

· 临床研究 ·

骨盆辅助式康复机器人对急性期脑梗死患者下肢功能和膝关节本体感觉的影响

郑琦 施爱梅 顾旭东 柏和风 姚云海 傅建明 张晓玲 金鑫 陆晶晶 孙亚

嘉兴市第二医院康复医学中心 314000

通信作者:顾旭东,Email: jxgxd@hotmail.com

【摘要】 目的 探究骨盆辅助式康复机器人对急性期脑梗死患者的下肢功能和膝关节本体感觉的影响。**方法** 将 40 例急性脑梗死偏瘫患者按随机数字表法分为对照组(20 例)和观察组(20 例),2 组患者均接受常规药物治疗和康复干预,观察组患者在此基础上增加骨盆辅助式康复机器人训练。骨盆辅助式康复机器人训练每日训练 1 次,每次训练 20 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。于治疗前和治疗 4 周后(治疗后)分别采用简式 Fugl-Meyer 运动功能量表(FMA)下肢部分、Berg 平衡量表(BBS)、功能性步行分级(FAC)量表和等速测试仪对 2 组患者的下肢运动功能、平衡功能、步行功能和膝关节本体感觉进行评估。**结果** 治疗后,2 组患者的下肢 FMA 评分、BBS 评分、FAC 分级和膝关节重现角度差值与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),且观察组上述指标分别为(21.75±3.18)分、(31.55±3.39)分、(3.15±0.49)级和(6.25±0.91)°,均显著优于对照组治疗后,差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 骨盆辅助式康复机器人训练可显著改善急性期脑梗死患者的下肢运动功能、平衡功能、膝关节本体感觉和步行能力。

【关键词】 康复机器人; 脑梗死; 步行功能; 本体感觉

基金项目:浙江省医药卫生科技计划项目(2020KY954)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.10.007

Robot assistance can improve lower limb function and knee proprioception after cerebral infarction

Zheng Qi, Shi Aimei, Gu Xudong, Bai Hefeng, Yao Yunhai, Fu Jianming, Zhang Xiaoling, Jin Xin, Lu Jingjing, Sun Ya

Rehabilitation Medical Center of The Second Hospital of Jiaxing, Jiaxing 314000, China

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

【Abstract】 Objective To explore the effect of a pelvis-assisting rehabilitation robot on lower limb function and knee proprioception after cerebral infarction. **Methods** Forty hemiplegic cerebral infarction survivors were randomly divided into an experimental group and a control group, each of 20. Both groups were given routine neurological medication and rehabilitation training, while the experimental group was additionally provided with 20 minutes of robot-assisted gait training daily, five times a week for four weeks. Before and after the intervention, motor function, balance, walking function and knee joint proprioception were assessed using the simplified Fugl-Meyer lower limb assessment, the Berg balance scale, functional ambulation categorization and the Humac Norm isokinetic tester. **Results** After the treatment, significant improvement was observed in all of the above measurements in both groups, but the improvements were significantly greater in the experimental group. **Conclusions** Robotic pelvic assistance can effectively improve lower limb motor function, balance, knee proprioception and walking after cerebral infarction.

【Key words】 Robotics; Cerebral infarction; Walking; Proprioception

Funding: A Zhejiang Province Medical and Health Science and Technology Project (2020KY954)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.10.007

脑梗死具有高发病率、高致残率、高死亡率等特点,据报道,超 60% 的脑卒中患者残留有不同程度的运动功能障碍,严重影响患者的生活质量,给患者及其家人带来沉重的负担^[1]。近年来,人工智能已被应用于康复领域,其中智能化康复机器人对脑卒中患者下肢功能的疗效已得到证实^[2],但采用康复机器人对急

性脑梗死患者的步行功能和膝关节本体感觉进行干预的研究鲜见报道。众所周知,运动功能、平衡功能和膝关节本体感觉是人们步行的重要组成部分,但是在脑梗死患者急性期的康复治疗中往往被忽略,严重影响康复治疗的疗效^[3-4]。本研究采用骨盆辅助式康复机器人对急性期脑梗死患者进行了联合干预,疗效显著。

