 K2 全自动康复机器人训练与评定系统(瑞士产),由具有国际认证操作资格的康复治疗师进行规范操作。在训练前测定各患者心率储备能力,具体训练方案如下:①指导患者穿戴并调整支持带,调节步态矫形器至正确位置;②根据患者综合评估结果设置各初始参数,起始减重量可为患者体重 30%~40%水平,起始热身适应性训练速度为 80%~90%初始平均步速,起始训练强度为 40%~50%心率储备(heart rate reserve, HRR)水平,起始训练时间为 10~20 min;③如患者能平稳步行 5 min,则在其可耐受范围内以 0.02 m/s 的幅度逐步提高步行速度;④机器动力腿导引强度视患者步行能力可从 100%起始,并根据患者步行能力改善情况逐步降低;⑤在患者可耐受范围内训练时间每 2 周约增加 5 min,训练强度约增加 5% HRR,减重量约降低 5%~10%水平;⑥全程监测患者心率情况。上述 Lokomat 步行训练每周 3 次,共训练 8 周。

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	身高 (cm, $\bar{x}\pm s$)	体重 (kg, $\bar{x}\pm s$)	脑卒中类型(例)		偏瘫侧别(例)		病程 (d, $\bar{x}\pm s$)
		男	女				脑出血	脑梗死	左侧	右侧	
观察组	40	29	11	59.2±13.2	166.6±8.7	65.9±13.9	14	26	19	21	49.9±32.7
对照组	40	24	16	61.1±12.0	164.6±8.9	61.9±9.9	18	22	17	23	51.6±21.6

3.平地步行训练:在平行杠一端放置矫姿镜,使患者能看到自身姿势、步态以便及时调整;随后康复治疗师根据患者具体情况,指导其采用助行器或使用腋杖、手杖等进行步行训练。起始训练强度为 40%~50% HRR 水平,起始训练时间为 10~20 min,在患者可耐受范围内训练时间每 2 周约增加 5 min,训练强度约增加 5% HRR,全程监测患者心率水平。上述平地步行训练每周 3 次,共训练 8 周。

三、疗效观察分析

于治疗前、治疗 4 周、8 周后对 2 组患者进行疗效评定,具体评定内容包括以下方面。

1.步行能力评定:首先评定患者是否具有独立步行能力,能否完成三维步态分析测试,三维步态检测指标包括步长、平均步速、步频、患侧支撑相、摆动相时间及占比等。

2.痉挛评定:采用修订版 Ashworth 痉挛评定量表,该量表结果分为 6 级(包括 0、1、1+、2、3、4 级),评级越高表示患者痉挛程度越严重^[6]。

3.下肢运动功能评定:采用下肢 Fugl-Meyer 运动功能量表(Fugl-Meyer assessment, FMA),下肢评定内容包括反射、髋、膝、踝等 7 大项(共 17 个小项),总分为 34 分,得分越高表示患者下肢运动功能越好^[7]。

4.平衡功能评定:采用 Berg 平衡功能量表(Berg balance scale, BBS),该量表评定内容包括站起、坐下、独立站立、闭眼站立、上臂前伸、双足交替踏台阶、单腿站立等 14 个动作项目,总分为 56 分,得分越高表示患者平衡功能越好^[8]。

5.日常生活活动能力评定:采用改良 Barthel 指数量表(modified Barthel index, MBI),该量表评定内容包括进食、洗澡、修饰、穿衣、大便、小便、用厕、转移、平地行走、上下楼梯等项目,满分为 100 分,得分越高表示患者 ADL 能力越好^[9]。

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数据分析,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,计数资料比较采用 χ^2 检验,等级资料比较采用 Wilcoxon 秩和检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、治疗前、后 2 组患者步行能力比较

治疗前 2 组患者均无独立步行能力,不能完成三维步态分析测试。治疗 4 周后 2 组患者步行能力均有不同程度改善,共有 23 例患者能完成三维步态分析测试,其中观察组 16 例,对照组 7 例,2 组患者人数经统计学比较,发现组间差异具有统计学意义($P<0.05$)。治疗 8 周后共有 45 例患者能完成三维步态分析测试,其中观察组 29 例,对照组 16 例,2 组患者人数经统计学比较,发现组间差异具有统计学意义($P<0.05$)。

