

·临床研究·

机器人辅助训练对脑卒中偏瘫患者姿势控制和认知能力的影响*

杨寅^{1,2} 郑洁皎^{1,2,3} 张杰² 曲冰²

摘要

目的:通过评估下肢功能和本体感觉、平衡、认知、日常生活活动能力的指征变化,观察机器人辅助训练对脑卒中偏瘫患者姿势控制和认知能力的影响。

方法:招募脑卒中偏瘫患者48例,随机分为试验组和对照组。对照组采用常规物理疗法,试验组在对照组基础上增加机器人辅助训练。训练4周后进行下肢Fugl-Meyer运动功能(FMA-LE)、关节位置觉(JPS)、Berg平衡量表(BBS)、蒙特利尔认知评估量表(MoCA)和改良 Barthel 指数(MBI)评价。采用Pearson相关系数分析FMA-LE、MoCA与机器人辅助训练得分的相关性。

结果:两组治疗后FMA-LE、JPS、BBS、MoCA和MBI明显优于治疗前,有显著性差异($P<0.05$);治疗4周后,治疗组FMA-LE、JPS、BBS和MoCA改善情况优于对照组,差异有显著性意义($P<0.05$),但MBI无显著性差异($P>0.05$);试验组患者训练得分在治疗后均有提高,且分别与FMA-LE评分和MoCA评分呈相关性。

结论:常规康复治疗 and 机器人辅助训练均可以改善脑卒中偏瘫患者平衡、步行和认知能力。而机器人辅助训练对提高姿势控制能力更显著,但对提高日常生活活动能力作用不明显。

关键词 脑卒中;机器人辅助训练;姿势控制;认知

中图分类号:R743.3,R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2026)-07-1064-09

Effects of robot-assisted training on postural control and cognitive ability in stroke patients with hemiplegia/YANG Yin,ZHENG Jiejiao,ZHANG Jie,et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2026, 41 (7):1064—1072

Abstract

Objective:To observe the effects of robot-assisted training on postural control and cognitive ability in stroke patients with hemiplegia by evaluating changes of lower limb function and proprioception, balance, cognition, and activities of daily living.

Method: Forty-eight stroke patients with hemiplegia were recruited and randomly divided into experimental group and control group. The control group received conventional physical therapy, while the experimental group received robot-assisted training in addition to the conventional physical therapy. After 4 weeks of training, the Fugl-Meyer motor function (FMA-LE), joint position sense (JPS), Berg balance scale (BBS), Montreal cognitive assessment (MoCA) and modified Barthel index (MBI) were evaluated. Pearson correlation coefficient was used to analyze the correlation between FMA-LE, MoCA and robot-assisted training scores.

Result:After treatment, the FMA-LE, JPS, BBS, MoCA and MBI of the two groups were significantly better than those before treatment ($P<0.05$). After 4 weeks of treatment, the improvement of FMA-LE, JPS, BBS and MoCA in the treatment group was significantly better than that in the control group ($P<0.05$), but there

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2026.07.007

*基金项目:上海市科委“科技创新行动计划”项目(21MC1930200;22Y31900200);华东医院院级重点培育学科建设项目(H1160)

1 上海中医药大学康复医学院,上海市,201203; 2 复旦大学附属华东医院; 3 通讯作者

第一作者简介:杨寅,女,硕士,主管技师; 收稿日期:2023-11-18

was no significant difference in MBI ($P>0.05$). The training scores of the experimental group were improved after treatment, and were correlated with the FMA-LE and MoCA score.

Conclusion: Both conventional rehabilitation and robot-assisted training can improve balance, walking, and cognition in hemiplegic stroke patients. Robot-assisted training is more effective in improving postural control ability, but not in activities of daily living.

Author's address School of Rehabilitation Science, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai, 201203

Key word stroke; robot-assisted therapy; posture control; cognition

脑卒中是影响全球人类最普遍和最具破坏性的疾病之一^[1]。我国脑卒中患病人数占全球首位^[2]。脑卒中是导致长期残疾的首要原因^[3],在我国每年约有200万新发病例,其中70%至80%的患者因残疾而无法独立生活^[4],尤其是65岁以上的患者,有一半以上会存在一侧肢体功能障碍和运动控制能力下降^[5-7],影响日常生活活动和社会参与^[8]。尽管大部分患者在恢复期可以独立行走,但平衡和步态缺陷会长期留存^[9-10]。脑卒中偏瘫患者通常出现认知障碍与姿势控制能力下降并存。Blahak等^[11]研究证明,认知功能与运动和姿势控制有关,步行过程中的姿势控制由大脑认知功能的中心区域前额叶皮质控制,其与初级运动皮质、运动区皮质(M1区)、皮质下结构和小脑密切相关。Popa等^[12]发现,皮质运动区、基底神经节和小脑不仅与运动控制有关,而且在认知、语言处理、感知和学习中发挥重要作用。因此,提高姿势控制和认知能力对提高患者生存质量有重要意义。目前关于针对姿势控制和核心稳定性训练包括常规物理疗法(physical therapy)和作业疗法(occupational therapy)、镜像疗法(mirror therapy)^[13]、实时视觉反馈(real-time visual feedback)^[14]、双重任务训练(dual-task exercise)^[15]等。传统康复治疗可以改善患者平衡和姿势控制功能^[15],但会因治疗师专业和环境等因素影响,治疗强度无法量化。