现报道如下。

对象与方法

一、研究对象

纳入标准:①所有患者均符合全国第 4 次脑血管病学术会议制定的脑卒中诊断标准^[5],并经头颅 CT 或 MRI 证实;②首次发病,病程 7~20 d;③年龄 40~75 岁;④生命体征平稳,无心肌梗死、心绞痛等;⑤偏瘫肢体下肢 Brunnstrom 分期 $\geq$ Ⅲ期;⑥意识清楚,依从性好;⑦认知功能无明显异常,简易精神状态量表(mini-mental state examination, MMSE)评分 $\geq$ 27 分;⑧患者及其家属均签署知情同意书。

排除标准:①合并心、肝、肾等重要脏器损害,恶性肿瘤等疾病;②伴有下肢严重骨质疏松、震颤、骨折、疼痛、深静脉血栓等;③既往有颅脑外伤、其他颅内疾病等;④既往有膝关节损伤(韧带、半月板);⑤既往有膝关节手术史;⑥既往有膝骨关节炎;⑦有意识障碍者;⑧精神障碍者;⑨身高 $\leq$ 150 cm 或 $\geq$ 180 cm(因骨盆辅助式康复机器人机械移动臂的上、下移动有一定范围限制)。

选取 2020 年 1 月至 2020 年 10 月嘉兴市第二医院康复医学中心收治且符合上述标准的急性期脑梗死患者 40 例,采用随机数字表法将其分为对照组和观察组,每组患者 20 例。本研究经嘉兴市第二医院伦理委员会审核批准(JXEY-2020SW042)。2 组患者的性别、平均年龄、平均病程、偏瘫侧、Brunnstrom 分期等一般资料组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、训练方法

2 组患者均接受常规药物治疗和康复干预,观察组患者在此基础上增加骨盆辅助式康复机器人训练。

1.药物治疗:包括控制血糖和血压、营养神经、促进脑代谢、改善循环等神经内科常规药物治疗。

2.常规康复训练:包括良姿位摆放、关节被动活动、桥式运动、坐站训练、单腿负重训练、下肢重心转移训练、膝关节屈伸肌力训练、髌膝踝关节控制训练、下蹲与站立训练、步行训练、神经促通技术等。以上训练方案均每日 1 次,每次训练 45 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。

3.骨盆辅助式康复机器人训练:采用 Natural Gait 型骨盆辅助式下肢康复机器人训练(该机器人由嘉兴市第二医院、上海大学和上海电气研究中心共同研发),主要通过腰部后方的机械臂来支持骨盆控制,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)。训练前先测试患者的血压和心率(控制在稳定范围内),然后根据患者腿长,调整骨盆辅助装置的高度和尺寸,并佩戴 Biodex 牵引带(可减重 4 kg),使患者保持站立姿态。设置系统参数为步行跟随模式(即跑台速度随患者步行速度而改变),设定跑台最大速度为 <2.5 km/h,20 min 阶段最大适宜步速。患者在设备的引导下进行步行训练,并根据其自身的步行情况系统地调节运动跑台的速度和坡度、以及骨盆牵引带的引导力和减重力。训练过程中,患者超过年龄标准化最高心率的 75%或者其他明显不适时,立刻停止训练。骨盆辅助式康复机器人训练每日训练 1 次,每次训练 20 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。



图 1 骨盆辅助式下肢康复机器人训练

三、观察指标

2 组患者均于治疗前和治疗 4 周后(治疗后)进行下肢运动功能、平衡功能、步行功能和膝关节本体感觉评估。

1.运动功能评估:采用简式 Fugl-Meyer 运动功能量表(Fugl-Meyer assessment, FMA)下肢部分,该量表用于评估受试者的下肢运动功能,最高 34 分,得分越高则运动功能越好^[6]。

