

· 临床研究 ·

末端驱动型下肢机器人对脑卒中患者步态的影响

朱建周¹ 袁华² 毛利² 王淑雅² 薛白洁² 田飞² 牟翔² 刘慧琳² 胡旭²¹空军第九八六医院训练康复科,西安 710054; ²空军军医大学第一附属医院康复理疗科,西安 710032

通信作者:胡旭,Email:pt_huxu@126.com

【摘要】 目的 探讨末端驱动型下肢康复机器人训练对脑卒中患者下肢步行能力、下肢运动功能、步态及平衡功能的影响。**方法** 将 2018 年 8 月至 2019 年 8 月在空军军医大学第一附属医院住院治疗的、符合纳入标准的 39 例脑卒中患者,按照随机数字表法将其分为训练组(21 例)和对照组(18 例)。2 组患者均接受常规康复治疗,包括偏瘫肢体综合训练、中频脉冲电刺激等,对照组在此基础上接受减重平板步行训练,训练组接受末端驱动的下肢康复机器人训练,每日 1 次,每次 20 min、每周 6 d、持续 4 周。治疗前,治疗 4 周后(治疗后),采用功能性步行分级(FAC)、Fugl-Meyer 运动功能评分下肢部分(FMA-LE)、威斯康星步态量表(WGS)及 Berg 平衡量表(BBS)进行评定。**结果** 治疗前,2 组患者 FAC、FMA-LE、WGS 及 BBS 评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,2 组患者各项指标均较组内治疗前显著改善($P<0.05$),且训练组治疗后 FAC 分级[(2.61 ± 0.70)级]、WGS[(23.29 ± 3.85)分]及 BBS 评分[(35.40 ± 8.41)分]较对照组显著提高($P<0.05$)。**结论** 末端驱动型下肢康复机器人训练较传统康复治疗,能更好地改善脑卒中患者的步行能力、步态及平衡功能。

【关键词】 脑卒中; 机器人; 下肢; 步态**基金项目:**军事医学创新工程(16CXZ022);空军军医大学第一附属医院学科助推计划(XJZT19ML29)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.07.012

The application of an end-effector-based lower limb robot to the gait training of stroke survivors

Zhu Jianzhou¹, Yuan Hua², Mao Li², Wang Shuya², Xue Baijie², Tian Fei², Mou Xiang², Liu Huilin², Hu Xu²¹Department of Physiotherapy and Rehabilitation, The 986 Hospital of Air Force, Xi'an 710054, China; ²Department of Physiotherapy and Rehabilitation, The First Affiliated Hospital of the Air Force Medical University, Xi'an 710032, China

Corresponding author: Hu Xu, Email: pt_huxu@126.com

【Abstract】 Objective To observe the effect of gait training assisted by an end-effector-based robot on the gait, balance, walking and general lower limb motor functioning of stroke survivors. **Methods** Thirty-nine stroke survivors were randomized into a training group ($n=21$) and a control group ($n=18$). In addition to routine hemiplegia rehabilitation, the control group was given medium frequency electrical stimulation while the training group underwent 20 minutes of gait training assisted by an end-effector-based robot six days a week for 4 weeks. Before and after the intervention, both groups were evaluated using the functional ambulatory categories (FAC), the Fugl-Meyer lower extremity assessment, the Wisconsin Gait Scale and the Berg balance scale (BBS). **Results** There were no significant differences between the groups before the intervention. Afterward significant improvement was observed in both groups in all measurements, with the training group scored better in terms of FAC and BBS. **Conclusion** Using an end-effector-based robot in gait training might be more advantageous for improving the gait, balance, walking and general lower limb functioning of stroke survivors.

