

上肢康复机器人对偏瘫上肢运动功能和日常活动能力的影响

姜荣荣,叶正茂,陈艳,罗丽娟,方丽婷,缪萍,于瑞

【摘要】 目的:本研究拟证实上肢康复机器人辅助虚拟现实技术对脑卒中恢复期上肢运动功能和日常活动能力的影响,并通过分析上肢执行功能性活动时相关肌群的表面肌电活动,进一步探讨其相关机制。方法:将40例脑卒中患者随机分为研究组和对照组各20例。研究组给予上肢康复机器人辅助虚拟游戏训练,对照组给予常规作业治疗。治疗前和治疗2周后采用Fugl-Meyer上肢评分(FMA-UE)、改良巴氏指数(MBI)及动作活动记录量表(MAL)对2组患者进行运动功能和活动能力评估,并采集肱二头肌和肱三头肌在肘关节做屈伸最大等长收缩(MIVC)时的表面肌电信号(sEMG),同步记录肱二、三头肌的积分肌电值(iEMG)、均方根值(RMS)。治疗结束后1个月对2组患者均进行MBI随访评价。结果:治疗2周后,2组FMA-UE及MBI、MAL运动频率及运动质量评分均显著高于治疗前(均 $P<0.05$),且研究组FMA-UE、MAL运动质量评分均显著高于对照组(均 $P<0.05$)。随访时,2组MBI评分均显著高于治疗结束时(均 $P<0.05$),研究组显著高于对照组($P<0.05$)。2组患者治疗前后iEMG和RMS值组内及组间比较差异无统计学意义。结论:上肢康复机器人辅助虚拟现实技术训练能有效改善偏瘫上肢运动功能、运动质量,提高日常生活活动能力。

【关键词】 康复机器人;虚拟现实;脑卒中;运动功能;活动能力;表面肌电图

【中图分类号】 R49;R743.3 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2020.10.003

Effect of robot-assisted training on motor function and activity ability of hemiplegic upper limb and the possible mechanism Jiang Rongrong, Ye Zhengmao, Chen Yan, et al. Department of Rehabilitation Medicine, the Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510260, China

【Abstract】 Objective: To confirm the effect of virtual reality technology assisted by upper limb rehabilitation robots on the rehabilitation of motor function and motor ability of upper limbs during stroke recovery, and to further explore the related mechanism by analyzing the surface electromyographic activity of related muscle groups during functional activities of upper limbs. **Methods:** Forty stroke patients were randomly divided into experimental group and control group, with 20 in each group. The experimental group received robot-assisted training combined with virtual reality games. The control group received conventional occupational therapy. Before and after treatment, the upper extremity portion of the Fugl-Meyer assessment (FMA), Modified Barthel index (MBI) and Motor activity log (MAL) were performed. The surface electromyogram signals of biceps brachii and triceps brachii were collected during maximum isometric voluntary contraction (MIVC) of elbow joint. Patients in both groups were evaluated with MBI one month after treatment. **Results:** Two weeks after treatment, the scores of FMA-UE and MBI, MAL scores were significantly improved higher in both groups (all $P<0.05$), and the scores of FMA-UE and MAL were significantly higher in experimental group than in control group (both $P<0.05$). Significant increases were found in MBI in both groups after one-month follow-up (both $P<0.05$). The score of MBI was higher in the experimental group than in the control group after one-month follow-up ($P<0.05$). There was no significant difference in iEMG and RMS between the two groups before and after treatment. **Conclusion:** Robot-assisted training combined with virtual reality games can effectively improve the motor function and quality of movement of hemiplegia upper limb, and improve the ability of daily life activities.