随着先进制造技术的发展及三维成像模式的普及,机器人的应用已广泛应用在医疗、研究、工业等领域,准确度高、精密度高、工作效率高、稳定性好是机器人的显著优势^[16]。有研究表明^[17],个性化治疗和患者高配合度是训练有效性的的重要依据。机器人辅助治疗(robot-assisted therapy, RT)是利用机器人设备向患者提供以任务为导向的训练方法^[18]。与传统康复训练相比,RT趣味性强、形式多样,能协助患

者在较少监督下独立训练,激发患者主动参与能力,模拟多种场景,实现个性化多方案训练,获取实时反馈,提高治疗依从性^[19],实现高性价比、可重复性的训练^[20],提高整体康复效果。Zhong等^[21]研究开发了一种混合电缆驱动的下肢外骨骼机器人,通过外骨骼结构作为膝-踝-足矫形器,缓解步行过程中膝过伸和踝内翻/外翻异常模式,证明RT可有效改善脑卒中后步态表现即时变化。RT因可以提供密集、可重复的干预措施可诱发神经可塑性^[22],现已被广泛用于脑卒中康复治疗^[23],包括上肢功能训练^[24]、步态训练^[25]、平衡训练^[26]和躯干训练^[27]等,但针对姿势控制和认知能力的研究较少。本研究主要目的是评估机器人辅助训练在提高姿势和认知能力方面是否有效,能否对减少跌倒风险、提高认知水平和日常活动与参与能力产生积极影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

从2022年8月—2023年6月在复旦大学附属华东医院康复医学科门诊和住院部共招募48例脑卒中偏瘫患者,通过随机数字表法分为试验组和对照组,每组包含24例患者。

纳入标准:①年龄:60—85岁;②根据第四届全国脑血管疾病会议的标准,经过头颅CT或头颅MRI检查确诊为首次发作的脑卒中患者;③生命体征平稳,意识清楚者;④病程为发病后1—6个月;⑤有单侧肢体障碍,无严重心脏病史和其他神经系统疾病的患者;⑥体重<140kg、身高范围:1.5—1.9m;⑦无严重认知功能障碍,能配合完成相应治疗,简易智力状况检查法(mini-mental state examination, MMSE)得分>24;⑧Brunnstrom下肢分期Ⅳ期及以上。

排除标准:①病情不稳定患者;②因心肺疾病、

肌肉骨骼系统或接触设备部分皮肤溃疡等并发症,无法耐受穿戴机器人进行训练者;③有明显视觉障碍、严重视觉空间忽略;④出现下肢血栓等限制活动的并发症患者;⑤严重挛缩者。

两组一般资料比较差异均无显著性意义($P>0.05$),见表1,具有可比性。

表1 两组患者一般资料对比

项目	对照组 (n=24)	试验组 (n=24)	t值/ χ^2 值	P值
性别[n(%)]			$\chi^2=0.820$	0.365
男	14(58.33)	17(70.83)		
女	10(41.67)	7(29.17)		
偏瘫侧[n(%)]			$\chi^2=0.343$	0.558
左	11(45.83)	9(37.5)		
右	13(54.42)	15(62.5)		
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	70.96 $\pm$ 7.31	69.41 $\pm$ 6.92	$t=0.750$	0.457
身高(cm)	166.46 $\pm$ 10.05	165.29 $\pm$ 7.73	$t=0.451$	0.654
体重(kg)	67.17 $\pm$ 12.78	66.67 $\pm$ 11.68	$t=0.142$	0.888
病程($\bar{x}\pm s$,d)	126.54 $\pm$ 7.23	128.46 $\pm$ 33.51	$t=-0.187$	0.852

纳入脑卒中偏瘫患者均签署知情同意书,并被告知相关治疗风险。本研究已经获得复旦大学附属华东医院伦理委员会审批(No.2022K169)。本研究已在中国临床试验注册中心注册(No.ChiCTR2300073324)

1.2 方法

对照组和试验组均采用常规物理疗法(conventional physical therapy, CPT),试验组在CPT基础上增加RT,每次30min,每日1次,每周5次,共4周^[28-29]。持续监测患者生命体征,一旦出现不适情况,立即停止训练并提供相应处理。训练和评估由专业康复治疗师固定一对一进行。

样本量估算:采用G*power软件(v3.1)计算,根据一项类似研究^[30],设置 $\alpha=0.05$, $\beta=0.2$,每组至少需要20例参与者,按20%的流失率,共招募参与者48例。

1.2.1 对照组:包括肌力训练、躯干和骨盆控制、步行训练、重心转移等^[31-32],共30min。

①重心转移训练:平衡杠训练内站立位下进行左右和前后重心转移;双、单腿站立训练;睁眼、闭眼训练,共10min;

②步态训练:前进步、后退步、侧向活动,手抛球分散注意力,共10min;

③关节活动度训练:患侧主动和被动关节活动度训练,共10min。

1.2.2 试验组:采用THERA-Trainer balo站立训练台配合THERA-soft basic平衡辅助训练系统(德国菲兹曼公司)。训练台包括可调整倾斜角度的作业台、气弹簧高度调节系统、骨盆支撑装置、膝关节固定托、足部固定器和辅助腰带等。根据患者身高,调整作业台和膝关节固定托的高度,嘱患者站立在训练平台上,固定骨盆和双足。打开位置传感器链接辅助训练系统,按个体化训练要求,建立个人档案,设置训练内容和强度参数,打开平衡固定器开始动态平衡训练。患者通过移动用户界面中的人物或球体,由重心转移进行二维多方向训练,逐步增加姿势控制稳定性难度。通过声音实时反馈,提高运动速度和反应能力。训练全程由治疗师一对一陪同。每次CPT15min,RT15min,见图1。

