

·临床研究·

下肢外骨骼机器人步行训练对痉挛型双瘫脑性瘫痪患儿平衡功能的影响*

尹宏伟¹ 余永林¹ 杨安琪¹ 徐 莉¹ 吕奕涛² 李海峰^{1,3}

摘要

目的:探讨下肢外骨骼机器人步行训练对痉挛型双瘫脑性瘫痪患儿平衡功能的影响。

方法:纳入2022年7月至2022年12月间就诊于浙江大学医学院附属儿童医院康复科的痉挛型双瘫脑性瘫痪患儿20例为治疗组,采用配对设计,年龄、性别、功能状态匹配的20例作为对照组。两组均给予常规的运动康复训练(运动疗法、悬吊训练、等速肌力训练),治疗组在此基础上增加下肢外骨骼机器人步行训练。在治疗前、治疗8周后对两组患儿进行表面肌电(sEMG)测试、动态平衡反应位移测试、静态平衡评分测试和儿童平衡量表(PBS)测试。

结果:治疗前两组患儿臀大肌、臀中肌、股四头肌和胫前肌RMS数值,动态平衡反应位移、静态平衡评分及PBS评分组间差异无显著性意义($P>0.05$),两组患儿治疗后臀大肌、臀中肌、股四头肌和胫前肌RMS数值,动态平衡反应位移、静态平衡评分及PBS评分均增加,治疗前后组内比较具有显著性意义($P<0.05$),治疗后较治疗前有所改善,组间比较两组患儿治疗前后臀大肌、臀中肌和股四头肌RMS数值差值(臀大肌 $P=0.021$;臀中肌 $P=0.016$;股四头肌 $P=0.004$)、动态平衡反应位移差值(前侧 $P=0.014$;左侧 $P=0.003$;右侧 $P=0.003$)、静态平衡评分差值($P=0.005$)及PBS评分差值($P=0.004$)具有显著性意义,治疗组差值大于对照组,治疗组改善效果优于对照组。

结论:下肢外骨骼机器人结合常规康复治疗能更加有效地改善痉挛型双瘫脑性瘫痪患儿平衡功能。

关键词 外骨骼机器人;痉挛型双瘫;平衡;儿童;脑性瘫痪

中图分类号:R742.3,R493 **文献标识码:**A **文献编号:**1001-1242(2024)-03-0340-07

Effects of lower limb exoskeleton robot gait training on balance function in children with spastic diplegia/YIN Hongwei, YU Yonglin, YANG Anqi, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2024, 39(3): 340—346

Abstract

Objective: To investigate the effect of lower limb exoskeleton robots on balance function in children with spastic diplegia.

Method: Twenty children with spastic diplegia who were admitted to the Department of Rehabilitation of the Children's Hospital of Zhejiang University School of Medicine from July 2022 to December 2022 were included in the treatment group. The other 20 children matched with age, gender and functional status were included in the control group. Both groups were given conventional rehabilitation training (exercise therapy, suspension training, isokinetic muscle strength training), and the treatment group were received the 30-min lower limb exoskeleton robot training 5 times a week for 8 weeks. Before and after treatment, the two groups were tested with surface electromyography (sEMG) data, dynamic balance response displacement, static balance score, and Pediatric Balance Scale (PBS).

Result: Before treatment, there was no statistically significant difference ($P>0.05$) in sEMG values (gluteus

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.03.006

*基金项目:浙江省“尖兵”研发攻关计划(2023C003);浙江省中医药重点实验室(浙卫发[2022]32号)

1 浙江大学医学院附属儿童医院康复科,浙江省杭州市,310003; 2 杭州医学院; 3 通讯作者

第一作者简介:尹宏伟,男,主治医师; 收稿日期:2023-04-03

maximus, gluteus medius, quadriceps femoris and tibialis anterior muscle), dynamic balance reaction displacement, static balance score, and PBS score between the two groups. There were significant improvements in the scores of these measurements ($P<0.05$) in both group before and after treatment. Compared with the control group, there were statistically significant differences in sEMG values (gluteus maximus $P=0.021$; gluteus medius $P=0.016$; quadriceps femoris $P=0.004$), dynamic balance reaction displacement (anterior $P=0.014$; left $P=0.003$; right $P=0.003$), static balance score ($P=0.005$), and PBS score ($P=0.004$) in the treatment group after treatment.