【Key words】 Stroke; Robots; Lower limb; Gait**Funding:** A military Medicine Innovation Project (16CXZ022); Discipline Promotion Project of The First Affiliated Hospital of Air Force Medical University(XJZT19ML29)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.07.012

步行功能障碍是影响脑卒中患者日常生活的主要原因之一^[1]。目前有较多的康复方法可以促进患者

下肢步行功能的恢复,如神经发育疗法、运动再学习技术、功能性电刺激及康复支具等^[2]。一般认为,脑卒

中患者的步行功能障碍,是中枢神经损伤造成的原发病损,即随意运动丧失、肌肉无力的结果,也是未及时正确训练,习得性废用、误用、关节挛缩、错误代偿方式的结果^[3]。传统的下肢运动功能训练以抑制躯干及下肢异常增高的张力、抑制联合反应及共同运动、辅助患者重心转移、逐步分解训练为主,其方法以神经发育疗法为代表^[4]。近年来以运动再学习为代表的技术主要重视正常关节活动范围、肌肉力量及运动控制在步行中的作用等^[5-6]。

近年来,康复机器人在促进脑卒中患者步行功能恢复方面,显示出了巨大的潜力。通过控制关键关节的自由度,避免关节损伤、异常运动,建立正常步行节律,进而促进患者的功能恢复^[7-8]。常见的下肢机器人包括外骨骼型机器人和末端驱动型机器人^[9-11]。外骨骼式机器人应用较广泛,应用其进行步行训练的效果已得到证实^[12-14]。末端驱动型机器人具有穿脱更为方便等优点,但在国内应用较少。本研究采用末端驱动型下肢机器人治疗脑卒中患者,观察其对患者下肢步行能力、下肢运动功能、步态及平衡功能的影响。报道如下。

对象与方法

一、研究对象

纳入标准:①符合全国第 4 次脑血病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[15],并经 CT 或 MRI 证实;②年龄 17~85 岁;③简易精神状态量表(mini-mental state examination, MMSE)评分 ≥ 17 分;④可独立坐 30 s 以上;⑤至少可在 1 人辅助下步行 10 m 以上;⑥至少能完成 3 次连续指令。排除标准:①3 个月内出现过严重心脏疾病;②严重骨关节炎或骨科疾病,影响患者下肢关节活动范围,膝关节屈曲 $<90^\circ$,膝关节伸直受限 $>10^\circ$,髋关节屈曲受限 $>25^\circ$ 或踝关节跖屈挛缩 $>15^\circ$;③既往患有神经系统疾病;④治疗过程中出现新的脑梗死灶或脑出血灶;⑤近 6 个月有心肌梗死发作,心、肝、肾等脏器功能减退或衰竭;⑥不能坚持治疗。

选取 2018 年 8 月至 2019 年 8 月在空军军医大学第一附属医院住院治疗的脑卒中患者 39 例。按照随机数字表法将患者分为训练组(21 例)和对照组(18 例)。2 组患者性别、年龄、病变性质、病程、偏瘫侧别等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

2 组患者在对症药物治疗的基础上接受相同的常规康复干预,包括中频脉冲电刺激、偏瘫肢体综合训练、针灸等。偏瘫肢体综合训练内容主要包括:抗痉挛体位,上肢 Bobath 握手自助被动活动与助力运动, Rood 兴奋性与一致性刺激作用,诱发肩、肘、腕、髋、膝分离运动,床上翻身训练,站立-坐下训练,坐位平衡训练及站立位平衡训练,步行训练等。每次 40 min,每日 1 次,每周治疗 6 d,连续治疗 4 周。

对照组在常规康复治疗的基础上接受减重平板步行训练,以减重 30%患者自身体重为起始,视患者情况给予患者 10%~40%自身体重的减重辅助,步速以患者可以维持的较高速度且不明显加重步态异常为准,每日 1 次、每次 20 min、每周 6 d、持续 4 周。

训练组在相同常规康复治疗的基础上接受末端驱动的下肢康复机器人(GEO System, 瑞士产, Reha Technology 公司)训练,主要治疗参数设定包括:①减重系数设置,以减重 30%患者自身体重起始,据患者个体情况调整减重百分比,以患者膝关节步态周期中支撑相不出现过度弯曲($>15^\circ$)为准;②重心移动范围参数设置:初始治疗将重心上下移动幅度、左右移动幅度及前后移动幅度均设定为 0,而后视患者情况将重心上下移动幅度设置为 0~5 cm,左右重心幅度设置为 0~5 cm,以患者行走时躯干保持直立,支撑相膝关节屈曲角度不超过 15° 为准;③步速参数设置,以步频每分钟 30 步、步幅每步 34 cm 起始,在患者可保持重心稳定、膝关节不过度屈曲的前提下逐步增加步频及步幅。每日 1 次、每次 20 min、每周 6 d、持续 4 周。

