

· 临床研究 ·

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

吴华¹ 顾旭东¹ 徐从英¹ 郭帅² 嵇建成² 申纯太³ 傅建明¹

¹嘉兴市第二医院康复医学中心 314000; ²上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200444;

³上海电气集团中央研究院, 上海 200070

通信作者: 顾旭东, Email: jxgxd@hotmail.com

【摘要】 目的 观察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。**方法** 选取嘉兴市第二医院 2016 年 5 月至 2017 年 2 月脑卒中后偏瘫患者 30 例, 按随机数字表法分为治疗组(15 例)和对照组(15 例)。2 组患者均接受常规临床药物和常规康复治疗, 治疗组患者在以上治疗方案的基础上增加步行辅助机器人训练, 每日 1 次, 每次 20 min。于治疗前、治疗 8 周后(治疗后)对 2 组患者进行骨盆运动评估、10 m 最大步行速度(MWS)测试、移动能力评定(TUGT)和功能性步行分级(FAC)评估。**结果** 治疗后, 2 组患者的侧向位移、高度位移、旋转、侧倾角度与组内治疗前比较, 差异均有统计学意义($P<0.05$), 且治疗组上述各项指标均优于对照组治疗后, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。治疗后, 2 组患者的 MWS、TUGT、FAC 与组内治疗前比较, 差异均有统计学意义($P<0.05$), 且治疗组治疗后的 MWS 和 TUGT 分别为 (38.7 ± 5.2) m/min 和 (21.5 ± 10.7) s, 亦显著优于对照组治疗后, 差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 机器人辅助步行训练可更有效地改善脑卒中偏瘫患者的骨盆控制能力和步行功能。

【关键词】 康复机器人; 脑卒中; 骨盆运动; 步行功能

基金项目: 国家自然科学基金(61573234); 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.0254-1424.2019.03.003

Robot-assisted gait training improves the pelvis control and walking function of hemiplegic stroke survivors

Wu Hua¹, Gu Xudong¹, Xu Congying¹, Guo Shuai², Ji Jiancheng², Shen Chunta³, Fu Jianming¹

¹The Center for Rehabilitation, The Second Hospital of Jiaxing, Jiaxing 314000, China; ²Department of Electromechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200444, China; ³The Central Research Institute of the Shanghai Electric Group, Shanghai 200070, China

Corresponding author: Gu Xudong, Email: jxgxd@hotmail.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of robot-assisted gait training on pelvis kinematics and the walking function of hemiplegic stroke survivors. **Methods** Thirty stroke survivors with hemiplegia were randomly divided into a treatment group and a control group, each of 15. Both groups were given routine clinical medication and rehabilitation training, while the treatment group was additionally provided with 20 minutes of robot-assisted gait training a day, 6 d/wk for 8 weeks. Before and after the treatment, all of the patients' pelvis kinematics were assessed using 10 m walking speed (MWS), the timed up and go test (TUGT) and functional ambulation categorization (FAC). **Results** Before the treatment there were no significant differences between the two group in any of the measurements. After the treatment, significant improvement was observed in both groups in the vertical displacement and rotation and tilt angles of the pelvis while walking, with significantly more improvement in the treatment group than in the control group. There was also significant improvement in the average walking speed, TUGT time and FAC score of both groups, with significantly more improvement in the treatment group. **Conclusion** Robot-assisted gait training can significantly improve the pelvis control and walking ability of hemiplegic stroke survivors.

【Key words】 Robotics; Stroke; Pelvis kinematics; Walking

Fund program: The National Natural Science Foundation(grant 61573234); A Zhejiang Science and Technology Department public technology applied research project (no. LGF18H170006); A Jiaxing science and technology project (no. 2017AY33033)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.03.003

人类行走过程中,骨盆发挥着重要的平衡协调作用。脑卒中后偏瘫患者步行时,骨盆会产生非正常的运动轨迹,可直接影响到患者的步态。根据神经易化技术原理,强化骨盆的控制能力可促进下肢的运动功能,改善身体两侧的平衡能力,加快偏瘫患者的康复效率^[1]。

目前,应用于临床的下肢康复机器人可根据驱动方式分为腿部驱动康复机器人和足部驱动康复机器人,腿部驱动机器人以 Lokomat 和 AutoAmbulator 等为代表;足底驱动康复机器人主要以 Lokohelp、LOPEZ、ALEX、ARTHUS 等康复机器人为代表^[2]。尽管国内外许多研究都证实,康复机器人训练可改善脑卒中患者的步行能力,但其在临床应用时仍存在一定的局限性,如机器人设备对患者的躯干和髋部都有一定程度的限制,影响患者躯干和骨盆的活动范围和活动方向,同时也会减少患者在保持平衡和稳定姿势的过程中一些肌肉应有的自主活动^[3-5]。本研究旨在观察步行辅助机器人对脑卒中患者的骨盆控制能力和步行功能的影响,以期为下肢康复机器人在脑卒中后偏瘫患者临床康复中的应用提供借鉴。