Conclusion: Lower limb exoskeleton robot gait training combined with conventional rehabilitation treatment can effectively improve the balance function of cerebral palsy children with spastic diplegia.

Author's address The Children's Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou, Zhejiang, 310003

Key word exoskeleton robots; spastic diplegia; balance; pediatric; cerebral palsy

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP, 以下简称脑瘫),是一组严重影响儿童运动功能的症候群,常伴有感觉、知觉、认知、交流和行为障碍,以及继发性肌肉、骨骼问题^[1]。目前国内1—6岁脑瘫发病率为2.48%,痉挛型占比超60%^[2]。痉挛型双瘫的主要临床表现为下肢肌张力增高、平衡功能障碍、步行姿势异常等问题,严重影响儿童的日常生活功能。目前临床上针对CP的治疗是以物理治疗为主的综合疗法,在解决脑瘫儿童运动功能障碍的同时兼顾肌肉骨骼的发育^[3]。

下肢外骨骼机器人为患者提供任务导向性的步行训练,进行持续运动学习的同时提高神经肌肉可塑性^[4]。它作为一种模仿人体生理构造的医疗器械设备,可替代治疗师人力完成长时间重复性训练,不但能减轻医务人员的治疗负担,还能提供治疗过程中准确的康复数据,所以其在康复治疗领域逐渐开始使用。目前下肢外骨骼机器人主要应用于成人,集中在脊髓损伤、脑卒中等运动功能障碍的患者^[5]。当下脑瘫儿童的平衡训练多采用运动疗法、悬吊训练及平衡训练仪器等,训练方式都有各自的优势和较好康复效果,但也存在一定的局限性。国外研究数据表明,外骨骼机器人对脑瘫患儿平衡功能改善具有较好的效果^[6],而国内对于下肢外骨骼机器人在儿童康复领域的应用报道尚少,本研究旨在探究下肢外骨骼机器人对痉挛型双瘫脑性瘫痪患儿平衡功能的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

1.1.1 纳入标准:①符合痉挛型双瘫的诊断标准^[1];②脑瘫粗大运动功能分级系统(gross motor function classification system, GMFCS)水平为Ⅰ—Ⅲ级;③能够充分理解治疗师的要求并能遵照执行,无认知障碍;④身高90cm以上;⑤使用助行器独走10m以上的能力;⑥家长签署知情同意书。

1.1.2 排除标准:①下肢外科手术术后急性期;②认知水平低于正常儿童两个标准差;③有未控制的癫痫及严重的心、肝、肺、肾等疾病。

1.1.3 一般资料:本研究经浙江大学医学院附属儿童医院临床试验伦理委员会审批(编号:2022-IRB-179)。通过SPSS 20.0软件对预实验结果进行分析,设定效应量为0.45, α 误差为0.05,功率为0.90,计算的总样本量为36例,每组人数为18例。预留10%失访率,因此每组招募20例患儿。2022年7月至2022年12月间就诊于浙江大学医学院附属儿童医院康复科的痉挛型双瘫儿童40例,采用配对设计方法,每组各20例。其中男性22例,女性18例,年龄2岁6月—6岁11月。两组在性别、年龄、GMFCS差异无显著性意义($P>0.05$),具有可比性,见表1。

1.2 治疗方法

两组患儿均进行为期8周的常规康复训练,包括运动疗法、悬吊训练、等速肌力训练。治疗组在常规治疗的基础上增加外骨骼机器人步行训练。

表1 两组患者一般资料比较

组别	例数	性别		年龄 ($\bar{x}\pm s$,月)	GMFCS分级		
		男	女		Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
治疗组	20	11	9	59.1±13.9	5	10	5
对照组	20	11	9	60.2±11.9	3	12	5
χ^2 值/ t 值		0		0.268	0.68		
P 值		1		0.79	0.71		

1.2.1 常规康复训练:运动疗法:患儿每天进行1次训练,每周训练5d,每次训练30min。训练内容:①进行下肢关节被动牵伸,缓解下肢肌肉紧张度,扩大关节活动度;②主动肌力训练技术对臀大肌、股四头肌和胫前肌等肌肉进行主动抗阻训练;③使用平衡板训练平衡功能及辅助下的步行训练等。