【Key words】 robot-assisted treatment; VR training; stroke; motor function; activity ability; sEMG

基金项目:广州医科大学附属第二医院新技术临床研究与应用基金(2017-XJS-E-14)

收稿日期:2019-12-16

作者单位:广州医科大学附属第二医院康复医学科,广州 510260

作者简介:姜荣荣(1990-),女,硕士,主要从事神经康复、作业治疗方面的研究。

通讯作者:陈艳,chenyandoctor@163.com

随着医疗科技发展及经济增长,全球人口预期寿命增加,患病后死亡率下降,伤残率增加,心脑血管疾病成为影响伤残调整寿命年的首要原因^[1-3]。脑卒中患者最常出现肢体运动功能障碍,且50%~70%的幸存者于卒中后2~4年依然存在偏瘫上肢功能缺失,严

重影响其日常生活、社会参与、职能角色和休闲活动的独立性,给家庭和社会增加了沉重的负担^[4-5]。研究发现,为了尽量独立地进行日常生活活动,患侧上肢使用率只有健侧上肢的 25%,容易导致患侧上肢“习得性废用”^[6]。常规治疗方法对于偏瘫上肢功能恢复的疗效有限,为了进一步促进上肢运动功能改善,上肢康复机器人作为一种有望强化传统康复治疗的技术应用于临床工作中^[7],本研究通过探讨上肢康复机器人辅助虚拟现实技术对脑卒中患者偏瘫上肢运动功能和日常活动能力的影响及其机制,为脑卒中患者提供优化的治疗方案。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2017 年 3 月~2018 年 9 月在广州医科大学附属第二医院住院且符合以下标准的受试对象 40 例。纳入标准:符合中华医学会神经病学分会脑血管病学组撰写的 2014 版缺血性脑卒中诊断标准^[8]。经头颅 CT 或 MRI 证实为右侧大脑前循环缺血性卒中患者,年龄 45~75 岁,病程 1~6 个月。左侧肢体运动功能障碍,上肢和手 Brunnstrom III~IV 期,坐位平衡 \geq I 级,具有良好的视听觉及认知功能(长谷川痴呆量表 HDS-R 评分 \geq 30 分)。入组患者均签署知情同意书。排除标准:意识状态不佳,有严重的心肺疾病或骨折未愈合、严重疼痛、未控制的糖尿病、高血压等不适合运动训练的疾病。有严重焦虑、抑郁表现,认知功能及视听觉障碍不能完成试验。家属或患者拒绝参加试验。脱落标准:治疗过程中再发卒中或者并发其他严重疾病。患者不能在规定时间内完成试验过程。患者及家属要求终止试验。本研究经广州医科大学附属第二医院伦理委员会审核通过(NO. 2018-hs-15)。入组患者按照随机数字分组方法分为研究组和对照组各 20 例。2 组一般资料差异无统计学意义。见表 1。

1.2 方法 2 组患者均接受常规的改善微循环、抗血小板聚集等药物治疗,并根据患者的具体功能状况施以关节松动、肌肉牵伸等运动治疗技术。对照组患者接受常规作业治疗,所选用的治疗活动目的与研究组类似。根据患者的具体情况给予一定的辅助或阻力,

以正常的运动模式引导患者的活动,使患者在活动中尽可能减少代偿动作。研究中总共涉及了 3 种类型的活动:上肢关节活动度训练、上肢稳定性训练、上肢技巧性运动训练。30min/次,1 次/d,6 次/周,共 2 周。研究组患者接受机器人辅助虚拟游戏训练,本研究中采用的训练仪器是上肢智能反馈训练系统 A2,患者端坐于电脑屏幕前面的配套治疗椅上面,出于安全及减少代偿动作的考虑,使用绑带固定患者的躯干。调节机械手臂肩、肘关节活动装置与患者上肢肩、肘关节分别对齐并适应患侧上肢长度,使患侧上肢在放松状态下处于肩前屈 90°位置。对于初次使用的患者,需要评估其肩、肘关节和前臂的活动范围及手部抓握力量。根据评估结果选择相应的训练项目,系统提供一维、二维、三维空间训练及低、中、高 3 个难度等级,难度主要体现在目标物大小、运动速度等方面,由低难度开始,根据患者的治疗反应调节训练难度。根据训练目的分为 3 个部分:上肢关节活动度训练、上肢稳定性训练、上肢技巧性运动训练。30min/次,1 次/d,6 次/周,共 2 周。

