

骨盆减重康复机器人训练对脑卒中后偏瘫患者下肢功能的影响

解二康^a, 李策^b, 陆蓉蓉^a, 陈英伦^b, 刘培乐^b, 胡健^b, 华艳^b, 白玉龙^{a,b}

【摘要】 目的:探讨骨盆减重康复机器人对脑卒中后偏瘫患者下肢功能的影响。方法:将脑卒中偏瘫患者 39 例随机分为观察组 19 例和对照组 20 例。其中观察组予常规康复治疗结合骨盆减重康复机器人训练,对照组予常规康复治疗结合针对性的平衡和步行训练。在治疗前后采用 Brunnstrom 下肢分期、Fugl-Meyer 下肢运动功能评分、Berg 平衡量表、功能性步行量表(FAC)、Barthel 指数进行评估。结果:治疗 2 周后,2 组 Brunnstrom 下肢运动功能分期较治疗前及 2 组间比较差异均无统计学意义;观察组 Fugl-Meyer 下肢运动功能评分较治疗前明显提高($P < 0.05$),2 组间比较差异无统计学意义,对照组 Fugl-Meyer 下肢运动功能评分较治疗前差异无统计学意义。治疗 3 周后,观察组 Brunnstrom 下肢运动功能分期、Fugl-Meyer 下肢运动功能评分均较治疗前明显提高($P < 0.05$),但 2 组间比较差异无统计学意义,对照组 Brunnstrom 下肢运动功能分期、Fugl-Meyer 下肢运动功能评分治疗前后比较差异无统计学意义。治疗 2 周后,2 组 Berg 平衡量表评分均较治疗前明显提高(均 $P < 0.05$),2 组间比较差异无统计学意义;治疗 3 周后,2 组 Berg 平衡量表评分较治疗前均明显提高(均 $P < 0.05$),且观察组明显高于对照组($P < 0.05$)。治疗 2 周后,2 组 Barthel 指数评分较治疗前均明显提高($P < 0.05$),2 组间比较差异无统计学意义;治疗 3 周后,2 组 Barthel 指数评分均较治疗前均明显提高(均 $P < 0.05$),2 组间比较差异无统计学意义。结论:骨盆减重康复机器人训练可以有效改善脑卒中后偏瘫患者的平衡功能、下肢运动功能及日常生活活动能力,且在平衡功能改善方面优于康复治疗师指导下的康复训练。

【关键词】 脑卒中;偏瘫;下肢运动功能;平衡功能;日常生活活动能力

【中图分类号】 R49;R473.3 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2020.08.003

Effects of weight bearing robot assisted training on the lower limb function of hemiplegic patients following stroke Xie Erkang, Li Ce, Lu Rongrong, et al. Department of Rehabilitation, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 201907, China

【Abstract】 Objective: To observe the effects of weight-bearing robot-assisted training on the lower limb function of hemiplegic patients after stroke. **Methods:** Thirty-nine stroke patients were divided into two groups by a random number method, including 19 in the robot group and 20 in the control group. The robot group received physical therapy combined with weight-bearing robot-assisted training for the lower limb. The control group received physical therapy with therapist-guiding balance and gait training. The functional outcomes were Brunnstrom scale (lower limb), Fugl-Meyer assessment (FMA), Berg balance scale, functional ambulation category scale (FAC), and Barthel index (BI) before, 2 weeks and 3 weeks after the rehabilitation. **Results:** After 2-week rehabilitation, there was no significant change of Brunnstrom scale in both groups and no significant difference between the two groups; FMA of lower limb in robot group after 2 weeks was better than before ($P < 0.05$) with no significant difference between two groups, while control group had no changes after 2-week rehabilitation. After 3-week rehabilitation, Brunnstrom scale and FMA of lower limb in robot group were improved significantly as compared with baselines, but there was no significant difference between two groups. There were no significant differences in Brunnstrom scale and FMA of lower limb in control group before and after 2-week rehabilitation. After 2-week rehabilitation, there was significant difference in Berg balance scale in both groups ($P < 0.05$) with no significant difference between two groups. After 3-week rehabilitation, there was significant difference in Berg balance scale ($P < 0.05$) in both groups, and robot group was better than control group ($P < 0.05$). After 2-week and 3-week rehabilitation,