图1 机器人辅助训练场景



1.3 评定方法

统计两组在首次治疗前和训练4周后,评估所有患者FMA-LE、JPS、BBS、MoCA和MBI评价量表。每次训练后由专人记录THERA-soft basic平衡辅助训练系统采集的游戏分值。

1.3.1 下肢Fugl-Meyer运动功能评定(Fugl-Meyer assessment lower-extremity subscale, FMA-LE):是目前评估中枢性运动功能障碍有效的工具。评定包括运动、感觉、平衡、关节活动度和关节疼痛等领域,每项包含多个项目,每个项目按顺序进行评分,得分范围为0—34分,得分越高表示表现越好^[33-34]。

1.3.2 膝关节空间位置觉(joint-position sense, JPS):使用被动复位测试法,以被动复位绝对误差角度评估患侧膝关节本体感觉(位置觉)。利用Biodex System多关节等速测试及训练系统(Biodex 医

疗器械公司,美国)进行膝关节位置觉测试,可记录测量角度等数据^[35],为本研究本体感觉测评提供客观依据。测试方法:由测试人员将测试程序向患者充分说明,患者坐在等速测试座椅上,保持髋、膝关节屈曲90°,双腿自然下垂,分别固定肩部、腰部、患侧大腿部及踝部,仅保留膝关节屈伸活动度,减少其他关节活动;为避免视觉和听觉影响测试结果,须佩戴眼罩和耳塞;由测试臂带动患侧下肢被动移到膝关节伸45°,停留10s,要求患者认真感受该角度位置,再让患者练习一次被动寻找目标位置。然后膝关节回到原始角度90°,嘱患者手持开关按钮,测试臂的角速度设为2°/s,患者按下停止移动按钮时,认为已达目标角度,且不能再矫正角度。系统记录角度数,并显示目标位置 and 实际位置之间的差值^[36]。完成上述测试共3次,每次动作在1min内完成。取平均绝对误差(absolute error, AE)进行分析,AE值越小膝关节本体感觉位置觉功能越好^[37]。

1.3.3 Berg平衡量表(Berg balance scale, BBS):由14个项目组成,评估坐位、站立位和单腿站立等平衡能力,按完成程度分5个等级,分别计0—4分,得分范围为0—56分,得分越高表明平衡性越好^[38]。

1.3.4 蒙特利尔认知评估量表(Montreal cognitive assessment, MoCA):已广泛用于临床评估中,可较快和准确地衡量认知功能状态^[39]。得分范围为0—30分,分数越高表示认知越好。

1.3.5 改良 Barthel 指数(modified Barthel index, MBI):在评估脑卒中患者日常生活活动能力(activities of daily living, ADL)方面具有较高的可靠性^[40]。最高100分,分数越高,ADL功能越好。

1.4 统计学分析

采用SPSS 26.0软件对数据进行统计分析,计量资料用率(%)表示,比较用 χ^2 检验。计量资料用均数 $\pm$ 标准差表示,不服从正态分布的计量资料比较使用秩和检验,符合正态分布,采用 t 检验进行比较。应用Pearson相关统计对试验组FMA-LE和游戏得分之间进行相关性分析。显著性水平 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

纳入患者48例,随机分为两组,试验过程无脱

落,全部进入结果分析。

2.1 两组治疗前后患侧FMA-LE比较

试验组和对照组治疗前FMA-LE评分差异无显著性意义($P>0.05$);治疗后试验组评分高于对照组($P<0.05$);两组治疗前后的差值分别比较均有显著性意义($P<0.05$),见表2。

2.2 游戏指标分值

试验组患者二维多向游戏的分值在治疗后均有提高,见图2。

2.3 相关性分析

2.3.1 FMA-LE评分和游戏得分之间相关分析:采用Pearson相关性分析显示,试验组FMA-LE和二维多向游戏得分呈正相关($r=0.574$, $P=0.003$),见图3。

2.3.2 MoCA评分和游戏得分之间相关分析:采用Pearson相关性分析显示,试验组MoCA和二维多向游戏得分呈正相关($r=0.698$, $P<0.001$),见图4。

2.4 两组患者治疗前后患侧膝关节AE比较

两组治疗前AE无显著性差异($P>0.05$);治疗后试验组AE明显低于对照组,且治疗前后差值比较均有显著性差异($P<0.05$)。见表3。

2.5 两组患者治疗前后BBS比较

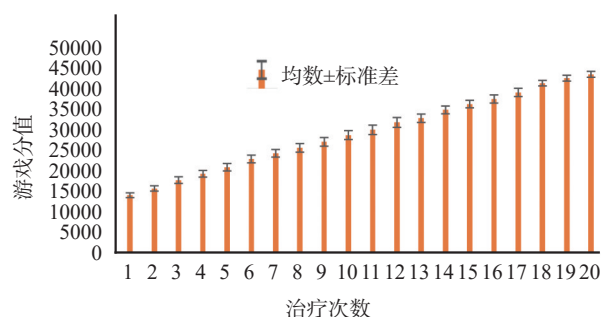
两组治疗前BBS评分无显著性差异($P>0.05$);治疗后试验组BBS得分明显高于对照组,且治疗前

表2 两组患者诊疗前后FMA-LE评分值的比较
($\bar{x}\pm s$, $n=24$, 分)

