

# 下肢康复机器人训练对脑卒中患者心肺功能的影响

胡安龙 顾旭东 吴华 傅建明 姚云海 李岩 李辉

**【摘要】 目的** 探讨下肢康复机器人训练对亚急性期脑卒中患者的安全性及改善心肺功能的疗效。**方法** 将亚急性期脑卒中偏瘫患者 32 例按随机数字表法随机分为机器人组(16 例)和对照组(16 例)。2 组患者均给予常规药物对症治疗和常规康复治疗,每日训练 120 min,每周治疗 5 d,连续治疗 8 周。机器人组在以上治疗方案的基础上增加下肢康复机器人训练,每日训练 30 min,每周训练 5 d,连续训练 8 周。于治疗前和治疗 8 周后(治疗后)分别测试 2 组患者的最大耗氧量( $VO_{2\max}$ )、心率、血压、每分通气量( $V_E$ )和自我感觉疲劳程度(RPE)以评价下肢康复机器人训练对患者心肺功能的疗效。**结果** 治疗后,2 组患者心率、血压、 $V_E$  和 RPE 组间比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。治疗后,机器人组的  $VO_{2\max}$  为每分钟( $21.1\pm 5.2$ )ml/kg 体重,显著高于对照组治疗后的每分钟( $16.1\pm 5.3$ )ml/kg 体重,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。**结论** 下肢康复机器人训练对于亚急性期脑卒中偏瘫患者是安全的,且对患者的心肺功能有积极的作用。

**【关键词】** 下肢康复机器人; 脑卒中; 最大耗氧量; 心肺功能

**基金项目:**浙江省科技厅公益技术项目(LGF18H170006);嘉兴市科技计划项目(2017AY33033)

**The effects of robot-assisted lower-limb training on stroke survivors' cardiopulmonary function** Hu Anlong, Gu Xudong, Wu Hua, Fu Jianming, Yao Yunhai, Li Yan, Li Hui. Rehabilitation Medical Center, Jiaxing Second Hospital, Zhejiang 314000, China

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

**【Abstract】 Objective** To investigate the safety of training using a lower-limb rehabilitation robot and its effectiveness in terms of stroke survivors' cardiopulmonary function. **Methods** Thirty-two hemiplegic stroke survivors were randomly divided into a robot group and a control group, each of 16. Both groups received conventional rehabilitation medication and training, 120 min/d, 5 d/week for 8 weeks. The robot group was additionally trained with a Flexbot robotic gait training apparatus for 30 min/d, 5 d/week for the same 8 weeks. The subjects' maximum oxygen consumption ( $VO_{2\max}$ ), heart rate, blood pressure, ventilation ( $VE$ ) and rate of perceived exertion (RPE) were quantified before and after the training. **Results** After the 8 weeks there was no significant difference in average heart rate, blood pressure,  $VE$  or RPE between the two groups. The average  $VO_{2\max}$  of the robot group was, however, significantly higher than that of the control group. **Conclusion** Robotic gait training is safe and can improve the cardiopulmonary function of stroke survivors.

**【Key words】** Lower limb rehabilitation; Robots; Stroke; Oxygen consumption; Cardiopulmonary function

**Fund program:** Public Technology Project of the Science and Technology Department of Zhejiang Province (LGF18H170006), Jiaxing science and technology project(2017AY33033)

脑卒中是临床常见的心脑血管疾病之一,患者除表现为偏瘫外,还伴随一些基础性疾病(如心脏病、高血压、高血脂、肥胖和糖尿病等),患者易出现心功能下降、呼吸系统感染和耐力差等并发症<sup>[1]</sup>。基于脑卒中患者运动功能障碍严重,多种危险因素并存,如何提高患者的心肺功能以及减少肺部感染是临床康复中急需解决的问题。

研究证实,下肢康复机器人可根据患者的个体情况精确地调整减重比例,并通过特定的引导力帮助患者以正确的步行模式进行定向功能训练,不仅可以实现定时、定量和可重复训练的目标,还可强化患者外周深、浅感觉输入刺激,有效地促进偏瘫患者步行能力的恢复<sup>[2-8]</sup>。还有研究发现,下肢康复机器人可根据患者的个体情况,提供不同的训练模式,包括被动运动模式、主动辅助运动模式、抗阻运动模式以及双手镜像运动模式等,同时还可保证步行训练过程的一致性和持续性,实现训练方案参数化<sup>[9-10]</sup>。研究表明,下肢康复

