

· 临床研究 ·

下肢康复机器人系统和减重平板训练对脑卒中偏瘫患者步行能力及步态的影响

李岩 吴华 姚云海 李辉 傅建明 顾旭东

【摘要】目的 探讨下肢康复机器人系统和减重平板训练对脑卒中偏瘫患者步行能力及步态的影响。**方法** 采用随机单盲对照研究,将脑卒中偏瘫患者 48 例分为机器人组和减重组,每组 24 例。2 组患者均给予常规康复治疗,机器人组在此基础上增加下肢康复机器人系统训练,减重组则增加减重平板训练,每次 20~30 min,每周 5 次。2 组患者分别于治疗前及治疗 8 周后进行评定,采用简化 Fugl-Meyer 运动能量表(FMA)评定下肢运动功能,采用功能性步行分级(FAC)评定步行能力,采用 Biodex Gait Trainer-2 步态分析系统评定患者的双侧平均步长、左右侧负重时间百分比和 3 min 步行距离。**结果** 治疗前,2 组患者的 FMA 和 FAC 评分、双侧平均步长、左右侧负重时间百分比以及 3 min 步行距离组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗后,2 组患者的各项指标均优于组内治疗前,差异均有统计学意义($P<0.05$)。治疗后,2 组患者的 FMA 和 FAC 评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$);而双侧平均步长、左右侧负重时间百分比以及 3 min 步行距离比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 下肢康复机器人系统在改善偏瘫患者步行能力方面与减重平板训练有相似作用,下肢康复机器人系统在患者的双侧平均步长、左右侧负重时间百分比、3 min 步行距离方面效果更佳。

【关键词】 下肢康复机器人; 减重平板训练; 步行; 步态

The effects of robot-assisted walking compared with body weight supported treadmill training for retraining walking ability and improving the gait of hemiplegic patients after stroke LI Yan, WU Hua, YAO Yun-hai, LI Hui, FU Jian-ming, GU Xu-dong. Center for Rehabilitation Medicine, Jiaxing Second Hospital, Jiaxing 314000, China

Corresponding author: GU Xu-dong, Email: jxgxd@hotmail.com

【Abstract】Objective To compare the effects of robot-assisted gait training with supported treadmill training (BWSTT) for hemiplegic patients after stroke. **Methods** A randomized, single-blind, controlled study was performed. Forty-eight hemiplegic patients were divided randomly into a BWSTT group and a robot group with 24 in each. Both groups received routine rehabilitation training. The robot group also received robot-assisted gait training, while the BWSTT group received treadmill training in which their body weight was supported. Both groups trained 20-30 minutes daily, 5 days a week for 8 weeks in addition to their normal rehabilitation sessions. Their lower extremity functions and walking ability were assessed with the simplified Fugl-Meyer assessment (FMA) and using functional ambulation categories (FACs). Average step length, percentage of loading time on each foot and 3 min walking distance were tested using a Biodex Gait Trainer. All the assessments were administered before and 8 weeks after treatment. **Results** Both groups showed significant improvements in terms of the FMA, FACs, average step length, loading time on each foot and 3 min walking distance. The robot group, on average, showed significantly better improvements in average step length, percentage of loading time on each foot and 3 min walking distance than the BWSTT group. There was no significant difference in lower extremity function or walking ability in terms of the FMA or FACs. **Conclusions** Robot-assisted training gives better results than BWSTT in terms of improving average step length, equalizing the loading time on each foot and 3 min walking distance.

【Key words】 Lower-limb rehabilitation; Robots; Treadmill training; Walking ability; Gait

步行障碍是脑卒中患者临床常见的功能障碍之一,据统计,约有 1/3~1/2 的脑卒中患者出院后 3 个

月内仍不能独立行走^[1]。有研究表明,减重平板训练(body weight-supported treadmill training, BWSTT)能够提高患者的步行能力^[2]。但 BWSTT 训练中,各研究报道的最佳减重量、活动平板速度、训练时间、疗程等结果不尽相同;且在实施 BWSTT 训练的早期阶段,一般需要至少 2 名治疗师参与全程治疗,影响了工作效

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.011.003

基金项目:浙江省医药卫生科学研究基金(2008A153)