1.3 评定标准 本研究采用盲法,由 1 名不了解分组情况的康复治疗师对所有受试对象进行治疗前后运动功能和活动能力评估,另由 1 名治疗师根据随机分组情况选择予以上肢康复机器人辅助虚拟现实训练或常规作业治疗。2 组患者均于治疗前后接受运动功能和活动能力评估。①采用 Fugl-Meyer 量表上肢部分(Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremities, FMA-UE)评估上肢运动功能,33 个评估亚项,总分 66 分,评分标准:0=完全不能活动;1=只能完成一部分活动;2=能正常执行活动,分值越高运动功能越好。②动作活动记录量表(Motor Activity Log, MAL)(包括运动频率和运动质量两部分)评价日常生活活动中患侧上肢和手的使用频率及运动质量,30 个评估亚项,6 个等级,评分越高表示患侧上肢和手的使用频率越高、运动质量越好。③改良巴氏指数(Modified Barthel Index, MBI)评价日常生活独立程度,量表包含大小便控制、穿衣、进食、行走等 10 项内容,满分 100 分,分值越高独立程度越好。④表面肌电信号(surface Electro

表 1 2 组一般资料比较

组别	n	HDS-R(分, M)	病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	Brunnstrom 分期[期, m(P25, P75)]		性别(例)	
					上肢	手	男	女
研究组	20	30.50(30.50, 32.50)	73.75 \pm 52.32	63.15 \pm 11.79	3.00(3.00, 3.00)	2.00(2.00, 3.00)	9	11
对照组	20	30.50(30.00, 31.25)	79.70 \pm 52.25	65.10 \pm 9.14	3.00(2.00, 3.00)	2.00(1.00, 2.00)	15	5
	t/χ^2	-1.359	-0.816	-0.325	-1.930	-2.155	2.604	
	P	0.201	0.429	0.738	0.114	0.056	0.107	

myography, sEMG)测定:随机选择2组患者各10位进行sEMG测定。受试者坐在座椅上,肩前屈90°置于悬吊带上并放松。每次测试前需按显示屏下方归零键进行压力校准。嘱患者在最大等长收缩(Maximum Isometric Voluntary Contraction, MIVC)下做屈肘动作并维持3~5s,同步记录肱二、三头肌的积分肌电值(integrated electromyography, iEMG)、均方根值(root mean square value, RMS),重复测试3次,每次测试结束后间歇1min以避免肌肉疲劳。以同样的方式记录患者在MIVC下做伸肘动作时肱二头肌、肱三头肌的iEMG、RMS。分别采集2组患者治疗前后患侧上肢肱二头肌、肱三头肌sEMG。从所记录的sEMG信号中截取受试者肌肉最大等长收缩时相对稳定的信号段(以信号幅度最大且能稳定持续2s左右为准)。

1.4 统计学方法 采用SPSS 16.0统计软件进行数据分析。计数资料用百分率表示,采用卡方检验,计量资料采用t检验、秩和检验,正态性分布数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布数据/非连续型变量采用中位数和四分位间距表示,即M(P25, P75)。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 运动功能、动作活动能力及MBI随访结果比较

2组治疗前各项评分组间差异均无统计学意义。治疗2周后,2组FMA-UE评分、MAL的运动频率、运动质量及MBI评分均显著高于治疗前(均 $P < 0.05$),且研究组FMA-UE、MAL运动质量评分均显著高于对照组(均 $P < 0.05$),2组MBI评分、MAL运动频率组间差异无统计学意义。随访时,2组MBI评分均显著高于治疗2周时(均 $P < 0.05$),且研究组显著高于对照组($P < 0.05$)。其中,研究组和对照组中分别有5位和3位患者已回归家庭,15位和17位患者继续在社区医院接受常规作业治疗,且2组患者的转归百分率组间差异无统计学意义。见表2~6。

表2 2组患者治疗前后FMA-UE评分比较

组别	n	分, M(P25, P75)		
		治疗前	治疗后	t P
研究组	20	18.00(12.25, 29.00)	27.50(17.25, 40.75)	2.791 0.012
对照组	20	11.00(7.00, 19.75)	13.00(10.25, 23.50)	3.240 0.001
t		1.950	2.589	
P		0.052	0.009	