三、疗效评价

治疗前和治疗 4 周后(治疗后),分别对 2 组患者采用功能性步态分级量表(functional ambulatory category, FAC)、Fugl-Meyer 运动功能评分下肢部分(Fugl-Meyer motor assessment-lower extremity, FMA-LE)、威斯康星步态量表(Wisconsin gait scale, WGS)及 Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)进行评估。

四、统计学方法

采用 SPSS 25.0 版统计学软件对数据进行处理,计量资料以($\bar{x} \pm s$)形式表示,组间比较采用 2 独立样本 t 检验,组内比较采用配对 t 检验,计数资料采用 χ^2 检验, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

表 1 2 组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	偏瘫侧别(例)		病变性质(例)	
		男	女			左	右	脑出血	脑梗死
训练组	21	13	8	52.24 $\pm$ 8.93	41.86 $\pm$ 10.21	11	10	9	12
对照组	18	11	7	51.33 $\pm$ 9.66	44.00 $\pm$ 12.36	8	10	7	11

结 果

治疗前,2 组患者 FAC 分级、FMA-LE、WGS 及 BBS 评分比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$)。治疗后,2 组患者 FAC 分级、FMA-LE、WGS 及 BBS 评分较组内治疗前均显著改善 ($P<0.05$),且训练组 FAC 分级、WGS 及 BBS 评分较对照组显著提高 ($P<0.05$),但 2 组治疗后 FMA-LE 评分间比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$)。详见表 2、表 3。

表 2 2 组患者治疗前、后 FAC 分级比较(级)

组别	例数	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
训练组							
治疗前	21	0	14	7	0	0	0
治疗后	21	0	1 ^{ab}	4	9	5	2
对照组							
治疗前	18	0	13	5	0	0	0
治疗后	18	0	4 ^a	7	7	0	0

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

表 3 2 组患者治疗前、后 FMA-LE、WGS、BBS 评分比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FMA-LE	WGS	BBS
训练组				
治疗前	21	15.95±3.11	31.67±4.91	16.80±4.66
治疗后	21	23.76±4.89 ^a	23.29±3.85 ^{ab}	35.40±8.41 ^{ab}
对照组				
治疗前	18	16.00±2.47	32.89±4.31	16.90±4.92
治疗后	18	21.78±4.29 ^a	26.56±4.36 ^a	29.55±7.50 ^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

本研究显示,无论是否采用机器人辅助步行训练,2 组患者的步行能力分级、下肢运动功能、下肢步态评分及平衡能力均较治疗前显著改善,说明持续、规律的康复治疗可有效改善脑卒中后偏瘫患者的下肢运动功能,提高其步行能力及平衡能力,改善步态,这与既往诸多研究的结论一致。本研究中,治疗后训练组患者 FAC 与 BBS 评分较对照组高,WGS 评分较对照组低,说明采用末端驱动的下肢康复机器人进行步行训练,较常规康复治疗可更大程度地改善患者的步行能力分级、步态评分及平衡功能。

既往研究显示,联合末端驱动机器人辅助步行训练较仅进行常规步态训练,能更有效地促进脑卒中患者的运动功能恢复^[16]。本研究进一步证实,应用末端驱动康复机器人辅助步行训练较常规步态训练能更有效地改善患者步行能力、步态及平衡能力,其可能的原因有:①可更早开始步行训练,且不加重异常运动模式,传统的步行训练以减重平板步行训练为代表,但常