机器人在促进脑卒中患者步行功能方面具有一定的优势,但目前鲜见其对脑卒中后亚急性期偏瘫患者的心肺功能的疗效以及安全性方面的相关研究<sup>[11]</sup>。本研究旨在探讨下肢康复机器人对亚急性期脑卒中偏瘫患者的安全性以及心肺功能的疗效,以期为临床亚急性期脑卒中偏瘫患者心肺功能的康复提供借鉴。

## 对象与方法

### 一、研究对象及分组

入选标准:①符合第 4 届全国脑血管病会议通过的脑卒中诊断标准<sup>[12]</sup>,并经头颅 CT 或 MRI 检查证实;②初次脑卒中发病 1 个月以内的偏瘫患者,生命体征稳定,无心肌梗死、心绞痛等;③单侧肢体运动功能障碍;④年龄 45~75 岁;⑤所有患者均自愿参加,签署知情同意书。

排除标准:①意识障碍;②严重感染疾病;③伴严重心血管系统疾病,如心力衰竭,不稳定性心绞痛等;④髋、膝、踝关节僵硬;⑤有精神病史;⑥有严重的下肢血管疾病或恶性肿瘤。

选取 2015 年 6 月至 2016 年 5 月在浙江省嘉兴第二医院康复医学中心住院且符合上述标准的脑卒中偏瘫患者 32 例,其中男 18 例,女 14 例;平均年龄(62.97±8.28)岁;脑出血 13 例,脑梗死 19 例;左侧偏瘫 17 例,右侧 15 例;平均病程(18.68±5.21)d。按随机数字表法将 32 例患者分为机器人组和对照组,每组患者 16 例,2 组患者的性别、年龄、身高、体重、病程、偏瘫侧别、高血压、糖尿病、心脏病等一般资料经统计学分析,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ) (表 1)。本研究经嘉兴第二医院伦理委员会批准。

表 1 2 组患者一般资料比较

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$ )	平均体重 (kg, $\bar{x}\pm s$ )
		男	女		
机器人组	16	9	7	61.91±7.92	78.42±8.73
对照组	16	10	6	63.63±6.19	79.65±9.28

  

组别	例数	平均病程 (d, $\bar{x}\pm s$ )	偏瘫侧别(例)		高血压 (例)	糖尿病 (例)	心脏病 (例)
			左	右			
机器人组	16	19.01±5.32	9	7	13	12	8
对照组	16	18.89±5.24	8	8	14	11	9

### 二、训练方法

2 组患者均接受常规的药物对症治疗和常规康复治疗(包括关节活动度训练、转移训练、躯干、髋关节、膝关节控制训练、平衡功能训练等),每次训练 120 min,每周训练 5 d,连续训练 8 周。

机器人组在以上常规的药物对症治疗和常规康复治疗的基础上增加 Flexbot 下肢康复机器人训练(浙江省嘉兴市第二医院、浙江大学附属邵逸夫医院、广州章和电气设备有限公司共同研发)。训练前先测量患者

的腿长,然后调整绑带的尺寸和机器人装置。运动处方:第 1 周至第 3 周减重为体重的 50%,引导力为 100%,步行速度为 1.2 km/h;第 4 周至第 6 周:减重为体重的 40%,引导力为 70%,步行速度为 1.6 km/h;第 7 周至第 8 周:减重为体重的 30%,引导力为 50%,步行速度为 2.0 km/h。每次训练 30 min,每周训练 5 d,连续 8 周<sup>[9-10]</sup>。下肢康复机器人训练由 1~2 名具有下肢康复机器人训练资质的物理治疗师完成,在训练中如患者的心率超过年龄最高心率的 75%、血压超过 180/110 mmHg、或有头晕、恶心和面色变白等症状时,需即刻停止训练。