作者单位:314000 嘉兴,浙江省嘉兴第二医院康复医学中心

通信作者:顾旭东;Email:jxgxd@hotmail.com

率^[3]。康复机器人技术是一种运动神经康复治疗技术^[4-7],下肢康复机器人系统结合 BWSTT 训练可以改善偏瘫患者的步行能力^[1]。但是,对于下肢康复机器人系统与减重平板系统的对照研究,目前鲜见报道。本研究旨在对照比较下肢康复机器人系统和减重平板系统对脑卒中后偏瘫患者步行能力的影响。

对象与方法

一、研究对象

选择 2011 年 9 月至 2012 年 2 月在本院康复医学科住院治疗的脑卒中致偏瘫患者 48 例,纳入标准:①均符合 1995 年第四届全国脑血管疾病会议制订的诊断标准^[8];②首次发病,符合脑卒中的诊断标准,并经 CT 或 MRI 证实;③生命体征稳定,意识清楚,能配合完成治疗及测评;④有肢体功能障碍,偏瘫侧下肢 Brunnstrom 分期 $\geq$ III 期^[9],肌张力(采用改良 Ashworth 量表评级) $\leq$ 2 级^[10];⑤病程 > 6 周;⑥功能性步行分级(functional ambulation category, FAC) 评定^[9], 2 级以上;⑦入选患者均签署知情同意书。排除标准:①严重心肺功能不全,肝肾功能不全,恶性肿瘤,恶性进行性高血压;②有严重意识障碍、失语、精神症状等,影响治疗;③既往有颅脑外伤、其他颅内疾病或者脑炎等。本研究遵循的程序符合本院人体委员会制订的伦理学标准,并获得批准。

将符合上述标准的患者 48 例按入院顺序采用动态随机法将患者分为机器人组和减重组,每组 24 例,2 组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、康复治疗

2 组患者均进行早期常规康复治疗,包括功能性电刺激、神经促通技术、牵伸技术、平衡功能训练及日常生活活动能力训练。

减重组在常规康复治疗的基础上,加用电动减重装置(美国 LifeGait 公司提供的 Life GaitI 250 型)及 Gait-keeper 步态训练台进行 BWSTT,先减重至患者体重的 30%,以后酌情减至 15% 到 0%;调速范围 0.2 ~ 0.5 m/s,一般 0.4 m/s;平板坡度由 0° 开始。治疗时间从 10 min 开始,以后酌情增加至 30 min,每日 1 次,每周 5 次,连续训练 8 周。

机器人组在常规康复治疗的基础上,采用浙江省嘉兴学院附属第二医院、浙江大学邵逸夫医院、广州章

和电器共同研制开发的下肢康复机器人系统(AVATAR-02型)进行训练。通过起立床角度和起立床上绑带减重,起立床角度为 0° ~ 90°,减重比例可以实时显示,最大减重为 60 kg(设备所能提供的最大减重重量,非治疗时使用的减重重量)。通过机器人机械腿的特定模式控制髋、膝、踝关节(髋关节运动角度: -10° ~ 30°,膝关节运动角度: 0° ~ 60°,踝关节运动角度: -20° ~ 20°),进行正常运动模式下的重复运动。首先,由 1 名治疗师将患者的双下肢固定于机械腿中,然后根据患者病情,将起立床调节至一定角度,实现不同程度的减重。关节处安装传感器,实时显示患者髋膝踝关节是否有抵抗力;足底安装传感器,实时分别显示足跟与前脚掌压力。随着床体的起立,患者足底产生不同程度的压力。步行时机械腿辅助促进患侧下肢摆动,保证髋伸展,骨盆旋转,躯干正直,确保足背屈,防止膝过伸,保证两腿站立时间与步长对称。先减重至患者体重的 30%,随着步行功能的改善,以后酌情减至 15% 到 0%,最终脱离减重状态。治疗时间从 10 min 开始,以后酌情增加至 30 min,每日 1 次,每周 5 次,连续 8 周。

在训练中,如患者心率超过年龄标准化最高心率的 75%、血压超过 180/110 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) 或有不适及头晕等症状时,应及时停止训练^[1]。

三、评定方法

2 组患者均于治疗前及治疗 8 周后(治疗后)由同 1 名医师在双盲状态下对 2 组患者进行疗效评定。采用简化 Fugl-Meyer 运动功能量表(Fugl-Meyer assessment, FMA)^[11]评定下肢运动功能(总分 34 分);采用功能性步行分级(functional ambulation category, FAC)^[9]评定患者步行能力;采用美国 Biodex 公司生产的 Biodex Gait Trainer-2 步态分析系统对患者的双侧平均步长、左右侧负重时间百分比和 3 min 步行距离进行步态评定,所有患者步态评定测试 3 min。

