

下肢外骨骼康复机器人对偏瘫患者步态参数的影响*

龙建军¹ 王玉龙^{1,4} 王同³ 叶晶² 陈功² 刘铨权³ 王春宝³

摘要

目的:探索下肢外骨骼康复机器人对偏瘫患者步态时空参数的影响。

方法:选取偏瘫患者30例,机器人组:15例患者除日常训练外还需每日穿戴外骨骼机器人训练1h,对照组:15例患者进行日常康复训练。从两种角度对患者步态及康复效果进行分析:一是利用SPSS软件对机器人组患者的助力等级数据进行分析,通过配对样本 t 检验的方法比较患者首末次的康复状态。二是采用IDEA[®]运动捕捉系统对包括步速、步频、步行周期等步态时空参数进行采集,分析患者首末次评估的数据差异。

结果:与不穿下肢外骨骼机器人行走相比,机器人组患侧助力等级明显降低,步速明显变快,支撑相时间明显减短,具有显著性差异($P < 0.05$)。

结论:下肢外骨骼康复机器人能够有效改善偏瘫患者步态。

关键词 偏瘫;步态时空参数;下肢外骨骼康复机器人;不对称性评估

中图分类号:R493,R743.3 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2021)-09-1107-04

Effects of lower limb exoskeleton robot on gait parameters in hemiplegic patients/LONG Jianjun, WANG Yulong, WANG Tong, et al.//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2021, 36(9): 1107—1110

Abstract

Objective: To explore the effect of a gait rehabilitation robot on spatiotemporal gait asymmetry of hemiplegic patient.

Method: Thirty unilateral-hemiplegic patients were recruited. For experimental group, the 15 patients wearing a gait rehabilitation robot walked 10 meters on a flat ground. For control group, the 15 patients walked 10 meters on a flat ground without the robot. The main spatiotemporal gait parameters including step speed, step length, step width, stance time, swing time, were acquired via an optical motion capture system. The spatiotemporal gait asymmetry was calculated by asymmetry ratio.

Result: Compared with the walking without the exoskeleton, in experimental group, the step length was larger, the stance time became shorter, the swing time became longer, and asymmetry was weakened. Difference has statistical significance($P < 0.05$).

Conclusion: Lower limb exoskeleton can significantly improve asymmetrical gait of hemiplegic patient with stroke.

Author's address Rehabilitation Center, The First Affiliated Hospital of Shenzhen University, Shenzhen, 518032

Key word hemiplegic; spatiotemporal gait parameters; lower limb exoskeleton gait rehabilitation robot; gait asymmetry assessment

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.09.009

*基金项目:广东省医学科研项目资助课题(A2021169);深圳市三名工程“南京医科大学励建安团队”项目资助课题(SZSM201512011);深圳市第二人民医院项目资助课题(20200601016);深圳市协同创新计划国际合作研究项目资助课题(GJHZ20170331105318685)

1 深圳大学第一附属医院康复科,广东省深圳市,518032; 2 深圳市迈步机器人科技有限公司; 3 深圳市老年医学研究所; 4 通讯作者
第一作者简介:龙建军,男,副主任技师; 收稿日期:2020-07-01

脑卒中是一种高发疾病,患者急性期后常留有偏瘫后遗症。偏瘫患者由于大脑中枢神经损伤造成患侧运动控制障碍和感觉功能障碍等,在步行时多表现为健侧和患侧不对称的异常步态模式,主要表现为偏瘫侧踝足无力抬高、足内翻,导致患者被迫提膝提髌将下肢抬高,进而出现步态不协调动作。步态异常是影响患者正常生理功能及生活质量的重要因素^[1]。为了重新获得正常步态,偏瘫患者起步时需要踝关节具有抬起足前部的能力,在跨步时有伸屈膝和髌关节后伸前屈的能力。传统康复方式需要治疗师手工操作,劳动强度大且康复训练动作难以规范统一。近年来,下肢外骨骼康复机器人作为一种新兴的康复辅助治疗手段,越来越受到患者的青睐,但国内很少定量地分析其对偏瘫患者时空与时相参数的影响^[2-6]。本文基于一款名为 BEAR-H1 的下肢外骨骼康复机器人,分析量化运动训练对偏瘫患者步态改善的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