表3 2组患者治疗前后MAL运动频率评分比较

组别	n	分, M(P25, P75)		
		治疗前	治疗后	t P
研究组	20	1.00(0.00, 1.48)	1.33(1.00, 1.95)	2.932 0.003
对照组	20	0.00(0.00, 1.00)	1.00(0.00, 1.37)	2.410 0.016
t		1.560	1.825	
P		0.157	0.076	

表4 2组患者治疗前后MAL运动质量评分比较

组别	n	分, M(P25, P75)		
		治疗前	治疗后	t P
研究组	20	1.00(0.00, 1.59)	2.00(1.30, 2.37)	3.517 <0.001
对照组	20	0.00(0.00, 1.00)	1.00(0.00, 1.57)	2.092 0.036
t		1.587	2.458	
P		0.149	0.014	

表5 2组患者治疗前后MBI评分比较 分, M(P25, P75)

组别	n	分, M(P25, P75)		
		治疗前	治疗后	t P
研究组	20	70.00(47.25, 78.50)	78.00(69.00, 86.00)	4.468 <0.001
对照组	20	52.50(38.25, 70.75)	71.00(51.75, 81.25)	4.078 0.001
t		1.733	1.462	
P		0.086	0.149	

2.2 上肢sEMG的变化比较 治疗前后,2组患侧测得的iEMG和RMS值组内及组间比较差异均无统计学意义。见表7,8。

治疗过程中,2组均未出现与治疗相关的严重不良事件或不良反应。

表6 2组治疗后及随访时MBI评分及转归百分率比较

组别	n	MBI[分, M(P25, P75)]		Z	P	转归(例, %)	
		治疗后	1个月随访			回家	医院
研究组	20	78.00(69.00, 86.00)	86.00(81.25, 93.50)	-3.828	<0.001	5(25%)	15(75%)
对照组	20	71.00(51.75, 81.25)	72.00(61.75, 88.75)	-3.033	0.003	3(15%)	17(85%)
t/ χ^2		-1.462	-2.274			0.156	
P		0.149	0.023			0.693	

表 7 2 组治疗前后患侧肱二、三头肌 iEMG 值比较

 $\bar{x} \pm s$

项目	动作	组别	治疗前	治疗后	t3	P3
肱二头肌	屈肘 MIVC	研究组	633.28±534.19	897.14±729.54	1.647	0.134
		对照组	845.52±762.47	731.70±264.58	-0.528	0.610
	伸肘 MIVC	研究组	193.41±170.71	181.02±103.79	-0.211	0.837
		对照组	401.84±797.62	193.33±75.05	-0.889	0.397
	t1/t2		-0.721/-0.808	0.674/-0.304		
P1/P2		0.480/0.430	0.509/0.765			
肱三头肌	屈肘 MIVC	研究组	193.84±165.26	205.34±131.07	0.376	0.715
		对照组	197.23±150.30	264.43±262.58	1.744	0.115
	伸肘 MIVC	研究组	623.06±527.59	633.39±410.04	0.117	0.909
		对照组	744.75±420.36	921.25±404.33	3.113	0.112
	t1/t2		-0.048/-0.57	-0.637/-1.581		
P1/P2		0.962/0.575	0.532/0.131			

表 8 2 组治疗前后患侧肱二、三头肌 RMS 值比较

 $\bar{x} \pm s$

			治疗前	治疗后	t3	P3
肱二头肌	屈肘 MIVC	研究组	158.85±90.75	231.48±228.71	1.484	0.172
		对照组	197.15±140.76	169.66±43.45	-0.635	0.541
	伸肘 MIVC	研究组	52.13±32.29	46.48±17.59	-0.612	0.556
		对照组	95.92±180.56	44.8±16.95	-0.966	0.359
	t1/t2		-0.723/-0.755	0.840/0.218		
P1/P2		0.479/0.460	0.412/0.830			
肱三头肌	屈肘 MIVC	研究组	53.36±30.24	53.79±38.37	0.110	0.915
		对照组	47.68±28.19	60.62±47.58	1.998	0.077
	伸肘 MIVC	研究组	163.59±69.71	159.81±53.11	-0.380	0.713
		对照组	201.09±97.28	219.84±86.77	0.781	0.455
	t1/t2		0.434/-0.991	-0.353/-1.866		
P1/P2		0.669/0.335	0.728/0.078			