对 2 组患者步态时空参数比较后发现,治疗 8 周时 2 组患者平均步速、步频、患侧步长、患侧支撑相时间及占比均较治疗 4 周时明显改善($P<0.05$);治疗 4 周、8 周时观察组患者步频、患侧步长、患侧支撑相时间及占比均明显优于同期对照组水平,组间差异均具有统计学意义($P<0.05$);治疗 8 周时观察组平均步速也显著优于对照组水平($P<0.05$)。具体数据见表 2、表 3。

二、治疗前、后 2 组患者下肢痉挛情况比较

治疗前 2 组患者下肢均存在不同程度痉挛;治疗 4 周时观察组、对照组分别有 28 例、19 例患者下肢肌张力恢复正常,2 组患者人数经统计学比较,发现组间差异具有统计学意义($P<0.05$);治疗 8 周时观察组、对照组分别有 33 例、25 例患者下肢肌张力恢复正常,2 组患者人数经统计学比较,发现组间差异仍具有统计学意义($P<0.05$)。具体数据见表 4。

表 2 治疗 4 周时 2 组患者步态时空参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	平均步速 (m/s)	步频 (步/分钟)	患侧步长 (m)	患侧支撑相 时间(s)	患侧支撑相 占比(%)
观察组	16	0.23±0.09	66.19±14.12 ^a	0.17±0.08 ^a	0.34±0.06 ^a	21.80±6.11 ^a
对照组	7	0.16±0.06	49.11±13.05	0.10±0.05	0.24±0.06	17.04±3.51

注:与对照组相同指标比较,^a $P<0.05$

表 3 治疗 8 周时 2 组患者步态时空参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	平均步速 (m/s)	步频 (步/分钟)	患侧步长 (m)	患侧支撑相 时间(s)	患侧支撑相 占比(%)
观察组	29	0.60±0.48 ^a	88.34±28.43 ^a	0.33±0.20 ^a	0.40±0.09 ^a	29.10±9.81 ^a
对照组	16	0.28±0.24	75.19±27.52	0.21±0.18	0.34±0.11	21.62±10.16

注:与对照组相同指标比较,^a $P<0.05$

表 4 治疗前、后 2 组患者下肢 Ashworth 评级结果比较(例)

组别	例数	治疗前						治疗 4 周时						治疗 8 周时					
		0 级	1 级	1+级	2 级	3 级	4 级	0 级	1 级	1+级	2 级	3 级	4 级	0 级	1 级	1+级	2 级	3 级	4 级
观察组	40	0	30	5	5	0	0	28 ^a	10	1	1	0	0	33 ^a	6	0	1	0	0
对照组	40	0	31	6	3	0	0	19	16	3	2	0	0	25	15	0	0	0	0

注:与对照组相同指标比较,^a $P<0.05$

三、治疗前、后 2 组患者功能恢复情况比较

治疗前 2 组患者下肢 FMA、BBS 及 MBI 评分组间差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗 4 周、8 周后 2 组患者下肢 FMA、BBS 及 MBI 评分均较治疗前明显改善($P<0.05$),治疗 8 周时 2 组患者上述各项指标评分亦显著优于治疗 4 周时水平($P<0.05$);通过进一步组间比较发现,治疗 4 周、8 周时观察组上述各项指标评分亦显著优于同期对照组水平,组间差异均具有统计学意义($P<0.05$)。具体数据见表 5。

表 5 治疗前、后 2 组患者功能恢复情况比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	下肢 FMA 评分	BBS 评分	MBI 评分
观察组				
治疗前	40	10.87±5.99	14.22±10.87	39.07±17.55
治疗 4 周时	40	20.10±8.11 ^{ac}	28.87±13.41 ^{ac}	72.00±20.22 ^{ac}
治疗 8 周时	40	24.07±7.98 ^{abc}	40.80±12.90 ^{abc}	82.25±15.79 ^{abc}
对照组				
治疗前	40	9.40±3.45	12.45±7.49	36.10±14.25
治疗 4 周时	40	14.20±5.20 ^a	19.70±7.97 ^a	53.32±13.96 ^a
治疗 8 周时	40	16.47±5.61 ^{ab}	27.40±8.76 ^{ab}	65.20±13.08 ^{ab}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与组内治疗 4 周时比较,^b $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^c $P<0.05$