悬吊训练:利用悬吊绳的各种轴向运动,提供不稳定的支撑面进行训练的一种方法,通过这种治疗可以使关节活动度、肌肉耐力、躯干稳定性得到提升,从而改善患儿的平衡能力^[7]。患儿每天进行1次训练,每周训练5d,每次训练30min。训练内容主要分为站立位四个不同动作的训练:①患儿双脚踩于悬吊带上保持直立,缓慢屈膝下蹲,然后缓慢站起;②在悬吊带上保持站立位,随后缓慢张开双腿至最大角度,然后缓慢收腿恢复初始位置;③患儿治疗侧足置于悬吊带的踏板上,双上肢握悬吊绳,下肢向下蹬使自身重心提高;④将悬吊带替换为弹力带,患儿治疗侧足部置于踏板上并踩踏至地面。

等速肌力训练:患儿进行15min/次的训练,运动阻力根据患儿的实际情况调整,一般为0—10N^[8]。训练前根据患儿体长调整好座椅的位置和高度。

1.2.2 外骨骼机器人步行训练:研究组穿戴下肢外骨骼机器人后,采用长20m,半径2m的椭圆形路线进行训练,每次训练30min,前15min进行顺时针步行,后15min进行逆时针步行。训练模式为主动助力模式,初始速度为慢速0.5km/h,对于功能较好的患儿可在适应训练1周后调整为中速1km/h。在训练过程中,可能会出现软组织损伤、骨折、跌倒等情况,对于可能出现的情况,通过安装保护支架,干预人员全程陪护等方式进行风险规避。若患儿在参加研究期间发生伤害,可得到及时帮助。如出现软组织损伤、骨折、跌倒等不良反应,应立即停止训练。

1.3 评估方法

在治疗前和治疗8周后,采用表面肌电图对两组患儿下肢主要肌群,包括臀大肌、臀中肌、股四头肌和胫前肌进行测试;采用BioFlex-FP平衡测试仪和儿童平衡量表(pediatric balance scale, PBS)对两组患儿进行动态平衡反应位移测试、静态平衡评分测试和PBS评分测试。

1.3.1 表面肌电图:表面肌电图(surface electromy-

ography, sEMG)测试使用绍兴市联合公司生产的UMI-SE-I型表面肌电分析反馈仪。测试电极为直径2cm的一次性Ag-AgCl电极片。患儿充分暴露测试部位,75%医用酒精局部擦拭皮肤充分脱脂。电极置于双侧臀大肌、臀中肌、股四头肌及胫骨前肌肌腹最丰满处,并用记号笔标记位置,记录电极与参考电极中心距离2cm,并与肌纤维长轴方向平行。分别采集各个肌肉静息时、被动牵伸时及主动收缩时的肌电信号。在测试肌肉主动收缩前应向患儿解释测试流程,患儿主动用力过程中治疗师应给予鼓励保持肌肉收缩至少维持6s,每块肌肉重复测定3次,并给予1min的休息间隔^[9]。测试臀大肌时,引导患儿俯卧位下做伸髋伸膝动作,在踝关节处施加阻力;测试臀中肌时,引导患儿侧卧位下做伸髋外展动作,在踝关节处施加阻力;测试股四头肌时,引导患儿坐位下做伸膝动作,在踝关节处施加阻力;测试胫前肌时,引导患儿仰卧位下做踝背屈动作,在脚背处施加阻力。测试结束后使用系统自带软件截取患儿被测肌肉静态时、被动牵伸时及主动收缩时较为稳定的肌电信号,利用软件中的信号处理系统,对原始信号进行整流、平滑、MVC归一化,进一步计算分析得出肌电信号幅度均方根值(root mean square, RMS),对肌力进行量化体现^[10-11],取三次测试RMS平均值。测试过程中应保持患儿情绪稳定以避免配合不佳产生的测试误差。

1.3.2 平衡诊断评估测试:平衡诊断评估测试采用北京一贝科技有限公司生产的BioFlex-FP平衡诊断评估系统。平衡能力评估训练系统是通过压力传感器采集数据,由计算机软件计算人体重心在静态和动态平衡过程中的轨迹变化的一系列参数,最终得出测试者的总体平衡能力的一种仪器,测试得到的参数已经验证,具有较高信效度^[12-13]。动态平衡控制能力测试患儿取站立位根据屏幕提示进行重心转移运动,最大位移的测试数据,测试患儿的动态平衡能力。最大位移越大,表明患儿的平衡功能越好。静态平衡控制能力测试患儿分别取闭眼单足立位、睁眼双足直线立位、闭眼双足直线立位进行测试,此项测试GMFCSⅢ级脑瘫患儿不能完成,结果部分未统计此类患儿数据。结束后由系统得出各体位下的得分及总分,总分在9.5—10.5为正常,10.5—11.5为