### 三、评估指标

分别于治疗前和治疗 8 周后(治疗后),由同一位经过培训的医师按照美国运动医学会标准测试流程<sup>[13]</sup>,采用下肢功能自行车和 K4b<sup>2</sup> 肺功能仪(Cosmed,意大利产)对 2 组患者进行心肺功能测试,测试时要求患者坐位,记录患者的最大耗氧量(oxygen consumption,  $VO_{2\max}$ )、心率、血压、每分钟通气量(minute ventilation,  $V_E$ )和主观感觉疲劳程度表(ratings of perceived exertion, RPE),以评价下肢康复机器人对患者心肺功能的疗效<sup>[14-15]</sup>。RPE 是一种主观衡量运动时感觉的方法,要求受试者根据自我感觉的疲劳程度进行评估,分数 6~20 分,得分越高代表受试者越疲劳<sup>[15]</sup>。

### 四、统计学分析方法

采用 SPSS 18.0 版统计学软件进行统计学分析。计量资料以( $\bar{x}\pm s$ )表示,组内比较采用  $t$  检验;组间比较采用重复测量方差分析(repeated-measure analysis of variance, ANOVA)。以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

治疗后,2 组患者心率、血压、 $V_E$  和 RPE 组间比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),而机器人组的  $VO_{2\max}$  显著高于组内治疗前和对照组治疗后,且差异有统计学意义( $P<0.05$ ),详见表 2。

## 讨 论

本研究结果显示,采用下肢康复机器人对亚急性期脑卒中偏瘫患者进行早期的功能训练 8 周后,机器人组的  $VO_{2\max}$  显著高于组内治疗前和对照组治疗后,差异有统计学意义( $P<0.05$ ),提示下肢康复机器人训练可改善亚急性期脑卒中偏瘫患者的心肺功能。据国外研究报道<sup>[17]</sup>,亚急性期脑卒中患者的有氧代谢能力通常为同年龄段平均水平的 54%~72%<sup>[16]</sup>,这可能与患者有氧运动能力的下降有关。而脑卒中患者心肺功能的减退会伴随整个康复过程,严重影响偏瘫患者运

表 2 2 组患者治疗前后的心肺功能指标比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	安静心率 (次/分)	最大心率 (次/分)	收缩压 (mmHg)	舒张压 (mmHg)	RPE	V <sub>E</sub> (L/min)
机器人组								
治疗前	16	14.2±5.3	76.8±7.9	124±11	154±9	86±11	14.4±0.5	47.0±8.6
治疗后	16	21.1±5.2 <sup>ab</sup>	77.2±7.1	126±10	158±10	87±10	14.5±0.7	48.5±9.5
对照组								
治疗前	16	15.5±4.3	75.9±6.6	120±15	159±14	88±12	14.9±0.4	45.2±9.7
治疗后	16	16.1±5.3	74.8±7.4	122±12	160±11	89±12	14.5±0.6	47.9±9.6

注:与组内治疗前比较,<sup>a</sup> $P<0.05$

动功能的恢复。运动能力的提高可提高偏瘫患者的存活率,心肺功能的改善与偏瘫患者的预后密切相关<sup>[18]</sup>。

研究证实,有氧能力的提高对脑卒中患者的康复具有积极作用<sup>[19-25]</sup>。很多方式如跑台训练、减重跑台训练、功率自行车等有氧训练方式,对3个月内的早期偏瘫患者进行6周以上的训练后有氧工作能力显著提高<sup>[26]</sup>。还有研究发现,有氧代谢能力的提高可提高患者的步行速度和距离,减少步行依赖性<sup>[27-29]</sup>。Krewer等<sup>[30]</sup>研究发现,脑卒中患者进行下肢康复机器人训练时,身体减重比例从100%开始,逐渐减到30%能显著提高耗氧量比率;该研究还指出,运动强度是治疗是否有效最重要的变量之一,下肢康复机器人训练的强度可通过3种方法调节,包括身体减重的比例、引导力的调整和跑步平台速度。本研究仅分为实验组和对照组,目前的数据难以得出哪一种运动强度更适合亚急性期脑卒中偏瘫患者,这还有待本课题组进一步的研究。