Barthel Index was improved significantly as compared with baselines in both groups ($P < 0.05$) with no significant difference between two groups. **Conclusion:** Weight-bearing robot assisted training for the lower limb can improve balance, motor function of lower limb, and activities of daily living in hemiplegic patients

基金项目:上海市科学技术委员会科研项目(15441900803)

收稿日期:2020-03-10

作者单位:复旦大学附属华山医院 a. 北院康复医学科,上海 201907;b 康复医学科,上海 200040

作者简介:解二康(1987-),男,主管技师,主要从事脑卒中康复方面的研究。

通讯作者:白玉龙, dr_baiyl@fudan.edu.cn

following stroke. The robot training is better than physical exercise instructed by therapists in balance.

【Key words】 stroke; hemiplegia; motor function; balance; activity of daily life

脑卒中是一种严重威胁人类健康和生命的疾病,且发病率不断增高。但随着医疗技术的发展,脑卒中患者的死亡率明显下降,使得脑卒中存活人数不断增加。存活患者常伴有偏瘫等残疾。近年来脑卒中的致残率超过80%,重度致残者在40%以上^[1-2]。其中步行功能障碍是脑卒中患者主要的功能障碍之一,严重影响了患者的日常生活活动能力^[3]。改善步行相关的下肢运动和平衡功能是脑卒中患者重要的康复任务。传统的康复治疗是临床上改善脑卒中患者下肢功能障碍的常规手段之一,主要依赖康复治疗师的经验和徒手操作技术,人力成本较高,且治疗师体力负担过大,使得康复治疗效果受到一定影响^[4-7]。在康复治疗中使用骨盆减重康复机器人可节省时间,减轻康复治疗师的负担,研究表明其具有临床有效性和治疗高效性^[8-13]。本研究使用的骨盆减重康复机器人减重方式为骨盆减重,使患者的躯干和四肢有充分的自由度。目前针对骨盆减重康复机器人对脑卒中偏瘫患者功能影响的研究众多,研究设计不一,结果异质性较大。本研究拟通过运用骨盆减重康复机器人对脑卒中偏瘫患者进行下肢功能康复,并和康复治疗师指导协助下训练的下肢功能变化进行比较,开展随机、对照、单盲的临床研究。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2017年10月~2018年9月在华山医院北院康复医学科首次发病住院的脑卒中偏瘫患者39例。纳入标准:脑卒中诊断符合中国脑出血诊治指南(2014版),或中国急性缺血性脑卒中诊治指南(2014版)^[14-15];首次发病,经头颅CT或MRI证实,病程1~12个月,病情稳定;下肢改良Ashworth分级<2级;患者均愿意接受康复治疗;自愿签署知情同意书。排除标准:合并严重心肺肝肾功能不全,不宜进行康复训练者;可逆性脑卒中患者;严重失语、严重认知功能障碍者,简易智能精神状态检查量表(Mini-Mental State Exam, MMSE)<23分;精神疾患,不配合训练者;聋、哑人;无法在定点医院接受治疗和定期随访者。患者随机分为观察组19例和对照组20例,本研究通过复旦大学附属华山医院伦理审查委员会的伦理审查,伦理审查批件号:(2017)临审第(368)号。2组患者性别、年龄、病程、卒中类型等方面比较差异均无统计学意义,见表1。