良好,11.5—12为优秀。

1.3.3 儿童平衡量表: PBS 常被用于临床上评估轻至中度功能障碍的患儿,它由 14 个与日常生活相关的项目组成,项目难度不断增加^[14]。每个项目的评分范围为 0—4 分,总分为 56 分,可用于评价测试者的平衡功能水平,评分越高,代表平衡功能越好^[15]。

1.4 统计学分析

采用统计软件 SPSS 20.0 对评定指标等数据进行统计学分析,所有计量资料均选用均数±标准差来表示,每一组数据经过 K-S 正态性检验后,如符合正态分布则组间比较采用独立样本 *t* 检验,组内比较采用配对 *t* 检验;对非正态分布采用中位数 *M* (*P*₂₅, *P*₇₅)表示,组间比较用 Mann-Whitney 秩和检验,组内比较采取 Wilconxon 秩和检验,计量资料均采取 χ^2 检验。显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 下肢主要肌群 RMS 值

治疗前两组患儿臀大肌、臀中肌、股四头肌和胫前肌 RMS 数值差异无显著性意义 ($P>0.05$)。治疗后两组患儿臀大肌、臀中肌、股四头肌和胫前肌 RMS 数值较治疗前增加,组内比较具有显著性意义 ($P<0.05$);两组治疗前后臀大肌、臀中肌和股四头

肌 RMS 差值比较具有显著性意义 ($P<0.05$),治疗组差值均大于对照组,两组治疗前后胫前肌 RMS 差值无显著性意义 ($P>0.05$)。见表 2。

2.2 平衡功能

2.2.1 平衡测试移动距离: 治疗前两组患儿平衡测试移动距离无显著性意义 ($P>0.05$)。组内比较,治疗后两组平衡移动距离均大于治疗前 ($P<0.05$);组间比较,两组治疗前后前侧、左侧和右侧移动距离差值具有显著性意义 ($P<0.05$),治疗组明显大于对照组,治疗组后侧移动距离较对照组没有显著性意义 ($P>0.05$)。见表 3。

2.2.2 静态平衡评分和儿童平衡量表: 治疗前两组患儿静态平衡评分无显著性意义 ($P>0.05$)。组内比较治疗前后两组患儿静态平衡评分均提高,具有显著性意义 ($P<0.05$);组间比较两组治疗前后静态平衡评分差值有显著性意义 ($P<0.05$),治疗组评分大于对照组 ($P<0.05$)。见表 4。

治疗前两组患儿 PBS 评分无显著性意义 ($P>0.05$);组内比较治疗前后两组患儿 PBS 平衡评分均提高,具有显著性意义 ($P<0.05$);组间比较两组治疗前后 PBS 评分差值有显著性意义 ($P<0.05$),治疗组评分大于对照组 ($P<0.05$)。见表 5。

表 2 两组患儿治疗前后 RMS 比较 ($\bar{x}\pm s, \mu V$)

测试肌群	治疗组			对照组			<i>P</i> 1	<i>P</i> 2	<i>P</i> 3
	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值			
主动后伸髋关节臀大肌	90.47±26.86	111.68±27.86	19.80±9.72	93.58±28.34	104.94±27.83	11.35±5.47	0.033 ^①	<0.001 ^②	0.021 ^①
主动外展髋关节臀中肌	44.00±5.62	64.50±18.47	16.50±5.26	52.50±18.60	64.60±20.06	12.10±5.82	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.016 ^①
主动伸展膝关节股四头肌	115.15±37.62	131.65±36.16	16.50±8.86	111.15±30.72	121.10±29.30	9.55±5.16	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.004 ^②
主动背屈踝关节胫前肌	95.25±34.82	108.55±34.48	13.35±6.67	96.15±32.45	108.6±34.45	12.70±4.44	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.719

注:*P*1:治疗前后治疗组组内比较,*P*2:治疗前后对照组组内比较,*P*3:治疗组与对照组治疗前后的差值比较:① $P<0.05$,② $P<0.01$

表 3 两组儿童治疗前后平衡测试移动距离比较 ($\bar{x}\pm s, cm$)