讨 论

当脑卒中患者合并下肢痉挛时,其步行能力恢复尤为困难^[10]。本研究入组患者均存在患侧下肢痉挛,多表现为小腿三头肌肌张力增高,严重影响其步态。经治疗后 2 组患者下肢痉挛均有不同程度缓解,表明常规康复干预结合平地步行训练或 Lokomat 训练对脑卒中患者下肢痉挛均有改善作用,并以结合 Lokomat 训练的改善效果较显著。目前认为 Lokomat 训练对痉挛的改善作用主要是通过肌肉与关节结缔组织蠕变、肌梭传入率适应、中枢神经调节等机制实现的^[11]。Lokomat 训练通过高频反复运动,能充分运用感觉刺激强化对痉挛肌肉的牵拉作用,增加关节活动度,并保证足够的痉挛抑制时间,通过反复输入正常运动模式信息,最终显著改善下肢痉挛,有利于脑卒中患者步行能力恢复。

独立步行需要负重、迈步、平衡三要素有机结合,卒中患者偏瘫侧下肢负重及控制能力减弱,步行时由于平衡协调障碍导致步长、步速及步频异常^[12]。

Lokomat 训练不仅将负重、迈步和躯干控制等动态及静态要素有机结合,而且在建立正常步态模式同时,还能显著改善步速、步频等参数。本研究通过三维步态分析测试发现,治疗 4 周时观察组患者步频、步长、患侧支撑相时间及占比均较对照组明显改善,治疗 8 周时观察组患者上述指标及平均步速进一步改善,与对照组组间差异仍具有统计学意义($P<0.05$)。上述结果表明,与常规平地步行训练比较,Lokomat 训练在治疗 4 周时即呈现明显优势,在治疗 8 周时优势更加显著。其作用机制可能包括:Lokomat 训练为偏瘫肢体运动创造了更稳定的支撑^[13-14],能促使患者尽早开展步行训练,从而增强躯干稳定性,使患侧下肢在支撑相充分负重^[15],能在短期内重新建立正常平衡模式^[16],较平地步行训练显著缩短治疗时间;同时 Lokomat 训练能提升患者下肢协调能力,优化肌力产生、传递及控制等多个环节,使患者在卒中后早期即能通过较为精准的控制进行步行训练;长期 Lokomat 训练则能强化步态节奏与稳定性^[17],通过足够量的反复牵伸及感觉输入刺激^[18],能促使中枢脑组织感受正常关节的本体觉信息,增强关节控制能力,提高步速。另外本研究结果还显示,治疗后 2 组患者下肢运动功能、平衡功能及 ADL 能力均较治疗前明显改善,并且上述指标均以观察组患者的改善幅度较显著,以上结果均提示 Lokomat 训练联合常规康复干预的疗效优于平地步行训练联合常规康复治疗。

既往有多项研究显示 Lokomat 训练对各期脑卒中患者步速、平衡、协调及步态对称性等步行能力指标均有明显改善作用^[19-21],本研究将 Lokomat 训练应用于合并下肢痉挛的脑卒中偏瘫患者,发现不仅能有效提高患者步行能力,还能显著改善下肢痉挛状态。相较于传统平地步行训练,Lokomat 训练的优势包括:Lokomat 具有完备的监测反馈系统,能实时提供运动反馈,可根据患者需要及时实施下肢各关节、步态模式及导引力的控制调整,从而适应痉挛下肢的康复训练要求,如本研究多数患者存在小腿三头肌痉挛,Lokomat 能通过外骨骼给予患侧踝关节持续被动训练,获得类似反复牵伸的效果,从而在运动中缓解痉挛,较平地步行训练优势显著;另外 Lokomat 能准确设定时相指标^[22],使患者下肢以正确、适合的生理步态模式进行反复训练,最终获得客观稳定疗效。

综上所述,本研究结果表明,Lokomat 可在短期内显著改善脑卒中后下肢痉挛患者的步频、步长、患侧支撑等步行参数,长期训练还能进一步提高步速,缓解下肢肌痉挛,同时对患者下肢运动功能、平衡功能及 ADL 能力等亦有明显改善作用,从而提高患者整体康复疗效。需要指出的是,基于 Lokomat 设备的局限性,本研究未能在多中心采集大样本量进行观察,后续将考虑纳入更多来源患者,以进一步探讨 Lokomat 治疗脑卒中患者的确切疗效。