表 1 2 组患者的一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄(岁)	平均病程(d)	偏瘫侧(例)		Brunnstrom	
		男	女			左	右	Ⅲ	Ⅳ
对照组	20	12	8	63.3 $\pm$ 6.8	13.05 $\pm$ 0.76	11	9	7	13
观察组	20	14	6	65.5 $\pm$ 5.1	13.35 $\pm$ 0.93	13	7	8	12

2.平衡功能评估:采用 Berg 平衡量表(Berg balance scale,BBS),该量表包括坐下、站起、独自站立、闭眼站立、双上臂向前伸、转身一圈、单侧下肢站立、两足交替站立等 14 个项目,每个项目最低 0 分,最高 4 分,总分 56 分,得分越高则平衡能力越好^[7]。

3.步行功能评估:采用功能性步行分级(Functional ambulation category,FAC)量表,该量表分 6 个等级,0 级为不能行走或完全依靠轮椅或需 2 人以上帮助行走;1 级为需双拐支撑或需 1 人持续有力帮助行走、维持平衡;2 级为持续或间断需要 1 人帮助平衡或协调,或需矫形器和单拐等维持平衡;3 为是可行走但需 1 人监护或言语指导,4 级为仅平面上可独立行走;5 为是可独立行走任何地方^[8]。

4.膝关节本体感觉评估:采用由美国 CSMi 公司生产的 Humac Norm 型等速测试仪评估患者膝关节本体感觉(角度复位方法),在温度适宜且舒适的环境下,受试者坐位测试座椅上,保持髌和膝关节屈曲 90°,用固定带束缚其上身,腰部、大腿及踝部,仅留膝关节能屈伸活动,将阻力垫放于踝关节略上方,调整旋转轴与膝关节旋转轴对齐,参数设置无阻力下屈伸膝关节,设定膝关节目标位置膝屈曲 45°,角速度为 2°/s,嘱患者膝关节移动到目标位置,让患者感知关节停留位置 10 s 后,然后膝关节恢复到屈 90°初始位置,休息 10 s 后,要求患者主动活动至先前停留的位置,记录实际角度,并计算实际角度与目标角度的差值^[9]。

四、统计学方法

采用 SPSS 20.0 版统计学软件包进行数据分析,所得数据以($\bar{x} \pm s$)表示,所有数据均经正态分布及方差齐性检验,计量资料比较采用 t 检验,计数资料比较采用 χ^2 检,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

治疗前,2 组患者的下肢 FMA 评分、BBS 评分、FAC 分级和膝关节重现角度差值组间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。治疗后,2 组患者的下肢 FMA 评分、BBS 评分、FAC 分级和膝关节重现角度差值与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),且

观察组上述指标均显著优于对照组治疗后,差异均有统计学意义($P < 0.05$),详见表 2。

讨 论

本研究结果显示,治疗 4 周后,观察组患者 FMA 下肢评分、BBS 评分、FAC 分级和膝关节重现角度差值均较组内治疗前和对照组治疗后均显著改善,差异均有统计学意义($P < 0.05$),该结果提示,骨盆辅助式康复机器人训练可有效地改善急性期脑梗死患者的下肢运动功能、平衡功能、步行功能和膝关节本体感觉,且疗效优于常规康复治疗。