组别	治疗前	治疗后	差值	t 值 ^①	P 值 ^①
对照组	12.63 $\pm$ 2.75	18.00 $\pm$ 2.90	4.46 $\pm$ 1.41	15.451	<0.001
试验组	12.88 $\pm$ 2.76	21.38 $\pm$ 3.56	8.50 $\pm$ 3.40	12.245	<0.001
t 值	-0.315	-3.598	-5.376		
P 值	0.754	0.001	<0.001		

注:①同组治疗前后比较。

图2 训练后试验组游戏分值变化



后差值比较均有显著性差异($P<0.05$)。见表4。

2.6 两组患者治疗前后 MoCA 比较

两组治疗前 MoCA 无显著性差异($P>0.05$)；治疗后试验组 MoCA 得分明显高于对照组，且治疗前后差值比较均有显著性差异($P<0.05$)。见表5。

2.7 两组患者治疗前后 MBI 比较

两组治疗前 MBI 得分无显著性差异($P>0.05$)；治疗后两组 MBI 得分没有显著性差异($P>0.05$)，但治疗前后差值比较均有显著性差异($P<0.05$)。见表6。

2.8 不良反应

治疗过程中均未发生不良事件。

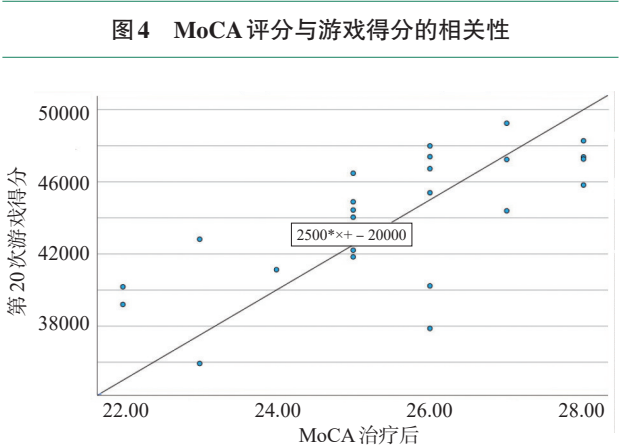
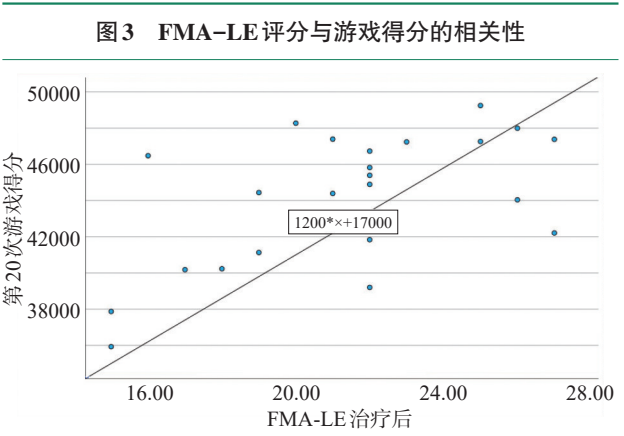


表3 两组患者治疗前后 AE 比较 ($\bar{x}\pm s$, n=24, %)

组别	治疗前	治疗后	差值	t值 ^①	P值 ^①
对照组	9.43±6.10	6.60±3.73	- 2.83±4.65	- 2.981	0.007
试验组	9.90±5.67	4.01±3.71	- 5.90±5.51	- 5.240	<0.001
t值/Z值	- 0.309	- 2.589	- 2.083		
P值	0.757	0.010	0.043		

注:①同组治疗前后比较。

表4 两组患者诊疗前后BBS评分值的比较($\bar{x}\pm s$, n=24, 分)

组别	治疗前	治疗后	差值	t值 ^①	P值 ^①
对照组	23.75±2.36	32.88±2.79	9.13±3.39	13.179	<0.001
试验组	24.13±2.11	40.79±1.86	16.67±2.55	32.043	<0.001
t值/Z值	- 0.614	- 11.567	- 8.709		
P值	0.539	<0.001	<0.001		

注:①同组治疗前后比较。

表5 两组 MoCA 评分比较 ($\bar{x}\pm s$, n=24, 分)

组别	治疗前	治疗后	差值	t值 ^①	P值 ^①
对照组	20.38±2.37	24.29±2.12	3.92±1.38	13.899	<0.001
试验组	20.29±2.27	25.54±1.79	5.25±1.98	12.966	<0.001
t值	0.124	- 2.208	- 2.703		
P值	0.902	0.032	0.010		

注:①同组治疗前后比较。

表6 两组患者 MBI 比较 ($\bar{x}\pm s$, n=24, 分)

组别	治疗前	治疗后	差值	Z值 ^①	P值 ^①
对照组	48.96±5.89	61.67±5.84	12.71±4.89	- 4.340	<0.001
试验组	50.42±8.06	62.29±9.32	11.88±5.07	- 4.329	<0.001
Z值	- 0.529	- 0.169	- 0.422		
P值	0.597	0.866	0.673		

注:①同组治疗前后比较。

3 讨论

脑卒中后引发的运动障碍、感觉障碍、认知和知觉退化等,对患者独立功能产生负面影响,超过60%的脑卒中幸存者出现日常生活限制,约40%患者在患病第一年内发生跌倒^[41]。有研究结果表明^[42],认知功能下降会增加脑卒中患者转身和坐下时的跌倒风险。跌倒不仅对身体、心理和经济等方面产生不良影响,其后果可能还会影响到康复进程。因此预防跌倒,找到安全有效的治疗方法对脑卒中患者非常重要和必要。