测试肌群	治疗组			对照组			<i>P</i> 1	<i>P</i> 2	<i>P</i> 3
	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值			
前侧移动距离	4.23±2.96	5.13±3.60	0.909±0.678	4.16±2.87	4.64±3.14	0.481±0.302	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.014 ^①
后侧移动距离	4.38±2.58	5.02±2.89	- 0.114±4.117	4.32±2.49	4.90±2.74	0.264±3.701	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.762
左侧移动距离	6.56±1.99	8.01±2.57	1.450±0.800	6.55±1.94	7.39±2.05	0.837±0.358	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.003 ^②
右侧移动距离	5.22±1.37	6.22±1.70	1.001±0.474	5.17±1.51	5.79±1.66	0.623±0.261	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.003 ^②

注:*P*1:治疗前后治疗组组内比较,*P*2:治疗前后对照组组内比较,*P*3:治疗组与对照组治疗前后的差值比较:① $P<0.05$,② $P<0.01$

表 4 静态平衡测试评分 *M* (*P*₂₅, *P*₇₅)

	治疗组(<i>n</i> =15)			对照组(<i>n</i> =15)			<i>Z</i> 1	<i>P</i> 1	<i>Z</i> 2	<i>P</i> 2	<i>Z</i> 3	<i>P</i> 3
	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值						
静态平衡评分	7.84 (5.89, 8.43)	9.43 (7.89, 9.89)	1.91 (1.09, 2.44)	7.51 (6.01, 8.71)	8.64 (7.81, 9.37)	1.14 (0.66, 1.49)	3.35	<0.001 ^②	3.40	<0.001 ^②	2.07	0.038 ^①

注:*P*1:治疗前后治疗组组内比较,*P*2:治疗前后对照组组内比较,*P*3:治疗组与对照组治疗前后的差值比较:① $P<0.05$,② $P<0.01$

表5 PBS评分对比 (x±s)

测试肌群	治疗组			对照组			P1	P2	P3
	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值	8周治疗前	8周治疗后	治疗前后差值			
PBS评分	33.0±6.4	39.6±6.5	1.929±1.005	39.6±6.5	36.7±6.9	1.167±0.482	<0.001 ^②	<0.001 ^②	0.004 ^②

注:P1:治疗前后治疗组组内比较,P2:治疗前后对照组组内比较,P3:治疗组与对照组治疗前后的差值比较:①P<0.05,②P<0.01

3 讨论

脑瘫患儿在日常生活中经常会出现跌倒现象,平衡功能异常是其跌倒的主要原因之一。痉挛型双瘫损伤的神经通路大多位于皮层、锥体系及脑室周围白质。大脑损伤导致其运动系统、感觉系统及神经系统之间相互作用异常^[16-17],从而导致姿势控制能力减弱,进而影响到平衡功能。当平衡控制能力降低时,患儿在活动时会出现姿势调整问题,难以有效地完成日常活动^[18]。其平衡功能障碍可分为静态平衡控制能力和动态平衡控制能力的异常。一般认为平衡控制能力与下肢力量、关节活动度、本体感觉及关节稳定性等有关^[19]。痉挛型双瘫患儿的平衡功能异常主要表现为运动时肌肉募集能力差、肌肉之间的协调性紊乱及在运动受到干扰时肌肉激活延迟及异常^[20]。

脑瘫儿童与正常儿童比较肌力明显下降,为了得到稳定的姿势,需要适当的增加肌肉力量和更好的疲劳耐受性^[21]。下肢的肌肉力量对于平衡来说至关重要,在站立姿势中,下肢肌肉力量是静态平衡控制的重要变量,增加肌肉力量可以提高平衡控制能力^[22]。Delgado等^[23]研究证明,外骨骼机器人结合日常康复训练,可以增加下肢肌力,这与本研究的结果相同。本研究中,臀大肌和股四头肌肌电图测试结果表明臀大肌和股四头肌RMS数值增加。在正常步态周期中,在支撑相初期到中期的过程中,股四头肌收缩,使膝关节充分伸展;支撑相末期臀大肌发挥主要作用,完成伸髋动作。由于脑瘫患儿在支撑相前期股四头肌肌力较弱,膝关节不能充分伸展;支撑相末期臀大肌肌力较弱,髋关节不能充分伸展。试验中,采用外骨骼机器人的主动助力模式,使脑瘫患儿在主动运动过程中可以完成更大范围的运动,肌肉充分收缩募集到更多的肌纤维,肌肉的募集程度更高,因此,股四头肌和臀大肌收缩力量更大,从而充分地发挥其伸膝和伸髋作用。另外,本研究结果表明,臀中肌RMS数值也有明显增加,这是由于在