脑梗死后,中枢神经系统受到损伤,高位中枢对低位运动神经元失去调控,可导致一侧肢体运动与感觉功能障碍,致使步行功能缺失^[10]。研究证明,尽早恢复脑梗死患者的下肢运动功能、平衡功能和膝关节本体感觉对其步行能力的恢复具有重要意义^[3-4]。本课题组认为,骨盆辅助式康复机器人训练改善急性期脑梗死患者下肢运动功能,平衡能力、膝关节本体感觉和步行功能的机制包括:①早期介入康复训练可促进脑可塑性及功能重组^[11],且早期进行康复机器人训练可改善脑卒中患者的下肢运动和平衡功能^[12-13]。②通过康复机器人重复、正常的运动模式输入,可纠正患者下肢伸肌的异常运动,协调膝关节屈肌和伸肌的协同收缩能力,降低肌痉挛程度^[14],提高膝关节的控制能力和稳定性,改善下肢运动功能^[15-16]。③康复机器人训练可使髌、膝、踝、足协同运动得到固化,通过髌、膝、踝关节内感受器和地面对足底的感觉刺激的不断输入,运动感知能力得到增强,同时步行过程中,重心位置不断变换,可使患者在动态下主动调节躯干控制^[17-18],重新维持身体平衡,强化躯干及髌踝关节在步行周期中的协调性和稳定性。④膝关节本体感觉主要信号来源于周围肌肉和关节感受器,骨盆辅助式康复机器人可为患者提供减重状态,增加患侧负重能力和支撑相时间^[19],强化股四头肌伸膝力量和膝关节周围肌力,增加膝关节本体感觉,提高膝控制能力和稳定性。⑤骨盆辅助装置可使患者躯干肌和骨盆周围肌群得到力量训练,增强骨盆稳定性和躯干的控制能力,

表 2 2 组患者治疗前、后下肢 FMA、BBS、FAC 和膝关节重现角度差值比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	FMA 下肢评分(分)	BBS 评分(分)	FAC 分级(级)	膝重现角度差值(°)
对照组	20				
治疗前		15.25±2.51	19.15±2.66	1.95±0.69	8.45±1.23
治疗后		18.25±2.29 ^a	28.25±5.91 ^a	2.75±0.63 ^a	7.05±1.09 ^a
观察组	20				
治疗前		16.15±2.81	20.60±2.41	2.05±0.76	8.75±1.80
治疗后		21.75±3.18 ^{ab}	31.55±3.39 ^{ab}	3.15±0.49 ^{ab}	6.25±0.91 ^{ab}

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

协调步行动作进行同步周期性运动,减少各关节的废用性利用,使骨盆各关节和相应肌肉得到充分训练^[19]。⑥机器人显示频可为患者提供直观的步行距离与步速,配合任务导向性,实时反馈训练状况,调动患者主动参与的积极性,有利于患者下肢功能恢复。此外,吴华等^[20]的研究提示,机器人辅助步行可改善身体两侧的平衡能力,促进下肢多肌群协同收缩,增强下肢控制能力,提高骨盆和髋部的稳定性,最终到达改善步行功能的目的。

本研究中所采用的 Natural Gait 型骨盆辅助式康复机器人,是具备骨盆控制、运动平板、数据传感和记录于一体的智能康复机器人,其系统可智能化调节患者适宜的步行速度和平板坡度,有利于患者减少能耗,提高步行的稳定性与安全性。另外,Natural Gait 型骨盆辅助式康复机器人还可将患者训练过程中的步速、步行距离、减重数值、骨盆控制等参数通过传感器传输至系统,并将信息记录整合成量化的数值,实时反馈训练的情况,可充分调动患者参与训练的积极性,也有利于治疗师或康复医师掌握患者的实时状态,并随时进行针对性的调整。

综上所述,骨盆辅助式康复机器人可显著改善急性期脑梗死患者的下肢运动功能、平衡功能、膝关节本体感觉和步行能力,且疗效显著优于常规康复治疗。由于本研究所纳入的病例均具有一定的运动功能和认知功能,且需要独立完成步行训练,致使在应用中具有局限性,故样本量较少。另外,本研究时间短,并未对疗效的持续性进行观察,还需多中心、大样本研究其作用机制、治疗参数以及疗效持续性,为推动智能化康复机器人在康复领域中的精准应用提供依据。