常规手法治疗主要取决于治疗师经验,且对治疗师体力要求较高,难以满足高强度、重复性训练的要求,且其耗时耗力的性质限制了成本效益,同时,脑卒中后患者的感觉和运动障碍会导致错误的运动模式无法检测和纠正,因此,通过先进康复设备实时反馈机制,可以加强患者学习正确运动模式至关重要^[43]。RT作为一项康复新兴领域,已受到研究者、康复医师和治疗师的广泛关注。RT技术的显著优势能将个性化康复策略和客观衡量指标相融合,利用人机交流和交互、多渠道、多模式的方式,实现更

复杂的康复训练^[44-45]。本研究采用的RT适用于站立受限的脑卒中偏瘫患者,通过给予患者安全的固定和支撑,开展以任务为导向的定量重复性训练,可以改善站立平衡能力和姿势稳定性、预防跌倒、维持和延长站立时长、预防肌肉萎缩、改善呼吸功能、增加髋关节稳定性等。减少患者和康复治疗师对跌倒的恐惧,能更专注于训练过程,有助于更加准确、定量和有效的开展康复训练。同时结合游戏反馈技术,提高认知功能,正向激励,激发患者主动参与,改善循环和感知,建立自信。

本研究经下肢运动功能分析显示,两组FMA-LE评分较治疗前均有显著改善($P<0.05$),且治疗后试验组改善更显著($P<0.05$),这表明RT干预后下肢运动恢复有更大改善。通过调整膝关节支撑力,防止关节过度伸展,预防肌肉、肌腱或韧带损伤,提高训练安全性。图3表明随着RT训练次数增加,游戏得分呈上升趋势,且两者存在相关性,见图4。这与Kim等^[46]和Zhong等^[21]关于RT可提高脑卒中下肢运动和步行能力的研究结果一致。一项Cochrane荟萃分析显示^[47],在实现独立步行的可能性方面,RT联合常规康复训练比单纯实施康复训练更有效。Mackay等^[48]在20例慢性脑卒中患者研究中发现,有氧运动对脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)、生长激素和皮质醇水平和/或神经递质变化有积极作用,并且可以提高移动光标任务的精确程度。因此,神经生理和运动能力的改善对新神经元的形成、发展和增强,以及皮质重组神经元基质方面有关键作用^[49]。神经可塑性是脑卒中患者功能恢复的重要驱动力^[50]。强化和重复的任务特异性训练可以显著提高智力、记忆力、注意力和逻辑思维,是促进神经可塑性的有效方式^[51]。研究发现^[52],皮质神经可塑性变化与脑卒中偏瘫患者运动功能恢复和FMA评分的改善密切相关,这也进一步证实了RT可以改善运动功能。

JPS是常用的本体感觉筛查方法,是对空间中肢体位置的静态感知能力^[53]。Kim等^[31]对37例脑卒中患者研究发现,认知感觉运动和任务训练可以改善本体感觉、痉挛和步态速度。Lim^[54]研究表明,多感官运动训练对脑卒中偏瘫下肢本体感觉和平衡能力有显著改善。本研究中,两组治疗前后患侧膝关

节本体感觉有显著提高($P<0.05$),且RT干预效果更明显($P<0.05$)。可能的潜在机制是,RT可以通过参与感觉、认知和感知运动路径来丰富训练环境,帮助患者在训练过程中精确地激活运动所需肌肉群,改善关节周围主动肌和拮抗肌协调性;同时,RT系统可以提供重量支持、重复运动和视觉引导,能增加不同方向上的重复重心转移次数,不断刺激本体感觉,加强体感反馈,从而改善空间位置觉^[55]。

平衡测试分析显示,两组治疗前后BBS评分均有提高($P<0.05$),且治疗后试验组较对照组改善更显著($P<0.05$),这表明相较于CPT,RT干预对脑卒中患者的平衡能力更有利。这一结果与Zhang等^[56]的Meta分析结论一致。Park等^[57]对14例急性脑卒中偏瘫患者实施RT干预,2周后发现RT组BBS评分显著提高。这可能是由于RT可以有效控制运动过程中躯干移动幅度,限制重心偏移轨迹,重复输入正常平衡模式和本体感觉,提高核心和下肢肌力和稳定性,促进平衡协调功能改善。

认知能力和姿势稳定性之间存在显著关系^[58]。在大部分情况下,姿势控制可在没有自主意识控制的情况下自动完成^[59],但经双任务研究表明^[60],姿势控制能力会因中枢神经损伤,如脑卒中等疾病出现任务难度。脑卒中会导致神经元细胞的损伤和死亡^[61],认知功能减退^[62]。认知功能分析显示,治疗后对照组和试验组的MoCA评分有改善($P<0.05$),且试验组改善更显著($P<0.05$)。Bui等^[63]研究显示,RT对视觉空间和执行功能有显著影响,并强调在评估运动表现时应考虑认知障碍层面的必要性。另一项研究发现^[64],有氧训练、带视频屏幕的固定自行车或运动游戏等干预措施,可以增强认知障碍患者的认知功能和神经精神症状,可以预防大脑功能下降。尤其是将躯体和认知治疗相结合的训练模式,对轻度认知障碍患者具有积极的神经修复作用^[65]。潜在的神经生理机制可能是因为RT、步行锻炼或特定任务运动可能导致前扣带皮质和海马区域之间的联系发生变化,对认知功能产生积极影响^[66]。本研究观察发现认知功能可能影响姿势控制能力,提示认知训练可能是改善脑卒中后姿势控制的治疗方向。经相关性分析显示,认知能力与游戏得分存在相关性,说明RT对脑卒中偏瘫患者认知能力有积极