受限于治疗师的体能及治疗经验,训练效果难以得到保证^[17]。且由于动作各个成分息息相关,包括时序机制只能通过运动本身来激活,因此进行整体练习是步行分解训练难以替代的;②需要足够的训练强度^[7,18],本研究中训练组机器人步行训练时间为每次 20 min,步行速度高于患者自主控制速度的步行训练,接近正常步行速度;③提供及时准确的反馈,促进负重对称性,训练组在训练过程中可通过图形化的足底压力反馈,让患者直观感受双侧下肢负重情况,促进患者主动调整,改善患侧下肢负重及步态对称性;④改善步态对称性,训练组通过末端驱动装置,引导患者对称性步行,早期建立正确运动模式,纠正摆动初期髋外旋、摆动中期下肢环形运动等异常运动模式。偏瘫患者步态不对称是步行功能障碍的重要原因,步态分析证实偏瘫患者患侧步行周期、足底压力分布与足底时空变化参数较健侧存在明显差异^[19]。表面肌电图分析亦显示步态模式与下肢肌肉活动时序巨变、活动持续时间改变、肌肉活动起止时间异常等有关^[20]。还有研究显示不增加下肢肌肉激活程度,仅改善下肢步态对称性,即可有效提高患者独立步行能力^[21]。机器人辅助步行训练使用电机驱动,可保证下肢关节、肌肉活动时序的正常与对称。治疗后训练组 FMA 评分较对照组高,但差异无统计学意义,说明在本研究中,机器人辅助训练在改善患者下肢运动功能方面未体现出较常规康复治疗的优势,可能与样本量较小有关,还需后续研究进一步证实。

综上所述,在常规康复治疗的基础上,结合进行末端驱动型下肢康复机器人步行训练,能更有效地改善脑卒中患者步态,提高患者平衡功能和步行能力。这主要得益于足够强度的步行训练、准确有效的生物反馈及机器人辅助步行的对称性。本研究也进一步证实了脑卒中患者在步行训练中,应注意早期足够强度、良好运动控制及准确反馈的重要性,末端驱动型下肢康复机器人在上述方面具有明显优势,且可以减轻治疗师的工作负担,值得在临床中应用、推广。

参 考 文 献

- [1] Lord SE, Rochester L. Measurement of community ambulation after stroke: current status and future developments [J]. Stroke, 2005, 36(7): 1457-1461. DOI:10.1161/01.STR.0000170698.20376.2e.
- [2] Veerbeek JM, van Wegen EE, Wel HV, et al. Is accurate prediction of gait in nonambulatory stroke patients possible within 72 hours post-stroke? The EPOS study [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2010, 25(3):268-274. DOI:10.1177/1545968310384271.
- [3] Bridenbaugh SA, Kressig RW. Laboratory Review: the role of gait analysis in seniors' mobility and fall prevention [J]. Gerontology, 2011, 57(3):256-264. DOI:10.1159/000322194.
- [4] 王剑桥,刘惠林. Bobath 理念在卒中后偏瘫患者步态康复中的研