对象与方法

一、一般资料及分组

纳入标准:①所有患者均经头颅 CT 或 MRI 检查确诊为脑卒中,符合全国第四届脑血管病学术会议制定的诊断标准^[6],且均为首次发病;②患者健侧肢体活动正常,一侧肢体偏瘫;③病程≤3 个月;④神志清楚,生命体征稳定;⑤年龄 45~75 岁;⑥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;⑦有步行功能障碍,在 1 人帮助下或拄拐杖可站立并至少可步行 10 m 以上;⑧患者及家属均签署知情同意书。

排除标准:①小脑或脑干梗死;②下肢深静脉血栓;③合并有有心、肺、肝、肾等严重疾病、颅脑外伤、肿瘤;④下肢骨折或其它限制下肢运动的骨关节病;⑤血糖血压控制不稳定的患者;⑥患者身高≤150 cm 或≥180 cm(因为骨盆辅助式机器人移动臂的上、下移动有一定的范围限制)。

选取 2016 年 5 月至 2017 年 2 月在嘉兴市第二医院康复医学中心住院接受治疗且符合上述标准的脑卒中偏瘫患者 30 例,按随机数字表法将其分为治疗组和对照组,每组患者 15 例,本研究经嘉兴市第二医院伦理委员会核实批准。2 组患者的性别、平均年龄、平均病程、偏瘫侧、病变性质等一般资料组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),详见表 1。

二、康复治疗方法

表 1 2 组患者一般资料					
组别	例数	性别(例)		偏瘫侧(例)	
		男	女	左	右
治疗组	15	10	5	9	6
对照组	15	9	6	11	4

组别	例数	平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (d, $\bar{x}\pm s$)	病变性质(例)	
				脑出血	脑梗死
治疗组	15	56±12	28±6	11	4
对照组	15	58±13	30±7	10	5

2 组患者均接受常规的临床药物治疗,包括控制血压、血糖、促进脑代谢、营养神经等,并给予常规康复治疗,康复训练包括 Bobath 技术、Brunnstrom 技术、运动再学习技术(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)。以上训练每日 2 次,每次 45 min。

治疗组患者在以上治疗方案的基础上骨盆处穿配由上海大学、上海电气研究中心、嘉兴第二医院共同研制开发的康复机器人系统(Natural gait 型)。该型机器人集运动平板、骨盆控制、数据传感和记录于一体,主要是通过腰部后方的机械臂实现控制,其中集成传感器和伺服电机用于减重以及各个方向的控制(可调范围为骨盆左右 8 cm,旋转 35°,侧倾 30°,高度 95~126 cm),同时配合 H/P/Cosmos 运动平板(图 1)。将患者用 Biodex 腰带绑定于机械臂操作台上,进行站立和平台步行训练。机器人拥有平衡和步行基础训练模式以及进阶训练模式,可进行站立训练、定速行走、抗阻行走、跟随行走、跨越障碍、斜坡行走等。训练过程中根据患者实际情况,电脑控制机械臂可提供患者保护和减重支持量,选择合适的运动模式、步行速度、平台倾斜度等。因该机器人以骨盆支撑方式减重,故可使躯干、骨盆及下肢获得充分的运动自由度和保护,让全身参与平衡,形成自然步态。步行辅助机器人训练每日 1 次,每次 20 min。在训练过程中,如患者心率超过年龄标准化最高心率的 75%或有其他不适时,应立刻停止训练。



图 1 步行康复机器人系统

三、评定方法
于治疗前、治疗 8 周后(治疗后)对 2 组患者进行

骨盆运动评估和步行功能评估,包括 10 m 最大步行速度(10m maximum walking speed, MWS)测试、移动能力评定和功能性步行分级(functional ambulation category, FAC)评估。

1. 骨盆运动评估:采用步行辅助机器人机械臂测试骨盆运动轨迹,测试前患者适应系统 10 min,测试记录 1 min,取骨盆侧向、高度位移平均距离,骨盆旋转、侧倾变化平均角度。