影响,见图4。

在日常生活中,患者需要复杂的姿势控制能力(包括姿势稳定性和定向)以适应复杂的环境,避免发生跌倒。ADL分析显示,RT干预后,试验组和对照组治疗前后MBI均显著改善($P<0.05$),但治疗后两组间没有显著性差异($P>0.05$)。这之前研究结论Kim等^[67]研究结果相近。本研究结果未显示RT与ADL之间的关联,可能归因于研究样本数量较少或治疗时长较短。但是,虽然在ADL中两组治疗后改善差异不明显,但机器人辅助训练可以节约人力,可视为任务导向训练的替代干预措施。

姿势控制需要多个身体系统的协调作用,包括视觉、前庭及本体感觉^[68]。姿势稳定性可以用静态平衡和动态平衡来描述,即以最小的姿势摆动保持选定姿势的能力和以可控的方式相对于支撑基础移动重心的能力^[69]。中枢神经系统内部的稳定锥平衡模式可用于确定如何移动以保持平衡^[70]。姿势控制障碍患者的稳定锥通常很小,或对稳定锥表征失真,两者都会影响患者选择保持平衡的运动策略。该RT模拟稳定锥模式,由足部支撑面的大小、关节活动度、肌力和可调整倾斜角度的作业台,通过反复训练身体重心位置维持在特定空间边界,有效改善姿势稳定性。

本研究存在一定局限性。因姿势控制能力可能会随训练时间的持续而改善,而本次研究训练时长仅4周,可能难以判断长期效果,今后需考虑增加训练和随访时间,进一步开展更多样本研究,设计RT不同训练强度和模式,探讨最佳剂量和不同训练组合。同时考虑联合肌电信号和脑电信号等检测,加入神经生理学工具评估,探索康复疗效与训练参数之间的内在关系和作用机制,多维度评估策略以验证其有效性。

4 结论

常规康复训练基础上增加机器人辅助训练能够进一步提高脑卒中偏瘫患者的下肢运动功能、平衡、ADL和认知能力。表明机器人辅助训练对脑卒中偏瘫患者姿势控制和日常生活恢复有积极影响。本研究为优化脑卒中姿势控制能力训练提供可行建议。

参考文献

- [1] Iadecola C, Buckwalter MS, Anrather J. Immune responses to stroke: mechanisms, modulation, and therapeutic potential [J]. The Journal of Clinical Investigation, 2020, 130(6): 2777—2788.
- [2] 王陇德, 彭斌, 张鸿祺, 等. 《中国脑卒中防治报告2020》概要[J]. 中国脑血管病杂志, 2022, 19(2): 136—144.
- [3] Barthels D, Das H. Current advances in ischemic stroke research and therapies[J]. Biochimica Et Biophysica Acta Molecular Basis of Disease, 2020, 1866(4): 165260.
- [4] Zhang T, Zhao J, Li X, et al. Chinese stroke association guidelines for clinical management of cerebrovascular disorders: executive summary and 2019 update of clinical management of stroke rehabilitation[J]. Stroke and Vascular Neurology, 2020, 5(3): 250—259.
- [5] Toman NG, Grande AW, Low WC. Neural repair in stroke [J]. Cell Transplantation, 2019, 28(9—10): 1123—1126.
- [6] Tater P, Pandey S. Post-stroke movement disorders: clinical spectrum, pathogenesis, and management[J]. Neurology India, 2021, 69(2): 272—283.
- [7] Medeiros GC, Roy D, Kontos N, et al. Post-stroke depression: A 2020 updated review[J]. General Hospital Psychiatry, 2020, 66: 70—80.
- [8] Wu J, Zeng A, Chen Z, et al. Effects of virtual reality training on upper limb function and balance in stroke patients: systematic review and meta-meta-analysis[J]. Journal of Medical Internet Research, 2021, 23(10): e31051.
- [9] Eng JJ, Tang PF. Gait training strategies to optimize walking ability in people with stroke: a synthesis of the evidence[J]. Expert Review of Neurotherapeutics, 2007, 7(10): 1417—1436.
- [10] Wonsetler EC, Bowden MG. A systematic review of mechanisms of gait speed change post-stroke. Part 2: exercise capacity, muscle activation, kinetics, and kinematics[J]. Topics in Stroke Rehabilitation, 2017, 24(5): 394—403.
- [11] Blahak C, Baezner H, Pantoni L, et al. Deep frontal and periventricular age related white matter changes but not basal ganglia and infratentorial hyperintensities are associated with falls: cross sectional results from the LADIS study [J]. Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 2009, 80(6): 608—613.
- [12] Popa T, Morris LS, Hunt R, et al. Modulation of resting connectivity between the mesial frontal cortex and basal ganglia[J]. Frontiers in Neurology, 2019, 10: 587.
- [13] Lee D, Lee G. Effect of afferent electrical stimulation with mirror therapy on motor function, balance, and gait in chronic stroke survivors: a randomized controlled trial [J]. European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine, 2019, 55(4): 442—449.
- [14] Hyun SJ, Lee J, Lee BH. The effects of sit-to-stand training combined with real-time visual feedback on strength, balance, gait ability, and quality of life in patients with stroke: a randomized controlled trial[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(22): 12229.
- [15] Pang MYC, Yang L, Ouyang H, et al. Dual-task exercise