参 考 文 献

- [1] Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke[J]. PM R, 2014, 6(7): 635-642. DOI: 10.1016/j.pmrj.2013.12.017.
- [2] 熊振宇, 郑玉惠, 叶炳照, 等. 脑卒中偏瘫患者步行能力康复的研究进展[J]. 按摩与康复医学, 2018, 9(3): 5-8. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1879.2018.03.003.
- [3] 司马振奋, 龚剑秋, 冯玲. 中药穴位熏蒸改善卒中后下肢痉挛的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(9): 677-678. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.09.010.
- [4] 郑焕驰, 王俊华, 王程灵. 步行康复机器人综述[J]. 按摩与康复医学, 2019, 10(20): 5-9. DOI: 10.19787/j.issn.1008-1879.2019.20.01.
- [5] 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]. 中华神经科杂志, 1996, 26(6): 379-380. DOI: 10.1109/60.23142.
- [6] 张永祥, 张文洁, 王强, 等. 胫骨前肌注射 A 型肉毒毒素对脑卒中痉挛性足下垂和足内翻患者步行功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(12): 899-902. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.12.005.
- [7] 耿姣姣, 夏燕萍, 钮晨佳, 等. 经颅直流电刺激联合功能性电刺激踏车对脑卒中早期患者下肢运动功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2021, 43(4): 311-315. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.04.005.
- [8] 刘旭东, 郭华平, 何曼, 等. 镜像视觉反馈训练对脑卒中偏瘫患者下肢功能恢复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(6): 429-431. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.007.
- [9] 华祎辰, 李柄佑, 王凯旋, 等. 不同频率重复经颅磁刺激治疗缺血性脑卒中患者的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(10): 745-748. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.10.006.
- [10] Kim K, Lee S, Lee K. Effects of progressive body weight support treadmill forward and backward walking training on stroke patients' affected side lower extremity's walking ability[J]. J Phys Ther Sci, 2014, 26(12): 1923-1927. DOI: 10.1589/jpts.26.1923.
- [11] Pennati GV, Da RC, Messineo I, et al. How the robotic training and the botulinum toxin could be combined in chronic post stroke upper limb spasticity? A pilot study[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2015, 51(4): 381-387.
- [12] Gueugnon M, Stapley PJ, Gouteron A, et al. Age-related adaptations of lower limb intersegmental coordination during walking[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2019, 7: 173. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00173.
- [13] 沈雅萍, 柏京, 王中莉, 等. 强化躯干肌等速肌力训练对脑卒中偏瘫患者步行功能的影响[J]. 护理与康复, 2018, 17(9): 65-67. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9875.2018.09.020.
- [14] Chang JL, Lin RY, Saul M, et al. Intensive seated robotic training of the ankle in patients with chronic stroke differentially improves gait[J]. Neurorehabilitation, 2017, 41(1): 61-68. DOI: 10.3233/NRE-171457.
- [15] 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中的应用和研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(8): 784-788. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2014.08.025.
- [16] Swinnen E, Beckwde D, Meeusen R, et al. Does robot-assisted gait rehabilitation improve balance in stroke patients? A systematic review[J]. Top Stroke Rehabil, 2014, 21(2): 87-100. DOI: 10.1310/tsr2102-87.
- [17] 王中莉, 傅建明, 姚云海, 等. 脑卒中患者躯干核心肌群等速定量测定与步态参数的相关性研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2017, 39(10): 738-741. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.10.004.
- [18] 郑彭, 黄国志. 下肢康复机器人在脑卒中患者运动功能障碍中的应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(6): 716-719. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2017.06.024.
- [19] 李新, 段金伟, 周梦夏, 等. 步行和平衡功能训练对脑卒中后遗症期患者步行能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(9): 679-681. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.09.008.
- [20] Datteri E. Predicting the long-term effects of human-robot interaction: a reflection on responsibility in medical robotics[J]. Sci Eng Ethics, 2013, 19(1): 139-160. DOI: 10.1007/s11948-011-9301-3.
- [21] Ijmker T, Houdijk H, Lamoth CJ, et al. Effect of balance support on the energy cost of walking after stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2013, 94(11): 2255-2261. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.04.022.
- [22] Dunder U, Toktas H, Solak O, et al. A comparative study of conventional physiotherapy versus robotic training combined with physiotherapy in patients with stroke[J]. Top Stroke Rehabil, 2014, 21(6): 453-461. DOI: 10.1310/tsr2106-453.

(修回日期: 2021-07-10)

(本文编辑: 易 浩)