步态周期中,一侧下肢处于支撑中期,另一侧下肢处于摆动中期,支撑侧下肢的臀中肌需要较强的收缩力量,稳定骨盆。在外骨骼机器人步行训练中采用长20m,半径2m的椭圆形路线,患儿需多次进行转弯练习,转弯过程中患儿支撑侧下肢处于支撑中期时间明显延长,臀中肌等长收缩时间更长,因此力量明显增加。Conner BC等^[24]研究发现,单独使用踝足外骨骼机器人训练可以增加脑瘫儿童的踝关节周围肌力,协调性也有所改善。而本研究中,组间比较胫前肌的肌力并没有发生明显的区别,这可能与外骨骼机器人没有踝关节的助力控制电机有关,因在步行过程中对踝关节的运动没有起到辅助的作用,其原因有待进一步的商榷。

有研究显示,下肢外骨骼步态功能训练不仅能改善脑瘫儿童的静态平衡控制能力,对其动态平衡控制能力也有正面的影响^[25-26]。与正常儿童相比,脑瘫儿童的重心稳定平面较正常儿童范围小,当患儿运动受到外界干扰时,其肌肉反应时间会延长,重心偏移范围偏小^[22]。本研究中发现,儿童进行动态平衡稳定的测试时,重心的偏移范围在前侧及左右两侧增加,较训练前改善,使得重心移动范围增大。痉挛型双瘫儿童的步幅较健康儿童偏小,患儿训练的过程中在外骨骼机器人的支撑下,由于电机的助力作用,使其步长增加,重心向前方移动距离增加,并且在转弯的过程中有外骨骼机器人的支撑,可使患儿下肢伸展更为充分,缓解患儿害怕跌倒的负面心理影响,重心向外侧移动距离增加。在使用下肢外骨骼机器人训练时,采用已设定的均匀速度进行训练,并且外骨骼机器人模仿健康儿童的步态模式进行各个关节的运动和协调控制,因此患儿的肌肉活动模式变得更加规律,肌肉之间的协调性和神经控制改善^[27-28],从而使儿童的重心偏移范围在前侧及左右两侧增加。但患儿的后方重心偏移距离组间变化并不明显,推测可能与后方有支架进行支撑,不能很好地进行后方平衡的训练有关,下一步的训练

中考考虑加入后方移动的训练,继续观察其变化。

本研究结果显示,静态平衡测试与PBS评分较训练前,均有明显改善。静态平衡测试包括闭眼单足立位、睁眼双足直线立位、闭眼双足直线立位,PBS包含站立位坐下,从地面拾起物品,交替上台阶等项目,这些项目的保持时间或完成度均与患儿下肢主要肌群的肌力,重心控制能力,即重心最大偏移范围有关,因此静态平衡测试评分与PBS评分均有增加。治疗组评分改善优于对照组,这与Hunt M等^[29]的研究结果相同。综上所述,当患儿的肌力增加、平衡稳定范围增大及静态平衡测试与PBS评分提高时,其静态和动态平衡控制能力都有提高,进一步使其运动平衡功能改善。

因此,下肢外骨骼机器人可以增加痉挛型双瘫脑性瘫痪患儿下肢肌力,提高平衡功能,为患儿的治疗提供一种新的思路。因本研究旨在探索外骨骼机器人步行训练这一训练方法对患儿影响,而非对比治疗师指导步行训练与外骨骼机器人步行训练的差异,治疗组的总治疗时间较对照组总治疗组时间多30min,可能会对治疗结果有所影响。对于上述问题,后续实验将进一步的收集病例,改善研究方案,延长实验时间,跟踪随访干预后患儿平衡功能长期变化。