- reduces cognitive-motor interference in walking and falls after stroke[J]. *Stroke*, 2018, 49(12): 2990—2998.
- [16] Adel S, Zaher A, El Harouni N, et al. Robotic applications in orthodontics: changing the face of contemporary clinical care[J]. *BioMed Research International*, 2021, 2021: 9954615.
- [17] Cavero-Redondo I, Saz-Lara A, Sequi-Dominguez I, et al. Comparative effect of eHealth interventions on hypertension management-related outcomes: a network meta-analysis[J]. *International Journal of Nursing Studies*, 2021, 124: 104085.
- [18] Hwang S, Song CS. Assistive technology involving postural control and gait performance for adults with stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 2023, 11(15): 2225.
- [19] Chien WT, Chong YY, Tse MK, et al. Robot-assisted therapy for upper-limb rehabilitation in subacute stroke patients: A systematic review and meta-analysis[J]. *Brain and Behavior*, 2020, 10(8): e01742.
- [20] Lo K, Stephenson M, Lockwood C. The economic cost of robotic rehabilitation for adult stroke patients: a systematic review protocol[J]. *JBIC Database of Systematic Reviews and Implementation Reports*, 2018, 16(8): 1593—1598.
- [21] Zhong B, Shen M, Liu H, et al. A cable-driven exoskeleton with personalized assistance improves the gait metrics of people in subacute stroke[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2023;31:2560—2569.
- [22] Tran DA, Pajaro-Blazquez M, Daneault JF, et al. Combining dopaminergic facilitation with robot-assisted upper limb therapy in stroke survivors: a focused review[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2016, 95(6): 459—474.
- [23] Kayabinar B, Alemdaroglu-Gurbuz İ, Yilmaz Ö. The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial[J]. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2021, 57(2): 227—237.
- [24] Lee HC, Kuo FL, Lin YN, et al. Effects of robot-assisted rehabilitation on hand function of people with stroke: a randomized, crossover-controlled, assessor-blinded study[J]. *The American Journal of Occupational Therapy*, 2021, 75(1): 7501205020p1—7501205020p11.
- [25] Calafioer D, Negrini F, Tottoli N, et al. Efficacy of robotic exoskeleton for gait rehabilitation in patients with subacute stroke: a systematic review[J]. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2022, 58(1): 1—8.
- [26] Oh W, Park C, Oh S, et al. Stage 2: who are the best candidates for robotic gait training rehabilitation in hemiparetic stroke?[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2021, 10(23): 5715.
- [27] Kim DH, In TS, Jung KS. Effects of robot-assisted trunk control training on trunk control ability and balance in patients with stroke: a randomized controlled trial[J]. *Technology and Health Care*, 2022, 30(2): 413—422.
- [28] Li DX, Zha FB, Long JJ, et al. Effect of robot assisted gait training on motor and walking function in patients with subacute stroke: a random controlled study[J]. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2021, 30(7): 105807.
- [29] Kim DH, Kang CS, Kyeong S. Robot-assisted gait training promotes brain reorganization after stroke: a randomized controlled pilot study[J]. *NeuroRehabilitation*, 2020, 46(4): 483—489.
- [30] Mustafaoglu R, Erhan B, Yeldan I, et al. Does robot-assisted gait training improve mobility, activities of daily living and quality of life in stroke? a single-blinded, randomized controlled trial[J]. *Acta Neurologica Belgica*, 2020, 120(2): 335—344.
- [31] Kim KH, Jang SH. Effects of Task-Specific Training after Cognitive Sensorimotor Exercise on Proprioception, Spasticity, and Gait Speed in Stroke Patients: A Randomized Controlled Study[J]. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 2021, 57(10): 1098.
- [32] Choi W. Effects of robot-assisted gait training with body weight support on gait and balance in stroke patients[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(10): 5814.
- [33] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties[J]. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2002, 16(3): 232—240.
- [34] 陈瑞全, 吴建贤, 沈显山. 中文版Fugl-Meyer运动功能评定量表的最小临床意义变化值的研究[J]. *安徽医科大学学报*, 2015, 50(4): 519—522.
- [35] Zhou M wang, Gu L, Chen Y ping, et al. Factors affecting proprioceptive recovery after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Chinese Medical Journal*, 2008, 121(22): 2224—2228.
- [36] Moon SJ, Kim YW. Effect of blocked vision treadmill training on knee joint proprioception of patients with chronic stroke[J]. *Journal of Physical Therapy Science*, 2015, 27(3): 897—900.
- [37] Xue X, Ma T, Li Q, et al. Chronic ankle instability is associated with proprioception deficits: A systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2021, 10(2): 182—191.
- [38] Chang KW, Lin CM, Yen CW, et al. The effect of walking backward on a treadmill on balance, speed of walking and cardiopulmonary fitness for patients with chronic stroke: a pilot study[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(5): 2376.
- [39] Davis DH, Creavin ST, Yip JL, et al. Montreal cognitive assessment for the detection of dementia[J]. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2021, 7(7): CD010775.
- [40] Yang H, Chen Y, Wang J, et al. Activities of daily living measurement after ischemic stroke: rasch analysis of the modified Barthel Index[J]. *Medicine*, 2021, 100(9): e24926.
- [41] Pérez-de la Cruz S. Comparison between three therapeutic options for the treatment of balance and gait in stroke: a