2. MWS 测试:标记长度为 14 m 的走道,要求患者独立以最大步行速度的方式步行,除去头尾各 2 m,取患者走中间 10 m 所需时间和步数,测试 3 次取平均值,测试间隔患者可以休息^[7]。

3. 移动能力评定:采用起立-行走计时测试(timed up and go test, TUGT),记录患者座椅上由坐到站,向前步行 3 m,转身走回起点,再坐回到椅子上所需时间,共测试 3 次,取平均值^[7]。

4. FAC 评估^[8]:该量表用以评定患者的步行能力,辅助步行 FAC 评定 ≤ 2 级,独立步行 FAC 评定 ≥ 3 级,由同一位医生完成所有评定。

四、统计学分析

本研究所得数据以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 15.0 版统计学软件进行处理,计量资料比较采用 t 检验,计数资料比较采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、2 组患者治疗前、后骨盆运动学比较

治疗前,2 组患者骨盆侧向位移、高度位移、旋转、侧倾角度组间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2 组患者的侧向位移、高度位移、旋转、侧倾角度与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),且治疗组治疗后上述各项指标均优于对照组治疗后,差异均有统计学意义($P < 0.05$),详见表 2。

表 2 2 组患者治疗前、后骨盆运动学比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	侧向位移 (cm)	高度位移 (cm)	旋转($^{\circ}$)	侧倾($^{\circ}$)
治疗组					
治疗前	15	78.4 $\pm$ 9.6	65.3 $\pm$ 10.4	2.8 $\pm$ 1.2	3.7 $\pm$ 1.2
治疗后	15	50.7 $\pm$ 5.7 ^{ab}	40.5 $\pm$ 7.3 ^{ab}	1.5 $\pm$ 0.7 ^{ab}	1.8 $\pm$ 0.7 ^{ab}
对照组					
治疗前	15	72.7 $\pm$ 3.9	56.6 $\pm$ 14.2	3.4 $\pm$ 1.3	4.0 $\pm$ 0.9
治疗后	15	61.8 $\pm$ 5.7 ^a	47.2 $\pm$ 9.6 ^a	2.3 $\pm$ 0.8 ^a	2.9 $\pm$ 0.5 ^a

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

二、2 组患者治疗前、后步行功能比较

治疗前,2 组患者的 MWS、TUGT、FAC 组间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,2 组患者的 MWS、TUGT、FAC 与组内治疗前比较,差异均有统计

学意义($P < 0.05$),且治疗组治疗后的 MWS 和 TUGT 亦显著优于对照组治疗后,差异均有统计学意义($P < 0.05$),但治疗组治疗后的 FAC 评级与对照组治疗后比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),详见表 3。

表 3 2 组患者治疗前、后步行功能比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	MWS(m/min)	TUGT(s)	FAC(级)
治疗组	15			
治疗前		78.4 $\pm$ 9.6	32.8 $\pm$ 11.2	2.4 $\pm$ 1.1
治疗后		38.7 $\pm$ 5.2 ^{ab}	21.5 $\pm$ 10.7 ^{ab}	4.2 $\pm$ 0.7 ^a
对照组	15			
治疗前		72.7 $\pm$ 3.9	35.4 $\pm$ 10.3	2.1 $\pm$ 1.3
治疗后		47.8 $\pm$ 6.7 ^a	26.3 $\pm$ 0.8 ^a	3.8 $\pm$ 0.9 ^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

本研究结果显示,治疗组患者在常规临床药物和常规康复治疗的基础上增加步行辅助机器人训练 8 周后,其骨盆侧向位移、高度位移、旋转、侧倾角度与组内治疗前和对照组治疗后比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。该结果提示,骨盆控制驱动的步行辅助机器人可显著改善脑卒中后偏瘫患者的骨盆运动能力。

目前,对于脑卒中后患者的康复常更重视瘫痪肢体的刺激和主被动训练,容易忽视骨盆训练,从而导致患者行走时躯干易出现前倾或左右摇摆^[9]。从人体移动、转向的生物力学、人体结构学角度来看,骨盆是连接躯干、下肢的枢纽,对保持人体正常姿态和完成下肢运动发挥着重要作用^[10]。骨盆运动是指人在步行时骨盆随肢体的交替摆动所产生的周期性旋转和倾斜,该运动轨道呈对称性正弦曲线,可使整个人体具有良好的协调性,保持正常的平衡状态,而偏瘫患者由于中枢神经系统平衡中枢的损坏,其姿势控制系统也被破坏^[11]。肢体活动需要与躯干组合而成,躯干与骨盆的控制能力是机体平衡以及步行、运动能力的综合反映^[12]。因此,本课题组认为,骨盆的近端稳定性一旦形成,则有利于肢体运动功能的恢复,并可促进偏瘫患者步行功能的改善。本研究采用机器人辅助步行,旨在改变现有的下肢机器人驱动方式,让机器人具有更好的交互形式。由于康复机器人是与运动控制受损的偏瘫患者相互作用,而患者是具备自主运动意识的对象,因此机器人和患者之间的交互控制不可或缺。本课题组认为,对骨盆的阻抗控制可避免患肢由于痉挛、颤抖等异常的肌肉活动而与机器人产生对抗。