表1 2组一般资料比较

组别	n	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病程 (月, $\bar{x} \pm s$)	卒中类型(例)	
		男	女			缺血性	出血性
观察组	19	13	6	57.26±12.00	4.76±3.19	12	7
对照组	20	15	5	54.00±15.26	4.23±3.35	9	11
统计量		$\chi^2=0.21$		$t=-0.74$	$t=-0.49$	$\chi^2=1.29$	
P		0.65		0.46	0.63	0.26	

1.2 方法 对照组予常规康复治疗结合针对性的平衡和步行训练,观察组予常规康复治疗结合骨盆减重康复机器人训练。常规康复治疗:包括针对性给予物理因子治疗、运动疗法、作业治疗、言语治疗和传统康复治疗,针对偏瘫肢体的运动疗法每次40min,作业治疗每次20min。各项治疗每天1次,每周5d,治疗3周。针对性的平衡和步行训练:包括坐位平衡训练、跪位平衡训练、立位双足支撑平衡训练、立位单腿支撑平衡训练、立位患侧下肢屈髋训练、立位患侧下肢屈膝训练、立位踝背屈训练、立位足廓清训练、步行训练、上下楼梯训练。每次20min,每天1次,每周5d,训练3周。针对性的平衡和步行训练主要强调坐位、跪位、立位下的训练,训练强度较大,训练时间较短;而针对偏瘫肢体的运动疗法可包括以上内容,也包括了在卧位下的相关训练等,训练强度较小,时间较长。骨盆减重康复机器人:为上海电气集团股份有限公司中央研究院生产的型号SE-NaturalGait的减重步态训练系统。该机器人具有四个特点:①根据患者身体重量按照比率进行个性化地精确减重;②减重方式为骨盆减重;③上肢无束缚,患者以自然步态行走;④具有4种运动模式,即跑台定速行走、跑台跟随行走、跑台抗阻行走、扰动训练。治疗师根据患者的实际情况选择相应的模式,以患者耐受为宜。每次20min,每天1次,每周5d,训练3周。骨盆减重康复机器人设备操作如下:开机进入界面;录入康复治疗师的信息;登记患者的性别、年龄、诊断、体重、下肢长度等信息;设置减重百分比、保护高度、治疗时间、治疗模式、治疗模式中的详细数据;协助患者进行设备的穿戴;启动治疗程序,观察患者反应,调整治疗参数;结束治疗,协助患者脱卸设备。

1.3 评定标准 在治疗前、治疗2及3周后由不知分组和治疗情况的康复医师分别采用以下量表进行评估。①Brunnstrom下肢运动功能分期:分I~VI期共6个等级,等级越高表示功能越好。②Fugl-Meyer下肢运动功能评分:共17项内容,总分34分,得分越高表示下肢运动功能越好。③Berg平衡量表:共14项内容,总分56分,得分越高表示平衡功能越好。④功

能性步行量表(functional ambulation category scale, FAC);共分为0~5级,级别越高表示平地行走能力越好。⑤Barthel指数:共10项内容,总分100分,得分越高表示日常生活能力越好。

1.4 统计学方法 采用SPSS16.0统计软件进行分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 或四分位数[中位数(P25, P75)]描述,使用Shapiro-Wilk法作正态性检验,Levene检验确定方差齐性。符合正态分布的和经数据转换符合正态分布的评价指标数据,用两因素重复测量方差分析,组内因素为3个时间点(干预前、治疗2周、治疗3周),组间因素为2个分组(观察组、对照组),计算统计量F。不符合正态分布的评价指标数据,使用Friedman检验,组间比较用两独立样本的秩和检验(Mann-Whitney U检验),组内比较用两配对样本的秩和检验比较(Wilcoxon符号秩和检验),计算统计量Z。 $P < 0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