- randomized controlled trial[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(2): 426.
- [42] Yu HX, Wang ZX, Liu CB, et al. Effect of cognitive function on balance and posture control after stroke[J]. Neural Plasticity, 2021, 2021: 6636999.
- [43] Malik AN, Tariq H, Afridi A, et al. Technological advancements in stroke rehabilitation[J]. The Journal of the Pakistan Medical Association, 2022, 72(8): 1672—1674.
- [44] Gerłowska J, Furtak-Niczyporuk M, Rejdak K. Robotic assistance for people with dementia: a viable option for the future?[J]. Expert Review of Medical Devices, 2020, 17(6): 507—518.
- [45] Zhang X, Yue Z, Wang J. Robotics in lower-limb rehabilitation after stroke[J]. Behavioural Neurology, 2017, 2017: 3731802.
- [46] Kim HY, Shin JH, Yang SP, et al. Robot-assisted gait training for balance and lower extremity function in patients with infratentorial stroke: a single-blinded randomized controlled trial[J]. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 2019, 16(1): 99.
- [47] Mehrholz J, Thomas S, Kugler J, et al. Electromechanical-assisted training for walking after stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2020,10:CD006185.
- [48] Mackay CP, Brauer SG, Kuys SS, et al. The acute effects of aerobic exercise on sensorimotor adaptation in chronic stroke[J]. Restorative Neurology and Neuroscience, 2021, 39(5): 367—377.
- [49] Hartmann D, Drummond J, Handberg E, et al. Multiple approaches to investigate the transport and activity-dependent release of BDNF and their application in neurogenetic disorders[J]. Neural Plasticity, 2012, 2012: 203734.
- [50] Hao J, Xie H, Harp K, et al. Effects of virtual reality intervention on neural plasticity in stroke rehabilitation: a systematic review[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2022, 103(3): 523—541.
- [51] Dabrowski J, Czajka A, Zielinska-Turek J, et al. Brain functional reserve in the context of neuroplasticity after stroke[J]. Neural Plasticity, 2019, 2019: 9708905.
- [52] Shin J, An H, Yang S, et al. Comparative effects of passive and active mode robot-assisted gait training on brain and muscular activities in sub-acute and chronic stroke[J]. NeuroRehabilitation, 2022, 51(1): 51—63.
- [53] Relph N, Herrington L. Interexaminer, intraexaminer and test-retest reliability of clinical knee joint-position-sense measurements using an image-capture technique[J]. Journal of Sport Rehabilitation, 2015, 24(2): 2013—2014.
- [54] Lim C. Multi-sensorimotor training improves proprioception and balance in subacute stroke patients: a randomized controlled pilot trial[J]. Frontiers in Neurology, 2019, 10: 157.
- [55] Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR, et al. Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans[J]. Stroke, 2000, 31(6): 1210—1216.
- [56] Zhang B, Wong KP, Kang R, et al. Efficacy of robot-assisted and virtual reality interventions on balance, gait, and daily function in patients with stroke: a systematic review and network meta-analysis[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2023: S0003999323002459.
- [57] Park C, Oh-Park M, Dohle C, et al. Effects of innovative hip-knee-ankle interlimb coordinated robot training on ambulation, cardiopulmonary function, depression, and fall confidence in acute hemiplegia[J]. NeuroRehabilitation, 2020, 46(4): 577—587.
- [58] Teasdale N, Simoneau M. Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration[J]. Gait Posture, 2001, 14(3): 203—210.
- [59] Huxhold O, Li SC, Schmiedek F, et al. Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention[J]. Brain Res Bull, 2006, 69(3): 294—305.
- [60] Brown LA, Sleik RJ, Winder TR. Attentional demands for static postural control after stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2002, 83(12): 1732—1735.
- [61] Rahayu UB, Wibowo S, Setyopranoto I, et al. Effectiveness of physiotherapy interventions in brain plasticity, balance and functional ability in stroke survivors: A randomized controlled trial[J]. NeuroRehabilitation, 2020, 47(4): 463—470.
- [62] Plautz EJ, Barbay S, Frost SB, et al. Post-infarct cortical plasticity and behavioral recovery using concurrent cortical stimulation and rehabilitative training: a feasibility study in primates[J]. Neurological Research, 2003, 25(8): 801—810.
- [63] Bui KD, Lyn B, Roland M, et al. The impact of cognitive impairment on robot-based upper-limb motor assessment in chronic stroke[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 2022, 36(9): 587—595.
- [64] Uijen IL, Aaronson JA, Karssemeijer EGA, et al. Individual differences in the effects of physical activity on cognitive function in people with mild to moderate dementia[J]. Journal of Alzheimer's Disease, 2020, 74(2): 435—439.
- [65] Spanakis M, Xylouri I, Patelarou E, et al. A literature review of high-tech physiotherapy interventions in the elderly with neurological disorders[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(15): 9233.
- [66] Burdette JH, Laurienti PJ, Espeland MA, et al. Using network science to evaluate exercise-associated brain changes in older adults[J]. Frontiers in Aging Neuroscience, 2010, 2: 23.
- [67] Kim J, Kim DY, Chun MH, et al. Effects of robot-(Morning Walk®) assisted gait training for patients after stroke: a randomized controlled trial[J]. Clinical Rehabilitation, 2019, 33(3): 516—523.
- [68] Marigold DS, Eng JJ, Tokuno CD, et al. Contribution of muscle strength and integration of afferent input to postural instability in persons with stroke[J]. Neurorehabilitation and Neural Repair, 2004, 18(4): 222—229.
- [69] Peurala SH, Könönen P, Pitkänen K, et al. Postural instability in patients with chronic stroke[J]. Restor Neurol Neurosci, 2007, 25(2): 101—108.
- [70] Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?[J]. Age and Ageing, 2006, 35 Suppl 2: ii7—ii11.