参考文献

- [1] 中国康复医学会儿童康复专业委员会, 中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会, 《中国脑性瘫痪康复指南》编委会. 中国脑性瘫痪康复指南(2015):第一部分[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(7):747—754.
- [2] 李晓捷, 邱洪斌, 姜志梅, 等. 中国十二省市小儿脑性瘫痪流行病学特征[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2018, 33(5):378—383.
- [3] 中国康复医学会儿童康复专业委员会, 中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会, 中国医师协会康复医师分会儿童康复专业委员会, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2022)第四章:康复治疗(上)[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2022, 37(16):1201—1229.
- [4] Di Marco R, Rubega M, Lennon O, et al. Experimental protocol to assess neuromuscular plasticity induced by an exoskeleton training session[J]. Methods Protoc, 2021, 4(3):48.
- [5] Xue X, Yang X, Deng Z, et al. Global trends and hot-spots in research on rehabilitation robots: a bibliometric analysis from 2010 to 2020[EB/OL]. [2022-01-11]. <https://doi.org/10.3389/fpubh>.
- [6] Hunt M, Everaert L, Brown M, et al. Effectiveness of robotic exoskeletons for improving gait in children with cerebral palsy: a systematic review[J]. Gait Posture, 2022, 98:343—354.
- [7] Song EJ, Lee EJ, Kwon HY. The effects of sling exercise program on balance and body activities in children with spastic cerebral palsy[J]. J Exerc Rehabil, 2021, 17(6):410—417.
- [8] Li YL, Fang LP, Xia BZ, et al. Effects of acupuncture plus MOTomed intelligent motor training in treating children with spastic cerebral palsy[J]. Journal of Acupuncture and Tuina Science, 2021, 19(4):313—320.
- [9] Bora M, Yalçın A, Bulut N, et al. Investigation of surface electromyography amplitude values during stair climbing task in children with Duchenne muscular dystrophy[J]. Neurol Sci, 2022, 43(4):2791—2801.
- [10] Medved V, Medved S, Kovač I. Critical appraisal of surface electromyography (sEMG) as a taught subject and clinical tool in medicine and kinesiology[EB/OL]. [2020-10-26]. <https://doi.org/10.3389/fneur>.
- [11] Chen X, Wu Q, Tang L, et al. Quantitative assessment of lower limbs gross motor function in children with cerebral palsy based on surface EMG and inertial sensors[J]. Med Biol Eng Comput, 2020, 58(1):101—116.
- [12] Lu Y, Xing M, Song J. Design and implementation of balance ability assessment training system for special children based on education cloud integration[EB/OL]. [2022-9-26]. <https://doi.org/10.1155/2022/9359367>.
- [13] Elshafey MA, Abdrabo MS, Elnaggar RK. Effects of a core stability exercise program on balance and coordination in children with cerebellar ataxic cerebral palsy[J]. J Musculoskel Neuron, 2022, 22(2):172—178.
- [14] Alsakhawi RS, Elshafey MA. Effect of core stability exercises and treadmill training on balance in children with down syndrome: randomized controlled trial[J]. Adv Ther, 2019, 36(9):2364—2373.
- [15] Adıgüzel H, Elbasan B. Effects of modified pilates on trunk, postural control, gait and balance in children with cerebral palsy: a single-blinded randomized controlled study [J]. Acta Neurol Belg, 2022, 122(4):903—914.
- [16] Skoutelis VC, Kanellopoulos AD, Kontogeorgakos VA, et al. The orthopaedic aspect of spastic cerebral palsy[J]. J Orthop, 2020, 22:553—558.
- [17] Pavão SL, Rocha NACF. Sensory processing disorders in children with cerebral palsy[J]. Infant Behav Dev, 2017, 46:1—6.
- [18] Abidin N, Ünlü Akyüz E, Cankurtaran D, et al. The effect of robotic rehabilitation on posture and trunk control in non-ambulatory cerebral palsy[J]. Assist Technol, 2022, 5:1—7.
- [19] Kim SG, Kim WS. Effect of ankle range of motion (ROM) and lower-extremity muscle strength on static bal-