四、统计学分析

采用 SPSS 11.5 版统计学软件进行统计学分析,数据以($\bar{x} \pm s$)表示,计量资料比较采用 t 检验,计数资料采用 χ^2 检,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

机器人组有 2 例患者未完成治疗而剔除,减重组

表 1 2 组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		偏瘫侧(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	偏瘫侧别(例)	
		男	女	左	右			脑出血	脑梗死
减重组	24	13	11	12	12	57.3 $\pm$ 10.1	27.3 $\pm$ 7.3	13	11
机器人组	24	14	10	13	11	57.4 $\pm$ 11.7	27.2 $\pm$ 7.5	12	12

有 3 例患者未完成治疗而剔除,最终完成研究的有 43 例,其中机器人组 22 例,减重组 21 例。治疗前,2 组患者的 FMA 和 FAC 评分、双侧平均步长、左右侧负重时间百分比以及 3 min 步行距离组间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2 组患者的 FMA 和 FAC 评分、步态评定双侧平均步长、左右侧负重时间百分比以及 3 min 步行距离均优于组内治疗前,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。治疗后,2 组患者的 FMA 和 FAC 评分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);而治疗后 2 组患者双侧平均步长、左右侧负重时间百分比以及 3 min 步行距离比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。详见表 2。

讨 论

偏瘫步态是脑卒中重要的临床表现之一,步行能力的恢复,是提高患者日常生活活动能力,改善其生活质量的关键^[12]。脑卒中患者由于脑功能损害,加上各种反射活动异常,形成异常的运动模式,不仅步行速度慢,而且步幅减小、健侧步长小于患侧步长、患侧负重时间短于健侧负重时间^[13]。

BWSTT 是建立在大脑功能重组和神经可塑性基础上的功能训练方法^[14],该训练将步行三要素(负重、迈步、平衡)有机结合,强调在真实步行环境中对步行各成分进行训练,患者通过不断重复练习完整步行周期中的整套复合动作,强化了中枢对下肢运动功能的控制能力,对患者恢复步行具有重要意义^[15]。BWSTT 利用特殊的悬吊装置能不同程度地减轻患者体重对其下肢的负荷,并配合电动跑步机带动患者下肢进行重复而有节律的步行练习,使支撑能力不足的患者能早期进行步行训练^[16]。

本研究中,减重组减重训练后 Fugl-Meyer 下肢运动功能及 FAC 步行能力均较治疗前有显著提高,显示 BWSTT 对偏瘫患者独立步行能力的提高有显著效果。有研究也证实,BWSTT 较传统常规康复治疗可更早重建生理步态,大部分患者逐步较快地恢复了地面行走能力,康复时间可大大缩短^[17]。

BWSTT 虽然能很好地改善偏瘫侧下肢的负重及自身平衡问题,但减重操作较为复杂,且易造成患者恐惧而加重痉挛影响训练效果^[2,18],同时对于步行时改善运动模式效果不佳,尤其是偏瘫侧下肢膝、踝关节的控制能力对 BWSTT 的影响较大。偏瘫患者小腿三头肌力量减弱、膝关节失稳、踝关节活动度差,同时下肢肌肉痉挛、失衡致使患者廓清及推进能力下降,最终导致行走功能异常^[1]。BWSTT 也有一定的局限性:①训练的劳动强度太大,需要至少 2 名治疗师协助治疗,训练持续的时间经常受人员短缺的限制;②因为训练时治疗师需要采取人体工效学上极不合理的姿势,治疗师经常遭受背痛的困扰;③传统减重活动平板训练步态模式不可重复,并且没有对患者的直接反馈^[19]。

虽然下肢康复机器人系统仍然不能提供随意运动,需要机器人牵引患者偏瘫侧下肢进行运动训练,但是在下肢康复机器人辅助被动运动训练模式下,患者偏瘫侧下肢能够适应进行正常运动模式的训练。实践表明,利用机器人系统辅助训练可以降低痉挛。Nuyens 等^[20]报道,在一定时间内患者进行高密度的重复运动可以降低痉挛;机器人辅助康复训练,利用腿部驱动步态的康复训练机器人通过牵引患者大腿和小腿协调摆动完成腿部步行动作,对提高脑卒中患者运动感觉的输入及神经功能的重塑与运动功能的恢复有十分积极的作用^[21]。