2.1 下肢运动功能 治疗2周后,2组Brunnstrom下肢运动功能分期较治疗前及2组间比较差异均无统计学意义;观察组Fugl-Meyer下肢运动功能评分较治疗前明显提高($P < 0.05$),2组间比较差异无统计学意义,对照组Fugl-Meyer下肢运动功能评分较治疗前差异无统计学意义。治疗3周后,观察组Brunnstrom下肢运动功能分期、Fugl-Meyer下肢运动功能评分均较治疗前明显提高($P < 0.05$),但2组间比较差异无统计学意义,对照组Brunnstrom下肢运动功能分期、Fugl-Meyer下肢运动功能评分治疗前后比较差异无统计学意义。见表2,3。

表2 2组治疗前后下肢Brunstrom分期比较

组别	治疗前	治疗2周后	治疗3周后	级,四分位数M	
				Z ^a	P ^a
观察组	4.00	4.00	4.00	-2.33	0.02
	(3.00,4.00)	(3.00,5.00)	(4.00,6.00)	-2.12	0.03
				-2.75	0.01 ^c
对照组	4.00	4.50	5.00	-1.34	0.18
	(3.00,5.25)	(3.00,6.00)	(3.75,5.25)	0.38	0.71
				-1.63	0.10
Z ^b	-0.73	-0.26	-0.32		
P ^b	0.46	0.80	0.75		

a. 治疗前与治疗2周、治疗2周与3周、治疗前与治疗3周比较的统计量及P值;b. 2组治疗前、治疗2周后、治疗3周后组间比较的统计量及P值;c. Bonferroni法校正P值

2.2 下肢平衡功能 治疗2周后,2组Berg平衡量表评分均较治疗前明显提高(均 $P < 0.05$),2组间比较差异无统计学意义;治疗3周后,2组Berg平衡量表评分较治疗前均明显提高(均 $P < 0.05$),且观察组

表3 2组治疗前后Fugl-Meyer下肢运动功能评分比较, $\bar{x} \pm s$

组别	治疗前	治疗2周后	治疗3周后	P ^a
观察组	21.89±3.90	24.53±3.55	26.47±4.48	0.00 ^c
				0.02 ^c
				0.00 ^c
对照组	23.94±5.17	23.05±6.41	24.00±6.63	0.04 ^c
				0.08
P ^b	0.96	0.26	0.10	

a. 治疗前与治疗2周、治疗2周与3周、治疗前与治疗3周比较的P值;b. 2组治疗前、治疗2周后、治疗3周后组间比较的P值;c. Bonferroni法校正P值

明显高于对照组($P < 0.05$)。见表4。

表4 2组患者治疗前后Berg平衡量表评定比较

组别	治疗前	治疗2周后	治疗3周后	分,四分位数M	
				Z ^a	P ^a
观察组	26.00	30.00	31.00	-3.06	0.00 ^c
	(15.00,29.00)	(26.00,31.00)	(29.00,32.00)	-2.83	0.01 ^c
				-3.30	0.00 ^c
对照组	27.00	27.50	29.00	-2.55	0.01 ^c
	(5.00,30.00)	(9.25,31.00)	(9.25,31.00)	-1.84	0.02
				-2.68	0.00 ^c
Z ^b	-0.52	-1.03	-2.12		
P ^b	0.60	0.30	0.03*		

a. 治疗前与治疗2周、治疗2周与3周、治疗前与治疗3周比较的统计量及P值;b. 两组治疗前、治疗2周后、治疗3周后组间比较的统计量及P值;* Bonferroni法校正P值,差异有统计学意义

2.3 下肢步行功能 治疗2周后,2组FAC分级较治疗前及治疗后组间比较差异均无统计学意义,观察组FAC分级评定结果较对照组比较差异无统计学意义;治疗3周后,观察组FAC分级较治疗前明显提高($P < 0.01$),对照组FAC分级评定结果较治疗前比较差异无统计学意义,2组间FAC分级比较差异无统计学意义,见表5。