本研究治疗8周后,2组患者心率、血压、V<sub>E</sub>和RPE与组内治疗后比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),提示下肢康复机器人训练不会加重亚急性期脑卒中偏瘫患者心肺系统的负担,即亚急性期脑卒中偏瘫患者可以进行下肢康复机器人训练。需要注意的是,脑卒中偏瘫患者还会伴随一些基础性疾病,如心脏病、高血压、高血脂、肥胖和糖尿病等,再加上患者容易出现心功能下降、呼吸系统感染和耐力差等并发症,所以在临床上需要对每一例患者进行风险筛查后再进行下肢康复机器人训练<sup>[1]</sup>。训练期间,建议由专业培训的治疗师为患者进行训练和指导。

综上所述,在常规康复治疗的基础上增加下肢康复机器人训练对亚急性期脑卒中偏瘫患者的心肺功能有积极作用。当然,本研究仍存在不足,包括样本量较小、未测试患者双下肢在训练期间的血液循环速度、也未在下肢康复机器人训练期间测试患者的肺通气 and 换气等动态肺功能指标,这些都有待于今后进一步研究来补充。

## 参 考 文 献

- [1] Bovim MR, Askim T, Lydersen S, et al. Complications in the first week after stroke: a 10-year comparison [J]. BMC Neurol, 2016, 16(1): 133. DOI: 10.1186/s12883-016-0654-8.
- [2] Husemann B, Müller F, Krewer C, et al. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study [J]. Stroke, 2007, 38(2): 349-354. DOI: 10.1161/01.STR.0000254607.48765.cb.
- [3] 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[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2011, 33(6): 447-450. doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.06.014.
- [4] 刘丹, 李建民, 赵雅宁, 等. Lokomat 康复训练机器人对脑卒中患者步态及下肢关节角度的影响[J]. 中国老年学杂志, 2012, 32(20): 4371-4372. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2012.20.005.
- [5] 赵雅宁, 郝正玮, 李建民, 等. 下肢康复训练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. doi: 10.3969/j.issn.1001-1242.2012.11.007.
- [6] 刘华卫, 王惠芳, 朱锦杰, 等. 减重步行机器人训练对脑卒中患者步行能力的影响[J]. 中国康复, 2013, 28(1): 9-11. DOI: 10.3870/zgkf.2013.01.003.
- [7] 刘惠林, 吕振存. 多体位智能化下肢康复机器人对脑卒中患者下肢运动功能的影响[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(8): 722-724. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2013.08.003.
- [8] Wu M, Landry JM, Kim J, et al. Robotic resistance/assistance training improves locomotor function in individuals poststroke: a randomized controlled study [J]. Arch Phys Med Rehabil. 2014; 95(5): 799-806. DOI: 10.1016/j.apmr.2013.12.021.
- [9] 郭佳宝, 杨雨洁, 岳雨珊, 等. 机器人辅助训练改善脑卒中患者下肢功能障碍的系统评价[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(8): 701-708. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2013.08.001.
- [10] 毕胜, 季林红, 纪树荣, 等. 依据神经康复原则应用机器人对脑卒中和脑外伤患者上肢运动功能障碍的康复训练[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2006, 28(8): 523-527.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] American College of Sports Medicine. ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription [M]. 5th ed. Balti-