- ance control ability in young adults: a regression analysis[J]. Med Sci Monit, 2018, 24:3168—3175.
- [20] Crenshaw JR, Petersen DA, Conner BC, et al. Anteroposterior balance reactions in children with spastic cerebral palsy[J]. Dev Med Child Neurol, 2020, 62(6):700—708.
- [21] Rodríguez-Costa I, De la Cruz-López I, Fernández-Zárate I, et al. Benefits of a low-cost walking device in children with cerebral palsy: a qualitative study[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(6):2808.
- [22] Hagen M, Seidel S, Sanchez Bergmann D, et al. Associations between subtalar muscle strength and balance performance in healthy young and old adults[J]. Gerontology, 2020, 66(1):15—23.
- [23] Delgado E, Cumplido C, Ramos J, et al. ATLAS2030 pediatric gait exoskeleton: changes on range of motion, strength and spasticity in children with cerebral palsy. a case series, study[EB/OL].[2021-11-14].<https://doi.org/10.3389/fped>.
- [24] Conner BC, Luque J, Lerner ZF. Adaptive ankle resistance from a wearable robotic device to improve muscle recruitment in cerebral palsy[J]. Ann Biomed Eng, 2020, 48(4):1309—1321.
- [25] Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, et al. Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gait of children with cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2018, 60:55—60.
- [26] Diot CM, Thomas RL, Raess L, et al. Robotic lower extremity exoskeleton use in a non-ambulatory child with cerebral palsy: a case study[J]. Disabil Rehabil-Assi, 2023, 18(5):497—501.
- [27] Fang Y, Orekhov G, Lerner ZF. Adaptive ankle exoskeleton gait training demonstrates acute neuromuscular and spatiotemporal benefits for individuals with cerebral palsy: a pilot study[J]. Gait Posture, 2022, 95:256—263.
- [28] Fanti V, Sanguineti V, Caldwell DG, et al. Assessment methodology for human-exoskeleton interactions: Kinetic analysis based on muscle activation[EB/OL]. [2022-10-26]. <https://doi.org/10.3389/fnbot>.
- [29] Hunt M, Everaert L, Brown M, et al. Effectiveness of robotic exoskeletons for improving gait in children with cerebral palsy: a systematic review[J]. Gait Posture, 2022, 98:343—354.

(上接第339页)

- [9] 郭津, 李晓捷, 曹建国, 等. 《改善脑性瘫痪儿童和青少年身体功能的干预措施国际临床实践指南》中国专家解读建议[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2022, 37(7):502—509.
- [10] 中国康复医学会儿童康复专业委员会, 中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会, 中国医师协会康复医师分会儿童康复专业委员会, 等. 中国脑性瘫痪康复指南(2022)第四章:康复治疗(上)[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2022, 37(16):1201—1229.
- [11] Aisen ML, Kerkovich D, Mast J, et al. Cerebral palsy: clinical care and neurological rehabilitation[J]. Lancet Neurol, 2011, 10(9):844—852.
- [12] 陈秀洁, 姜志梅. 小儿脑性瘫痪运动治疗实践[M]. 第2版. 北京:人民卫生出版社, 2022:535—553.
- [13] 中华医学会儿科学分会康复学组. 儿童脑性瘫痪运动障碍的康复建议[J]. 中华儿科杂志, 2020, 58(2):91—95.
- [14] Alotaibi M, Long T, Kennedy E, et al. The efficacy of GMFM-88 and GMFM-66 to detect changes in gross motor function in children with cerebral palsy (CP): a literature review[J]. Disabil Rehabil, 2014, 36(8):617—627.
- [15] 徐冬浩, 史惟, 李惠, 等. 脑瘫儿童精细运动功能测试量表的效度和反应度研究[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(11):1010—1013.
- [16] 李晓捷. 实用儿童康复医学[M]. 第2版. 北京:人民卫生出版社, 2016:30—32.
- [17] Kershner JR. Relationship of motor development to visual-spatial cognitive growth[J]. Journal of Special Education, 1974, 8(1):91—101.
- [18] Novak I, Morgan C, Fahey M, et al. State of the evidence traffic lights 2019: systematic review of interventions for preventing and treating children with cerebral palsy[J]. Curr Neurol Neurosci, 2020, 20(2):3.
- [19] Kleim JA, Jones TA. Principles of experience dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage[J]. J Speech Lang Hear R, 2008, 51(1):S225—239.
- [20] Loya F, Novakovic-Agopian T, Binder D, et al. Long-term use and perceived benefits of goal-oriented attentional self-regulation training in chronic brain injury[J]. Rehabil Res Pract, 2017, 2017:8379347.
- [21] Sandlund M, Domellf E, Grip H, et al. Training of goal directed arm movements with motion interactive video games in children with cerebral palsy:a kinematic evaluation[J]. Dev Neurorehabil, 2014, 17(5):318—326.
- [22] 蓝建洪, 李鑫, 邓艳媚, 等. 头针联合目标导向性训练对痉挛型脑瘫患儿运动功能和脑血流动力学的影响[J/OL]. 现代医学与健康研究, 2020, 4(5):11—13.
- [23] Mastos M, Miller K, Eliasson AC, et al. Goal directed training: linking theories of treatment to clinical practice for improved functional activities in daily life[J]. Clin Rehabil, 2007, 21(1):47—55.