患者入选标准:①符合 1995 年第四次全国脑血管病会议诊断标准,均经头颅 CT 或磁共振检查确诊,并经头颅 CT 或磁共振检查证实,初次发病,侧病灶;②在无体力和辅助器具帮助下能独立安全步行 10m 以上者;③患侧下肢 Brunnstrom 分期为 IV—V 期者;④此次发病前无平衡功能障碍者;⑤发病前为右利手者;⑥认知功能良好,可以理解和积极参与训练方案者;⑦向患者说明试验目的和步骤后,患者自愿参加,并已签署知情同意书。

排除标准:①关节活动范围严重受限,限制步行动作者;②不稳定型心绞痛,严重心律失常等心脏疾病者;③下肢和机器人穿戴部位皮肤损伤或感染者;④骨折未完全愈合者;⑤严重慢性阻塞性肺疾病者;⑥未经治疗的深静脉血栓者;⑦研究者判断患者依从性差,无法按照要求完成研究。

1.2 干预方法

所有患者均病情稳定并进入康复期,同时开始进行康复治疗,包括理疗和日常活动训练等。基于此基础,将 30 例受试者随机分为两组(各 15 例),机器人组除进行日常的康复训练外每天穿戴 BEAR-

H1 下肢外骨骼机器人训练(图 1)^[7],而对照组患者在治疗师指导下进行步行训练,每位患者每天训练时间均为 1h,上午、下午各 0.5h,整个疗程持续 21 天,并在入组和出组当天佩戴步态检测仪进行步态评估(深圳市第二人民医院伦理委员会伦理审查批件号:201903-Q1-03PJ)。偏瘫患者穿戴机器人训练时,健侧的机器人采集患者健侧肢体运动信息,通过镜像控制患侧的机器人助力患者患侧下肢运动。机器人初始步频统一设置为 0.3Hz,随后步行训练的步频和助力等级根据患者步行能力进行全自动调节,不需要人为设置参数。整个试验过程均由专业测试人员详细告知每位受试者测试整个过程、测试要求及注意事项。

1.3 评定指标

机器人组和对照组所有受试者的步态情况均应用 IDEEA 可穿戴式步态分析仪(美国 MiniSun 公司生产)分析,每位患者在治疗前后各测一次,测试过程中均穿戴步行分析仪在 20m 长通道上正常沿直线行走,来回行走 2—3 次,步态分析系统采集患者步态时空参数(如步频、步速、步行周期等),时相参数(如患侧支撑相与摆动相时长等),如图 2 所示。利用下肢外骨骼康复机器人的数据采集系统可以获得髌、膝、踝关节的助力等级参数。该研究利用步频与步速的快慢、步行周期的时长以及支撑相与摆动相的时长评价患者步态的改善程度。利用机器人组穿戴机器人时存储的助力等级的大小评价患者主观能动性的改善,助力等级越小说明患者肌力改善程度越大。

1.4 统计学分析

本研究采用统计学软件 SPSS 22.0 软件进行数据分析,计量资料用均数±标准差表示,采用配对样本 *t* 检验 $P < 0.05$ 为差异具有显著性。

2 结果

重复性量化训练能够更有效地改善运动康复效果。针对脑卒中偏瘫患者健患侧下肢时空相参数不对称,步态不协调的现象,本研究利用下肢外骨骼机器人提供可控、量化的下肢关节助力训练和传统方式中患者自主步行训练比较,分析是否使用机器人训练的患者的效果差异。

图1 BEAR-H1 下肢外骨骼机器人辅助偏瘫患者步态训练



图2 患者步态评定与传感器穿戴



机器人组某一患者穿戴BEAR-H1下肢外骨骼康复机器人训练首末次的髋关节、膝关节和踝关节助力等级曲线如图3所示,患者首末次训练时髋关节正向/反向助力等级均值分别为12.77Nm/-5.76Nm,8.82Nm/-5.43Nm;相应地,膝关节正向/反向助力等级均值分别为4.45Nm/-14.83Nm,2.57Nm/-11.21Nm;踝关节正向/反向助力等级均值