本研究结果还显示,治疗组患者训练 8 周后,其步行能力中的 MWS、TUGT、FAC 与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),且治疗组治疗后的 MWS、TUGT 与对照组治疗后比较,差异亦均有统计

意义($P<0.05$)。该结果表明,骨盆控制驱动的步行辅助机器人可显著改善脑卒中后偏瘫患者的步行功能。本课题组认为,步行辅助机器人训练可通过骨盆产生的复杂位移信号获取患者的主动运动意图,将阻抗控制的位移转化为机器人运动所需要的骨盆辅助驱动力,控制驱动装置的力矩输出,实现更好的人机交互效果。而良好的人机交互可为患者创造一个安全、舒适、自然的训练环境,鼓励患者积极参与到运动中来,实现主动控制,提高康复治疗的效果。其次,骨盆调整反应与肢体的稳定性和控制能力密切相关,利用躯干与骨盆的调整反应可增加感觉信息的输入,促进肢体各运动肌群产生协调运动^[13]。本课题组认为,机器人辅助步行训练着重于骨盆向各个方向主动运动的控制以及与身体其他各部分的协调性,旨在改善身体两侧的平衡能力,同时促进下肢多肌群的协调收缩,增强患侧下肢控制能力,提高骨盆、髋部稳定性。本课题组还发现,当骨盆运动偏离正常运动轨迹时,需要对机器人进行位置控制;而在正常运动轨迹内时,则需要控制机构与外界的相互作用力来为骨盆提供稳定性和控制力,以更好地辅助患者完成步行。

综上所述,在常规临床药物和常规康复治疗的基础上增加以骨盆控制驱动的步行辅助机器人对脑卒中后偏瘫患者进行干预可显著改善其骨盆控制能力和步行功能。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] Swinnen E, Beckwée 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.
- [3] Cho DY, Park SW, Lee MJ, et al. Effects of robot-assisted gait training

on the balance and gait of chronic stroke patients; focus on dependent ambulators[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(10): 3053-3057. DOI: 10.1589/jpts.27.3053.

- [4] Aurich Schuler T, Müller R, van Hedel HJ. Leg surface electromyography patterns in children with neuro-orthopedic disorders walking on a treadmill unassisted and assisted by a robot with and without encouragement[J]. J Neuroeng Rehabil, 2013, 10: 78. DOI: 10.1186/1743-0003-10-78.
- [5] Chen G, Chan CK, Guo Z, et al. A review of lower extremity assistive robotic exoskeletons in rehabilitation therapy[J]. Crit Rev Biomed Eng, 2013, 41(4-5): 343-363.
- [6] 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, 29(6): 379-380.
- [7] 张文通, 孟殿怀, 许光旭, 等. 计时起立行走与最大步行速度评估脑卒中步行功能的对比分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(4): 246-249. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2017.09.011.
- [8] 张盘德, 刘翠华, 皮周凯, 等. 应用平衡功能检测训练系统改善脑卒中患者平衡功能的疗效观察[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2005(9), 27: 530-533.
- [9] 缪亚萍, 杨红专, 许继旭, 等. 强化骨盆与躯干功能控制训练对脑卒中偏瘫患者运动能力的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2011, 33(4): 648-649. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.04.012.
- [10] Parvataneni K, Olney SJ, Brouwer B. Changes in muscle group work associated with changes in gait speed of persons with stroke[J]. Clin Biomech, 2007, 22(7): 813-820. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2007.03.006.
- [11] 胡进, 侯增广, 陈翼雄, 等. 下肢康复机器人及其交互控制方法[J]. 自动化学报, 2014, 40(11): 2378-2390. DOI: 10.3724/SP.J.1004.2014.02377.
- [12] Cho DY, Park SW, Lee MJ, et al. Effects of robot-assisted gait training on the balance and gait of chronic stroke patients; focus on dependent ambulators [J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(10): 3053-3057. DOI: https://doi.org/10.1589/jpts.27.3053.
- [13] 胡安龙, 顾旭东, 吴华, 等. 下肢康复机器人训练对脑卒中患者心肺功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(3): 179-182. DOI: 10.3760/cma.j.issn:0254-1424.2018.03.004.

(修回日期: 2018-11-17)

(本文编辑: 阮仕衡)