表5 2组患者FAC分级评定结果比较

组别	治疗前	治疗2周后	治疗3周后	级,四分位数M	
				Z ^a	P ^a
观察组	2.00	3.00	3.00	-1.84	0.07
	(2.00,3.00)	(2.00,5.00)	(2.00,5.00)	-2.45	0.01 ^c
				-2.56	0.01 ^c
对照组	2.50	2.50	2.50	-1.34	0.18
	(0.00,5.00)	(0.75,5.00)	(0.75,5.00)	0.00	1.00
				-1.34	0.18
Z ^b	-0.86	-1.125	-1.58		
P ^b	0.39	0.26	0.11		

a. 治疗前与治疗2周、治疗2周与3周、治疗前与治疗3周比较的统计量及P值;b. 2组治疗前、治疗2周后、治疗3周后组间比较的统计量及P值;c. Bonferroni法校正P值

2.4 日常生活活动能力 治疗2周后,2组Barthel指数评分较治疗前均明显提高($P < 0.05$),2组间比较差异无统计学意义;治疗3周后,2组Barthel指数评

分均较治疗前明显提高(均 $P < 0.05$), 2 组间比较差异无统计学意义。见表 6。

表 6 2 组治疗前后 Barthel 指数评分比较 分, $\pm s$

组别	治疗前	治疗 2 周后	治疗 3 周后	P^a
观察组	61.58 \pm 17.16	70.53 \pm 18.33	73.95 \pm 17.20	0.00 ^c
对照组	63.25 \pm 26.37	67.00 \pm 26.48	68.25 \pm 27.25	0.01 ^c
P^b	0.97	0.42	0.27	0.00 ^c

a. 治疗前与治疗 2 周、治疗 2 周与 3 周、治疗前与治疗 3 周比较的 P 值; b. 2 组治疗前、治疗 2 周后、治疗 3 周后组间比较的 P 值; c. Bonferroni 法校正 P 值

3 讨论

本研究结果显示, 治疗 2 周后, 观察组 Brunnstrom 分期、Fugl-Meyer 下肢运动功能评分、Berg 平衡量表、Barthel 指数较治疗前有明显改善; 3 周后, 观察组 Brunnstrom 分期、Fugl-Meyer 下肢运动功能评分、Berg 平衡量表、FAC、Barthel 指数均较治疗前提高。治疗 2 及 3 周后, 对照组 Berg 平衡量表、Barthel 指数均较治疗前明显提高。但组间比较显示, 仅 3 周治疗后观察组 Berg 平衡量表得分较对照组明显改善。

脑卒中后偏瘫患者由于中枢神经系统的损伤导致偏瘫侧肌张力、感觉异常、肌力和耐力弱化。步行过程中, 偏瘫患者表现为支撑相变短, 尤其是首次触地异常, 摆动相廓清能力差且代偿明显。脑卒中后偏瘫步态、下肢运动功能障碍给患者造成严重影响。早期、及时、有效的康复治疗是关键, 如何进一步提高治疗效果是研究热点^[16-17]。传统康复训练虽能从一定程度上改善脑卒中后偏瘫患者的平衡和运动功能, 但是往往是强化某个单纯的动作, 无法尽早将负重、平衡、迈步等训练有机结合, 导致动作缺乏连贯性和实用性易形成异常步态^[18-19]。有报道显示, 约 1/3 的脑卒中患者在发病后 3 个月仍无法恢复正常的步行能力, 严重影响生活质量^[20]。

骨盆减重康复机器人作为一种新的康复治疗技术能帮助患者进行科学、有效的康复训练, 已受到越来越多的关注, 现已逐步运用到临床康复中^[21]。脑卒中后偏瘫患者由于下肢伸肌张力较高, 且偏瘫侧肌力明显下降, 屈髋动作常常难以完成。骨盆减重康复机器人训练中, 骨盆位置相对固定而传动带的向后传送, 使得髋关节处于伸髋位。而患者处于伸髋位时, 屈髋肌群的初长度被拉长而其肌梭感受器容易兴奋, 这样的伸髋体位使得髋关节更容易产生屈髋动作, 对做出该侧下肢向前摆动的动作有帮助^[2, 22], 可以更大程度地训练患者的屈髋能力, 有利于诱发分离运动, 促进下肢运