参 考 文 献

- [1] Hummel FC, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation: A new strategy to improve neurorehabilitation after stroke[J]. *Lancet Neurol*, 2005, 5(8): 708-712. DOI: 10.1016/S1474-4422(06)70525-7.
- [2] 乐琳. 下肢康复机器人对脑梗死后下肢偏瘫患者康复的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42(6): 536-538. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.06.012.
- [3] Kollen B, Kwakkel G, Lindeman E, et al. Longitudinal robustness of variables predicting independent gait following severe middle cerebral artery stroke: a prospective cohort study[J]. *Clin Rehabil*, 2006, 20(3): 262-268. DOI: 10.1191/0269215506cr910oa.
- [4] McCain KJ, Polio FE, Baum BS, et al. Locomotor treadmill training with partial body-weight support before overground gait in adults with acute stroke: a pilot study[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008, 89(4): 684-691. DOI: 10.1016/j.apmr.2007.09.050.
- [5] 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[J]. *中华神经科杂志*, 1996, 29(6): 379-380.
- [6] Sullivan KJ, Tilson JK, Cen SY, et al. Fugl-Meyer assessment of sensorimotor function after stroke: standardized training procedure for

- clinical practice and clinical trials[J]. *Stroke*, 2011, 42(2): 427-432. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.592766.
- [7] Blum L, Koner-Bitensky N. Usefulness of the Berg Balance Scale in stroke rehabilitation: a systematic review[J]. *Phys Ther*, 2008, 88(5): 559-566. DOI: 10.2522/ptj.20070205.
- [8] Hesse S, Konrad M, Uhlenbrock D. Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subjects[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1999, 80(4): 421-427. DOI: 10.1016/S0003-9993(99)90279-4.
- [9] 郑光新, 赵晓鸥, 常智跃, 等. 等速运动系统测试膝关节本体感觉功能的信度研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2013, 35(8): 609-611. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.08.004.
- [10] 徐光青, 兰月, 毛玉蓉, 等. 影响脑卒中后偏瘫患者步行能力的相关因素分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2010, 32(2): 118-120. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2010.02.010.
- [11] Lou L, Shou T, Li Z, et al. Transhemispheric functional reorganization of the motor cortex induced by the peripheral contralateral nerve transfer to the injured arm[J]. *Neuroscience*, 2006, 138(4): 1225-1231. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2005.11.062.
- [12] Van Peppen RP, Kwakkel G, Wood-Dauphinee S, et al. The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: what's the evidence [J]? *Clin Rehabil*, 2004, 18(8): 833-862. DOI: 10.1191/0269215504cr843oa.
- [13] Kwakkel G, Van Peppen RP, Wagenaar RC, et al. Effects of augmented exercise therapy time after stroke: a meta-analysis *Stroke*[J], *Stroke*, 2004, 35(11): 2529-2539. DOI: 10.1161/01.STR.0000143153.76460.7d.
- [14] 施爱梅, 郑琦, 柏和风, 等. 骨盆辅助式康复机器人联合重复经颅磁刺激对脑卒中后偏瘫患者下肢功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2021, 43(8): 712-716. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.08.010.
- [15] Yen CL, Wang RY, Liao KK, et al. Gait training induced change in corticospinal excitability in patients with chronic stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2008, 22(1): 22-30. DOI: 10.1177/1545968307301875.
- [16] Reinkensmeyer DJ, Emken JL, Cramer SC. Robotics, motor learning, and neurologic recovery[J]. *Annu Rev Biomed Eng*, 2004, 6: 497-525. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140223.
- [17] Wesdake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2009, 12(1): 18-22. DOI: 10.1186/1743-0003-6-18.
- [18] Combos SA, Dugan EL, Passmore M, et al. Balance, balance confidence, and health-related quality of life in persons with chronic stroke after body weight-supported treadmill training[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2010, 91(12): 1914-1919. DOI: 10.1016/j.apmr.2010.08.025.
- [19] 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.
- [20] 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.

(修回日期: 2021-08-28)

(本文编辑: 阮仕衡)