- more: Lippincott Williams & Wilkins, 2006; 103-102.
- [14] Tang A, Sibley KM, Thomas SG, et al. Maximal exercise test results in subacute stroke [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87(8): 1100-1105.
- [15] Tang A, Sibley KM, Thomas SG, et al. Effects of an aerobic exercise program on aerobic capacity, spatiotemporal gait parameters, and functional capacity in subacute stroke [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2009, 23(4): 398-406.
- [16] Mackay-Lyons MJ, Makrides L. Longitudinal changes in exercise capacity after stroke [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2004, 85(10): 1608-1612.
- [17] Tomczak CR, Jelani A, HaennelRG, et al. Cardiac reserve and pulmonary gas exchange kinetics in patients with stroke [J]. Stroke, 2008, 39(11): 3102-3106.
- [18] Morris CK, Ueshima K, Kawaguchi T, et al. The prognostic value of exercise capacity: a review of the literature [J]. Am Heart J, 1991, 122(5): 1423-1431.
- [19] Saunders DH, Greig CA, Mead GE, et al. Physical fitness training for stroke patients [J]. Cochrane Database Syst Rev. 2016; 3(4): CD003316. DOI:10.1002/14651858.CD003316.pub6.
- [20] RimmerJH, Wang E. Aerobic exercise training in stroke survivors [J]. Top Stroke Rehabil, 2005, 12(1): 17-30.
- [21] Katz-Leurer M, Shochina M, et al. The influence of early aerobic training on the functional capacity in patients with cerebrovascular accident at the subacute stage [J]. Arch Phys Med Rehabil, 2003, 84(11): 1609-1614.
- [22] Booth FW, Thomason DB. Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: perspectives of various models [J]. Physiol Rev, 1991, 71(2): 541-585.
- [23] Williamson JW. The relevance of central command for the neural cardiovascular control of exercise [J]. Exp Physiol, 2010, 95(11): 1043-1048. DOI:10.1113/expphysiol.2009.051870.
- [24] Michelini LC, Stern JE. Exercise-induced neuronal plasticity in central autonomic networks: role in cardiovascular control [J]. Exp Physiol, 2009, 94(9): 947-960.
- [25] Michelini LC. Oxytocin in the NTS. A new modulator of cardiovascular control during exercise [J]. Ann N Y Acad Sci, 2001, 940(1): 206-220.
- [26] 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(5): 1786-1792.
- [27] Gordon NF, Gulanic M, Costa F, et al. Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors [J]. Circulation, 2004, 109(16): 2031-2041.
- [28] Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke [J]. J NeuroengRehabil, 2009, 6(1): 18.
- [29] Chang WH, Kim MS, Huh JP, et al. Effects of robot-assisted gait training on cardiopulmonary fitness in subacute stroke patients: a randomized controlled study [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2012, 26(4): 318-324. DOI:10.1177/1545968311408916.
- [30] Krewer C, Muller F, Husemann B, et al. The influence of different Lokomat walking conditions on the energy expenditure of hemiparetic patients and healthy subjects [J]. Gait Posture, 2007, 26(3): 372-377.

(修回日期:2018-01-16)

(本文编辑:阮仕衡)

· 外刊撷英 ·

## Stroke induced systolic dysfunction

**BACKGROUND AND OBJECTIVE** Previous studies have demonstrated that ischemic stroke (IS) is associated with changes in autonomic cardiac dynamics, elevated cardiac enzymes and plasma catecholamines. This longitudinal study, (the Stroke-Induced Cardiac Failure in Mice and Men (SICFAIL)), assessed the effect of ischemic stroke on cardiac function in mice and the effect of beta blockers on cardiac function.

**METHODS** In an animal model, mice underwent induced IS at either the left or the right middle cerebral artery. Cardiac function was assessed by serial transthoracic echocardiography and hemodynamic measurements for eight weeks post-surgery. Blood was collected to assess levels of brain natriuretic protein (BNP), epinephrine, norepinephrine, tumor necrosis factor-alpha (TNF- $\alpha$ ), and cortisol levels. In a follow-up, the animals were treated with metoprolol, a selective beta-1 blocker.

**RESULTS** After a focal, right (but not left) hemispheric IS, the mice showed a significant change in LV ejection fraction ( $P < 0.05$ ) and an increase in heart rate ( $P < 0.01$ ). In addition, the IS led to an upregulation of BNP ( $P < 0.01$ ) and TNF-alpha ( $P < 0.05$ ) expression. Eight weeks after surgery, the IS mice had increased levels of plasma norepinephrine, epinephrine and cortisol, as compared with the control and sham surgery mice ( $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ). In a follow-up study, as compared to placebo treated controls those treated with metoprolol had a significant decrease in heart rate ( $P < 0.05$ ), end-systolic volume ( $P < 0.05$ ), end-diastolic volume ( $P < 0.001$ ) as well as BNP ( $P < 0.01$ ), TNF-alpha ( $P < 0.05$ ), and MMP-9 gene expression ( $P < 0.05$ ).

**CONCLUSION** This animal study found that right ischemic stroke, leading to the development of chronic systolic dysfunction, driven by increased sympathetic activity, which was suppressed by beta blockade.

【摘自: Bieber M, Werner RA, Tanai E, et al. Stroke-induced, chronic, systolic dysfunction driven by sympathetic overactivity. Ann Neurol, 2017, 82(5): 729-743.】