P1: 治疗前后, 屈肘 MIVC 状态下的组间比较; P2: 治疗前后, 伸肘 MIVC 状态下的组间比较; P3: 治疗前后组内比较

3 讨论

上肢康复机器人辅助虚拟现实技术提供特定的训练情境供患者进行运动再学习, 训练过程强调反馈对于运动控制的重要性^[9], 通过提供视、听觉反馈, 患者可以获得即时的训练信息, 从而纠正异常的运动模式, 学习正确的运动控制^[10]。脑卒中患者需要重新学习节段性运动控制, 以提高身体运动在空间组合和时间顺序上的效率, 以较低的能耗达到患者的运动目标, 要获得对动作必要的控制, 需要反复进行练习, 以此更好地理解重新学习的动作的要领, 充分体验每一个简单动作到每一组复杂动作的正常运动感觉和所需力度, 从而较好地掌握和提高运动控制能力, 促进多肌群的协调运动^[11]。反复练习会反复兴奋运动皮质经皮质脊髓束直接下行至脊髓前角运动神经元的锥体通路, 从而在锥体外系产生自动印迹, 成为自动活动的基础^[12]。

本研究证实, 机器人辅助虚拟游戏训练和常规作业治疗均能改善偏瘫侧上肢运动功能, 但是相比于后者, 机器人辅助虚拟游戏训练的疗效更加显著。考虑与以下因素有关: 首先, 上肢康复机器人的机械手臂模

拟人类上肢的骨骼结构, 具备肩、肘关节等结构, 可以给予患侧上肢良好的支撑, 且在患者采用单关节运动完成某一项游戏任务时可以限制其他关节运动, 这种限制作用可在一定程度上让患者意识到自己异常的运动模式并进行自我调整, 增加患侧肢体的本体感觉输入。其次, 虚拟游戏可以提供明确的训练目标, 患者完成游戏任务的过程就是学习相关的运动技能和动作策略。ICF 理念提出不能仅仅注重身体生理功能, 更要强调实际表现能力。本研究采用 MBI、MAL 评分对患者日常生活活动能力进行评估。2 周治疗结束时, 两组各项活动能力评分比较提示常规作业治疗和上肢康复机器人辅助虚拟游戏训练均能提高患者的活动能力, 这与 Small、Sydney 等的研究结果相一致, Small 等^[13]提出脑卒中患者运动学习并非是获得新的技能, 而是重新学习之前已习得的运动模式。Sydney 等^[14]研究者对脑卒中慢性期患者进行大量重复性的进食动作训练, 训练结束之后评估患者的分类和穿衣活动能力, 发现两项活动能力均有显著性改善, 提示大量重复性运动学习可以引起技能的转化。本研究发现, 研究组对于运动质量的改善显著优于对照组, 考虑为上肢康复机器人提供不断变化的运动任务会强迫患者使用

多样且不同的讯息处理策略,使得记忆的提取变得较容易,因此在现实生活中的动作表现也相对有序、快速且高效。这与 Tulving^[15]提出的理论相符,他认为执行日常生活活动多涉及复合关节、多个平面的运动,对肢体的操作能力要求更高,患者需要在面对不同的情境和变化的任务时可以使用概化的运动策略。虽然两周治疗结束时 MBI 评分组间差异无统计学意义,但是随访数据显示研究组对脑卒中患者日常生活能力的远期疗效显著优于对照组,考虑其原因为机器人辅助虚拟游戏训练模拟日常生活情境,促使患者在训练过程中发展出相应的解决问题的能力,成功的体验有助于将习得的技能概化到日常生活中^[16]。其次,日常生活能力受限于环境,不同的环境会影响患者的实际表现。此外,执行日常生活活动除了需要肩肘关节的协调运动,腕手操作也有着非常重要的作用,这就提示需要补充腕手功能性训练改善手指操控物体的能力^[17]。