- 究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(6): 683-685. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2019.00.004.
- [5] 张弛, 金珍珍, 董海欣, 等. 早期运动再学习方案对脑梗死患者平衡和下肢运动功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2011, 33(4): 300-302. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.04.017.
- [6] 顾昭华, 王盛, 孟殿怀, 等. 矫形足垫对脑卒中后偏瘫患者平衡和步行运动功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2015, 37(8): 597-599. DOI: 10.3969/j.issn.0254-1424.2015.08.010.
- [7] Schröder J, Truijen S, van Crielinge T, et al. Feasibility and effectiveness of repetitive gait training early after stroke: a systematic review and meta-analysis [J]. J Rehabil Med, 2019, 51(2): 78-88. DOI: 10.2340/16501977-2505.
- [8] Giovanni M, Stefano P, Andrea C, et al. Robot-assisted gait training for stroke patients: current state of the art and perspectives of robotics [J]. Neuropsychiatr Dis Treat, 2017, 13(1): 1303-1311. DOI: 10.2147/NDT.S114102.
- [9] Hesse S, Waldner A, Tomelleri C, et al. Innovative gait robot for the repetitive practice of floor walking and stair climbing up and down in stroke patients[J]. J Neuroeng Rehabil, 2010, 7(1): 30. DOI: 10.1186/1743-0003-7-30.
- [10] Mehrholz J, Thomas S, Werner C, et al. Electromechanical-assisted training for walking after stroke: a major update of the evidence[J]. Stroke, 2017, 48(8): 188-189. DOI: 10.1161/STROKEAHA.117.018018.
- [11] Mehrholz J, Pohl M. Electromechanical-assisted gait training after stroke: a systematic review comparing end-effector and exoskeleton devices[J]. J Rehabil Med, 2012, 44(3): 193-199. DOI: 10.2340/16501977-0943.
- [12] 胡淑珍, 吴华, 傅建明, 等. 下肢机器人辅助步态训练在脑卒中后步行功能障碍患者中的应用进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2017, 39(9): 709-712. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.09.020.
- [13] 吴华, 顾旭东, 徐从英, 等. 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[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(3): 174-177. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.03.003.
- [14] 胡淑珍, 顾旭东, 吴华, 等. 骨盆辅助式康复机器人训练对脑卒中偏瘫患者下肢功能及骨盆运动学的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(4): 269-273. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.04.007.
- [15] 中华医学会全国第四次脑血管学术会议. 各类脑血管疾病分类诊断要点[J]. 中华神经杂志, 1996, 29(6): 379.
- [16] Cho JE, Yoo JS, Kim KE, et al. Systematic review of appropriate robotic intervention for gait function in subacute stroke patients[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018: 4085298. DOI: 10.1155/2018/4085298.
- [17] Dobkin BH, Duncan PW. Should body weight-supported treadmill training and robotic-assistive steppers for locomotor training trot back to the starting gate[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2012, 26(4): 308-317. DOI: 10.1177/1545968312439687.
- [18] Haavik H, Murphy B. The role of spinal manipulation in addressing disordered sensorimotor integration and altered motor control [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2012, 22(5): 768-776. DOI: 10.1016/j.jelekin.2012.02.012.
- [19] 杨智权, 刘爱贤, 聂忆秋. 脑梗死患者基于跑步步行的步态分析[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(11): 1332-1335. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2019.11.013.
- [20] 吴月峰, 李建华, 张芳, 等. 表面肌电结合三维步态分析观察脑卒中患者步行支撑相期下肢肌肉激活时序的研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(6): 424-428. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.006.
- [21] Coenen P, Werven GV, Nunen MP, et al. Robot-assisted walking vs overground walking in stroke patients: an evaluation of muscle activity [J]. J Rehabil Med, 2012, 44(4): 331-337. DOI: 10.2340/16501977-0954.

(修回日期: 2020-04-13)

(本文编辑: 凌 琛)

· 消息 ·

运动与康复专业新版教材《运动创伤学》第3版已经出版

由王予彬、王人卫和陈佩杰主编的《运动创伤学》第3版正式出版, 本书第1版和第2版分别于2006年和2011年出版, 受到广大读者热爱及各大院校支持。本次新版是在原第1版和第2版基础上, 又总结近十年运动创伤理论与实践的发展动态, 历经3年时间, 终于完成改版编撰工作, 并由人民卫生出版社出版。

当前我国运动创伤学理论体系已初步形成, 与以往运动创伤治疗以组织修复、愈合为目的不同, 现代运动创伤治疗是以运动系统功能恢复、竞技能力恢复为目标。因此相关从业人员在掌握运动创伤病因学、诊断学、治疗学基本理论基础上, 还需熟悉、掌握运动系统创伤后功能恢复的相关知识, 如运动神经反馈、调控机制、功能评估、运动康复、竞技能力康复、运动心理学等基本知识。新版《运动创伤学》针对上述方面内容有所优化, 注重掌控运动创伤学范畴和基本理论体系, 充分体现学术知识的权威性及先进性; 尽可能增编近年来发展的新观念、新技术; 加强全书文法、语法、专业术语的规范、统一, 以期更好地满足日益增长的运动创伤学教育、科学知识普及的社会需求。

购书请咨询上海医林图书有限公司, 联系人: 戴红, 13795230855。