动功能的恢复。

步行是多关节和多肌群参与的周期性和协调性运动, 要求机体有足够的承重能力和一定的平衡能力^[23]。偏瘫患者的步行能力恢复需要进行长时间训练积累, 这使得患者的步行训练延后。而这些缺失的功能中, 负重能力的缺失是重要环节。在本研究中, 骨盆减重康复机器人可以根据患者不同的支撑能力进行个性化的骨盆减重, 采用合适的减重步行训练, 同时训练其负重能力、平衡、协调等, 使患者达到从容负重的目的。在合理的负重情况下, 患者可尽早进入立位平衡训练和步行训练。患者的蹬地能力也影响步行, 该骨盆减重康复机器人根据患者蹬地能力不同设置跑台定速行走、跑台跟随行走、跑台抗阻行走等不同模式进行训练。同时该康复机器人未对躯干和上肢有过多束缚, 且还能采集人体形态的功能, 在屏幕中患者可以观察到步行的姿势可及时调整, 进行相对自然的步行训练, 从而提高患者的步行能力。

偏瘫患者在此骨盆减重康复机器人的帮助下, 创造一个适宜康复训练的环境从而提高其下肢运动、平衡和步行功能的训练效率。本研究治疗两周后, 组间各项指标均无显著性差异, 可能由于治疗时间过短, 下肢功能、步行、平衡等尚未得到功能上的飞跃。在治疗 3 周后, 组内比较中, 观察组 Brunnstrom 下肢分期、Fugl-Meyer 下肢运动功能较治疗前有明显提高而对对照组这两个评估指标较治疗前无明显差异; 观察组训练前后步行功能改善指标(即 FAC 分级)有显著提高, 而对对照组治疗前后无明显差异, 且以上指标在治疗第 3 周的组间比较均无差异; 仅 Berg 量表结果验证了骨盆减重康复机器人训练相较于治疗师指导下的针对性训练, 更能有效改善脑卒中患者平衡功能。既往研究通过表面肌电图观察到下肢机器人能诱导卒中患者股直肌出现生理性肌肉激活模式, 延长股二头肌激活时间, 此类肌肉激活可能有助于下肢运动协调^[24]。

偏瘫患者日常生活活动能力是步行、下肢运动、平衡等能力的综合体现, 反映患者能够完成日常生活活动的的能力。功能的协同进步最终会改善患者的日常生活活动能力。本研究中观察组训练前后 Barthel 指数评分有显著提高而组间比较结果无统计学差异, 说明骨盆减重康复机器人训练较治疗前可以改善偏瘫患者日常生活能力, 促进回归日常生活, 作用和治疗师指导下了训练相似。2020 年一篇下肢机器人的随机对照研究采用 6 周的治疗时长, 比较传统治疗, 下肢机器人, 和两者结合的疗效, 发现传统疗法和下肢机器人在 Barthel 指数、6 分钟步行测验、下肢 Fugl-Meyer 运动功能评分、生命质量评分等指标上均无差异, 证明二者

疗效相仿^[25],此结论和本文结论较为相似。

由于本研究纳入受试者人数较少,治疗时长仅3周,无随访时间,未能明确骨盆减重康复机器人治疗后是否存在遗留效应,治疗后疗效证据不充分,今后临床研究需考虑康复的长期疗效,并针对不同卒中、病程者设计合理的临床设计。