有研究证明,患者可以接受机器人辅助治疗,使用机器人对患者进行康复训练具有很好的康复治疗效果,还可提供有效的康复评价手段^[22-24]。机器人可以实时检测患者与机器人之间的相互作用力,在患者主动能力不足时提供更大的辅助,在有能力完成动作时,适当减小辅助甚至施加阻力,以便充分发挥患者残存的功能^[25-26]。本研究表明,利用下肢康复机器人辅助训练后,改善了患者下肢运动功能及步态($P < 0.05$);与减重治疗组比较,患者在下肢运动功能及步行能力方面,具有相同的效果($P > 0.05$);然而在双侧平均步长、左右侧负重时间百分比以及 3 min 步行距离方面机器人组效果优于减重组($P < 0.05$)。这可能是因为下

表 2 2 组患者治疗前、后 FMA、FAC 及步态评定比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	FMA(分)	FAC(分)	平均步长(m)		左右侧负重时间百分比(%)		3 min 步行距离(m)
				健侧	患侧	健侧	患侧	
减重组								
治疗前	24	18.92 ± 6.33	2.33 ± 0.65	0.24 ± 0.05	0.43 ± 0.04	56.55 ± 2.84	43.45 ± 2.84	102.71 ± 5.33
治疗后	21	24.30 ± 6.45 ^a	3.42 ± 0.71 ^a	0.49 ± 0.04 ^a	0.50 ± 0.02 ^a	51.82 ± 1.60 ^a	48.18 ± 1.60 ^a	168.67 ± 6.65 ^a
机器人组								
治疗前	24	19.20 ± 4.82	2.41 ± 0.67	0.25 ± 0.03	0.42 ± 0.04	56.09 ± 2.43	43.91 ± 2.43	101.29 ± 4.60
治疗后	22	26.75 ± 5.23 ^a	3.50 ± 0.74 ^a	0.52 ± 0.05 ^{ab}	0.53 ± 0.05 ^{ab}	49.64 ± 2.20 ^{ab}	50.27 ± 2.15 ^{ab}	176.12 ± 7.20 ^{ab}

注:与组内治疗前比较,^a $P < 0.05$;与减重组治疗后比较,^b $P < 0.05$

肢机器人辅助步行训练通过模拟正常的步行周期,提供了重复性的功能运动,而重复性功能运动可以改善神经损伤患者的肌肉力量和运动协调性。因为人类步态本身就是一种典型的重复性功能运动^[27-28],而重复性的功能运动可以强化外周深浅感觉输入刺激^[29]。本研究中,患者所减重量最大为患者体重的 30%,并不会减少对下肢的刺激;有研究表明,减重 20% 或 40% 时各项步态分析数据、下肢与地面之间的作用方式无明显改变^[30]。因此,通过下肢机器人训练有助于促进上运动神经元损伤患者步行功能恢复^[31],从而减少健侧和患侧步幅差、提高步态对称性和步行的速度。

下肢康复机器人系统可以增加训练的可重复性,延长训练时间,减少人力成本,1 名治疗师可以同时训练多名患者;还可以帮助治疗师对康复效果进行观察、评价和识别异常,为患者的功能恢复提供适当的治疗^[19]。本研究显示,下肢康复机器人系统训练可以取得与 BWSTT 相似的效果,在某些方面甚至优于 BWSTT。本研究由于样本数量相对较少且缺乏长期的随访观察,因此,对于下肢康复机器人的辅助治疗,还有待于进行更深入的研究。