分别为2.88Nm/-4.16Nm,4.97Nm/-6.34Nm。

全部机器人组患者首末次使用下肢康复机器人训练的正向/反向助力等级平均值如表1—2所示。表1—2分别表示患者正向/负向助力等级平均值的配对样本T检验分析结果(正负代表运动方向,不代表数值大小),两组数据表明相比首次评估,末次评估时患者偏瘫侧的下肢各关节助力等级平均值降低,患者肌力明显增强,差异具有显著性($P<0.05$)。

表3结果显示,机器人组与对照组的步态均有所改善,相对于治疗前测量结果,治疗后机器人组患者平均步频和步速分别提升了39.89%和81.76%,对照组患者平均步频和步速分别提升了18.35%和44.61%。试验结果表明,相对于日常的康复训练,使用下肢外骨骼康复机器人辅助步行训练,对于偏瘫患者的步行能力改善更为显著。

表4结果表明,机器人组和对照组偏瘫患者进行步态评估时,支撑相时长与摆动相时长均减少,表明偏瘫患者经过康复训练后,步频得到了提升,与表3试验结果一致。并且,机器人组患者支撑相占整个步行周期的比值由56.76%提升到60.78%,对照组患者支撑相占整个步行周期的比值由60.4%提升至

表1 机器人组患者正向助力等级平均值比较

关节名称及评估次序	平均值(Nm)	t值	P值
髋关节		4.664	0.002
首次评估	12.48		
末次评估	10.39		
膝关节		2.593	0.036
首次评估	8.73		
末次评估	7.16		
踝关节		3.981	0.005
首次评估	6.43		
末次评估	4.08		

表2 患者反向助力等级平均值比较

关节名称及评估次序	平均值(Nm)	t值	P值
髋关节		-3.593	0.009
首次评估	-9.65		
末次评估	-7.24		
膝关节		-5.113	0.001
首次评估	-15.19		
末次评估	-13.86		
踝关节		-3.067	0.018
首次评估	-4.43		
末次评估	-3.78		

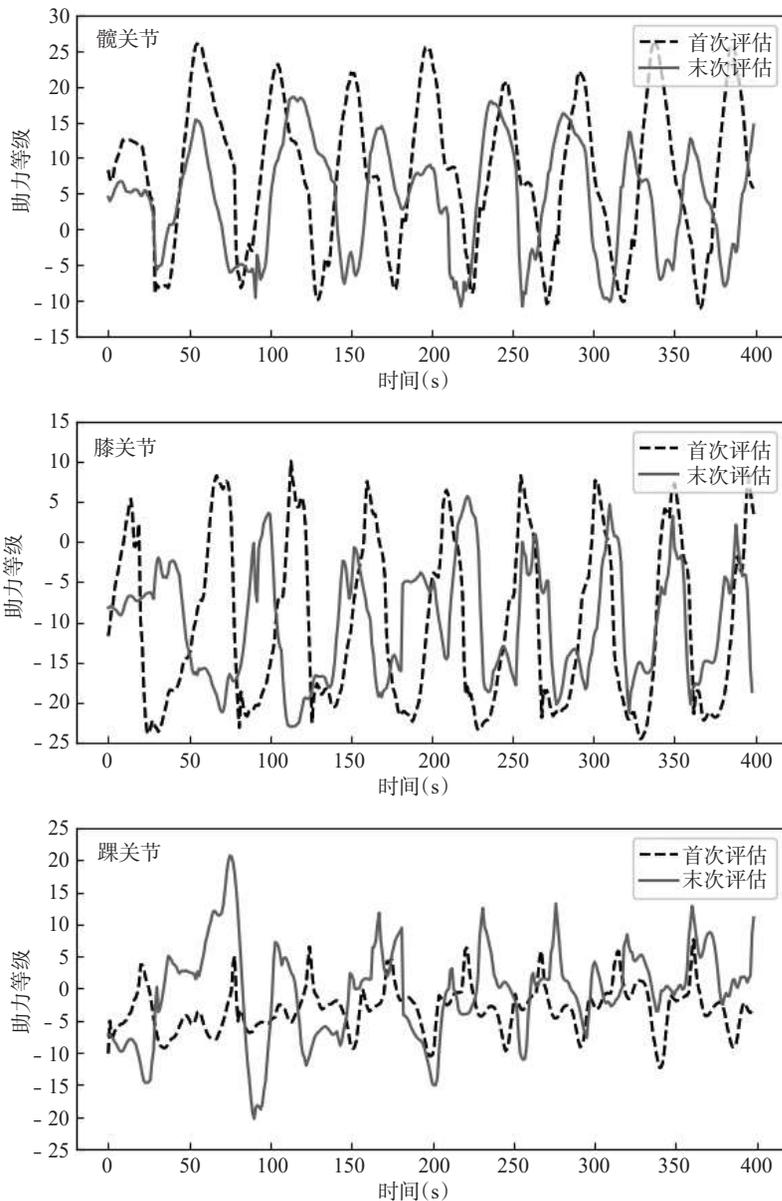
表3 两组患者首末次评估步态信息比较 ($\bar{x}\pm s$)