4 结论

骨盆减重康复机器人训练可能改善脑卒中后偏瘫患者的平衡功能、下肢运动能力及日常生活活动能力,且可能在平衡功能改善方面优于康复治疗师指导下的康复训练。

【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.
- [2] 刘畅,鄒淑燕,王寒明,等. 下肢康复机器人对脑卒中偏瘫患者下肢运动功能与步行能力的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(6): 696-700.
- [3] 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.
- [4] 公维军,张通,孙新亭. 脑卒中后痉挛性偏瘫的研究现状[J]. 中国康复理论与实践, 2008, 14(3): 212-213.
- [5] 黄怡,潘翠环,万新炉,等. 重复性下肢训练对脑梗死患者下肢功能改善的作用[J]. 中国康复, 2009, 24(3): 167-168.
- [6] 金妹,朱美红,沈雅萍,等. 指导性强化作业疗法对脑卒中患者上肢功能及 ADL 能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2009, 24(2): 173-174.
- [7] 利萍,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.
- [8] 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.
- [9] Derek M, Goldie N. Meal-time with a socially assistive robot and older adults at a long-term care facility [J]. *J Hum Robot Interact*, 2013, 2(1): 152-171.
- [10] Albert CL, Peter DG, Lorie GR, et al. Robot-assisted therapy for long-term upper limb impairment after stroke [J]. *N Engl J Med*, 2010, 362(19): 1772-1783.
- [11] 侯红,范亚蓓,吴玉霞,等. 康复机器人辅助训练对偏瘫患者上肢功能及日常生活活动能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(10): 1013-1016.
- [12] Alcobendas-Maestro M, Esclarín-Ruz A, Casado-López RM, et al. Lokomat robotic-assisted versus overground training within 3 to 6 months of incomplete spinal cord lesion: randomized controlled trial [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2012, 26(9): 1058-1063.
- [13] Elena T, Johannes O, Franz W, et al. Attitudes towards socially assistive robots in intelligent homes: results from laboratory studies and field trials [J]. *J Hum Robot Interact*, 2012, 1(2): 76-99.
- [14] 中华医学会神经病学分会 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑出血诊治指南(2014)[J]. 中华神经科杂志, 2015, 48(6): 435-444.
- [15] 中华医学会神经病学分会 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2014[J]. 中华神经科杂志, 2015, 48(4): 246-257.
- [16] 郑彭,黄国志,彭生辉,等. 下肢康复机器人对改善脑卒中偏瘫患者下肢肌力及运动功能障碍的临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(9): 955-959.
- [17] 赵雅宁,郝正玮,李建民,等. 下肢康复机器人对缺血性脑卒中偏瘫患者平衡及步行功能的影响 [J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(11): 1015-1020.
- [18] 厉勇,高真真,李周,等. 早期应用下肢康复机器人对偏瘫患者步行能力的影响[J]. 中国康复, 2013, 28(1): 12-14.
- [19] 曹守明,闫昕,赵雅宁,等. 下肢康复训练机器人联合活动分析法治疗脑梗死偏瘫患者的疗效[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(24): 6123-6125.
- [20] 廖麟荣,王俊. 虚拟现实康复机器人对早期脑卒中患者步行功能的疗效观察[J]. 中国伤残医学, 2014, 22(14): 45-47.
- [21] 李正宇,陈惠琼. 下肢康复机器人训练对早期脑卒中偏瘫患者下肢功能的康复效果观察[J]. 现代诊断与治疗, 2015, 26(8): 1843-1844.
- [22] 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.
- [23] Knutson JS, Hansen K, Nagy J, et al. Contralaterally controlled neuromuscular electrical stimulation for recovery of ankle dorsiflexion: a pilot randomized controlled trial in patients with chronic post-stroke hemiplegia [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2013, 92(8): 656-665.
- [24] Gandolfi M, Geroïn C, Tomelleri C, et al. Feasibility and safety of early lower limb robot-assisted training in sub-acute stroke patients: a pilot study [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2017, 53(6): 870-882.
- [25] Mustafaoglu R, Erhan B, Yeldan I, et al. Does robot-assisted gait training improve mobility, activities of daily living and quality of life in stroke? A single-blinded, randomized controlled trial [J]. *Acta Neurol Belg*, 2020, 120(2): 335-344.