参 考 文 献

- [1] 顾旭东,吴华,李建华,等. 下肢康复机器人系统结合减重平板训练对脑卒中偏瘫患者步行能力的影响. 中华物理医学与康复杂志,2011,33:447-450.
- [2] 励建安. 减重训练的研究进展. 中华物理医学与康复杂志,2002,24:759-761.
- [3] 王文清,晁志军,柴叶红. 减重步行训练对脑卒中偏瘫患者步行能力的影响. 中华物理医学与康复杂志,2008,30:49-52.
- [4] Colombo R, Pisano F, Micera S, et al. Robotic techniques for upper limb evaluation and rehabilitation of stroke patients. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2005,13:311-324.
- [5] Hornby TG, Campbell DD, Kahn JH. Enhanced gait-related improvements after therapist-versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke: a randomized controlled study. Stroke, 2008,39:1786-1792.
- [6] Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. J Neuroeng Rehabil,2009,12:18-22.
- [7] 吴涛,江迪锦,许志生,等. 下肢辅助机器人训练在脑卒中患者康复中的应用. 中华物理医学与康复杂志,2011,33:155-157.
- [8] 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. 中华神经科杂志,1996,29:379-380.
- [9] 吴华,李岩,顾旭东,等. 功率自行车运动训练对脑卒中偏瘫患者下肢运动能力及步行能力的影响. 中华物理医学与康复杂志,2011,33:599-601.
- [10] 陈文君,李建华,寿依群,等. 表面肌电生物反馈治疗对偏瘫患者上肢功能的影响. 中华物理医学与康复杂志,2008,30:548-550.
- [11] 王玉龙. 康复评定. 北京:人民卫生出版社,2000:81-185.
- [12] Neckel ND, Blonien N, Nichols D, et al. Abnormal joint torque patterns exhibited by chronic stroke subjects while walking with a prescribed physiological gait pattern. J Neuroeng Rehabil,2008,5:19.
- [13] 李奎,付奕,李鑫,等. 稳定极限训练的踝关节策略对脑卒中恢复期患者平衡及步态的影响. 中华物理医学与康复杂志,2012,34:113-115.
- [14] 王文清,崔志新,李艳双,等. 减重步行训练改善老年脑梗死偏瘫患者步行能力的局部脑血流灌注显像研究. 中华物理医学与康复杂志,2010,32:764-769.
- [15] 钟杰,鲁凤琴,王高岸. 减重步行训练对脑卒中患者下肢运动功能的影响. 中华物理医学与康复杂志,2008,30:489-490.
- [16] 潘翠环,罗爱华,徐恩. 减重步行训练对脑梗死偏瘫患者康复疗效的影响. 中华物理医学与康复杂志,2007,29:676-678.
- [17] Laufer Y, Dickstein R, Chefez Y, et al. The effect of treadmill training on the ambulation of stroke survivors in the early stages of rehabilitation: a randomized study. J Rehabil Res Dev,2001,38:69-78.
- [18] 徐伟,范金涛,张琳瑛,等. 水中运动训练与减重步行训练对脑卒中偏瘫患者步行能力的影响. 中华物理医学与康复杂志,2011,23:469-470.
- [19] 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. 中国组织工程学研究及临床康复杂志,2010,14:6604-6607.
- [20] Nuyens GE, De Weerd WJ, Spaepen AJ Jr, et al. Reduction of spastic hypertonia during repeated passive knee movements in stroke patients. Arch Phys Med Rehabil, 2002, 83:930-935.
- [21] Reinkensmeyer DJ, Emken JL, Cramer SC. Robotics, motor learning and neurologic recovery. Annu Rev Biomed Eng,2004,6:497-525.
- [22] Stein J. Motor recovery strategies after stroke. Top Stroke Rehabil, 2004,11:12-22.
- [23] Lum PS, Burgar CG, Shor PC, et al. Robot-assisted movement training compared with conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke. Arch Phys Med Rehabil,2002,83:952-959.
- [24] Hesse S, Schmidt H, Wemer C, et al. Upper and lower extremity robotic devices for rehabilitation and for studying motor control. Curr Opin Neurol,2003,16:705-710.
- [25] Mayr A, Kofler M, Quirbach E, et al. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. Neurorehabil Neural Repair,2007,21:307-314.
- [26] Schwartz I, Sajin A, Fisher I, et al. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. PMR,2009,11:516-523.
- [27] Barbeau H, Rossignol S. Enhancement of locomotor recovery following spinal cord injury. Curr Opin Neurol. 1994,7:517-524.
- [28] Barbeau H, Ladouceur M, Norman KE, et al. Walking after spinal cord injury: Evaluation, treatment, and functional recovery. Arch Phys Med Rehabil,1999,80:225-235.
- [29] Muller F, Heller S, Krewer C, et al. Effective gait training on the treadmill and the Lokomat: comparison of achievable training time and speed. Neurol Rehabil,2004,4:27-31.
- [30] 霍速,纪树荣. 减重步行训练的临床应用. 中国康复理论与实践,2003,9:115-118.
- [31] Aoyagi D, Ichinose WE, Harkema SJ. A robot and control algorithm that can synchronously assist in naturalistic motion during body-weight-supported gait training following neurologic injury. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng,2007,15:387-400.

(修回日期:2012-09-03)

(本文编辑:阮仕衡)