时间	步频(Step/min)	步速(m/min)	步行周期(min)
机器人组			
治疗前	61.92±21.44	18.86±8.91	2.27±0.93
治疗后	86.62±23.78	34.28±15.24	1.61±0.60
t值	-4.391	-4.601	5.376
P值	0.001	0.000	0.000
对照组			
治疗前	66.81±25.10	18.85±7.98	2.11±0.76
治疗后	79.07±24.09	27.26±13.86	1.70±0.56
t值	-4.277	-3.941	4.942
P值	0.001	0.001	0.000

表4 两组患者首末次评估支撑相与摆动相时长比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别及项目名称	支撑相时长(s)	摆动相时长(s)
机器人组		
治疗前	0.84±0.28	0.64±0.25
治疗后	0.62±0.19	0.40±0.14
t值	4.466	3.367
P值	0.002	0.008
对照组		
治疗前	0.90±0.34	0.59±0.35
治疗后	0.75±0.32	0.47±0.36
t值	5.171	3.549
P值	0.001	0.006

图3 机器人组某一患者首末次步行训练过程中下肢关节正向/反向助力规律



61.48%，穿戴下肢外骨骼康复机器人患者步行能力提升程度比不穿戴患者更为明显。差异具有显著性 ($P < 0.05$)。

3 讨论

康复医学研究表明，脑卒中后大脑损伤的恢复过程中，存在着不同于再生的其他恢复机制，大脑皮层会发生神经的重组，临床康复训练尤其是早期反

复练习模式的肢体训练，肌肉就会形成条件反射，有助于脑卒中后功能的可塑性^[8-9]。Grant Tays^[10]团队的研究表明，被动训练获得的运动记忆可以巩固至少24h，且被动训练在神经康复环境中是有益的，有助于改善患有各种神经运动损伤的患者群体的运动功能。本研究正是基于这一理论，通过下肢外骨骼康复机器人为患者提供量化助力，使患者每天完成标准化的重复性步行动作，从而形成运动记忆，大大提高患者的步态改善能力。

康复机器人辅助治疗师为患者提供量化治疗已成为一种新兴的临床康复手段，该方法的原理是通过机器人的运转为患者肢体运动提供助力，带动患者进行重复性动作，以达到改善肢体运动能力的目的。为提升患者康复疗效和减轻治疗师工作量等问题提供了新的解决思路。研究表明，穿戴机器人后给予一定助力，则可显著增加步长。偏瘫患者因为踝关节背屈力弱，足跟落地后肌肉收缩不充分，导致支撑相的延长，通过机器人提供助力，可以显著减少支撑相时间^[3,11]。

脑卒中患者由于中枢神经系统受到不同程度的损伤，通常会导致异常步态，包括步频和步速减慢、步行周期延长等。本研究对使用

BEAR-H1下肢外骨骼康复机器人训练的试验组患者和正常训练的对照组患者进行跟踪分析，机器人组患者髋关节、膝关节和踝关节所需的助力值均下降，表明患者下肢步行过程中健患侧步态平衡性提高。表4的试验结果说明治疗后机器人组和对照组患者的支撑相时间占整个步态周期的比值均更接近正常人步行的支撑相比值(60%—62%)，但是，机

(下转第1117页)