本研究拟通过 sEMG 来探讨上肢康复机器人训练对脑卒中患者偏瘫上肢功能的疗效及其改善机制,但结果暂未发现 iEMG、RMS 值在研究组与对照组之间有统计学差异,虽然在测试过程中已经通过缩小记录电极之间的距离来减少心电信号的干扰,采用 75% 的酒精对皮肤进行擦拭以降低阻抗,但是在测试过程中患者患侧肢体容易出现共同运动模式,从而使记录电极偏离平行肌纤维的位置,难以避免肌电信号串扰。由于是记录 sEMG,无法测量深层肌肉的肌电信号,容易影响数据的准确性^[18]。样本量小和治疗时间短也可能是造成数据差异无统计学意义的原因。

综上所述,上肢康复机器人辅助虚拟现实技术训练和常规作业治疗均可以改善脑卒中恢复期偏瘫上肢和手运动功能和活动能力。前者能更加有效增强肌肉收缩能力,对于偏瘫上肢和手的运动功能及运动质量的疗效优于常规作业治疗,且对日常生活活动能力有远期疗效。本研究下一步将在扩大样本量、延长治疗或随访时间、增加检测肌肉数量及种类基础上,进一步校正和完善目前得出的实验结果。

【参考文献】

- [1] Mohsen Naghavi, Amanuel Alemu Abajobir, Cristiana Abbafati, et al. Global, Regional, and National Age-Sex Specific Mortality for 264 Causes of Death, 1980-2016; A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2016[J]. *Lancet*, 2017,390 (10100):1151-1210.
- [2] Hmwe Hmwe Kyu, Degu Abate, Kalkidan Hassen Abate, et al. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 359 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 195 countries and territories, 1990 - 2017; a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet*, 2018,392 (10159): 1859-1922.
- [3] Emelia J Benjamin, Salim S Virani, Clifton W Callaway, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2018 Update: A Report From the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2018,137 (12):e67-e492.
- [4] Faria-Fortini I, Michaelsen SM, Cassiano JG, et al. Upper Extremity Function in Stroke Subjects: Relationships between the International Classification of Functioning, Disability, and Health Domains[J]. *J Hand Ther*, 2011,24(3):257-264.
- [5] Morris JH, van Wijck F, Joice S, et al. Predicting health related quality of life 6 months after stroke: the role of anxiety and upper limb dysfunction[J]. *Disabil Rehabil*, 2013,35(4):291-299.
- [6] Rand D, Eng JJ. Disparity between functional recovery and daily use of the upper and lower extremities during subacute stroke rehabilitation[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2012,26(1):76-84.
- [7] 杨改清,董志强,杜金刚. 上肢康复机器人治疗脑卒中后上肢运动功能障碍新进展[J]. *中国康复*,2014,29(6):462-264.
- [8] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2014[J]. *中华神经科杂志*,2015,48(4):246-257.
- [9] Batool S, Soomro N, Amjad F, et al. To compare the effectiveness of constraint induced movement therapy versus motor relearning Programme to improve motor function of hemiplegic upper extremity after stroke[J]. *Pak J Med Sci*, 2015,31(5):1167-1171.
- [10] 梁天佳,吴小平,龙耀斌,等. 机器人辅助训练对脑卒中患者上肢功能恢复的影响及功能磁共振分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*,2014,36(11):844-846.
- [11] Leeburg S, Iij Ma M, Lambercy O, et al. Investigating motor skill learning processes with a robotic manipulandum[J]. *J Vis Exp*, 2017,12(120):1-8.
- [12] Hatem SM, Saussez G, Della Faille M, et al. Rehabilitation of motor function after stroke: A multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery[J]. *Front Hum Neurosci*. 2016,10(442):1-22.
- [13] Small SL, Buccino G, Solodkin A. The mirror neuron system and treatment of stroke[J]. *Dev Psychobiol*, 2012,54(3):293-310.
- [14] Schaefer SY, Patterson CB, Lang CE. Transfer of training between distinct motor tasks after stroke: Implications for task-specific approaches to upper extremity neurorehabilitation[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2013,27(7):602-612.
- [15] Tulving E, Thomson DM. Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory[C]// 1973.
- [16] Badesa F J, Morales R, Garcia-Aracil N, et al. Auto-adaptive robot-aided therapy using machine learning techniques [J]. *Comput Methods Programs Biomed*. 2014,116(2):123-130.
- [17] 胡洁,朱琳,刘霖,等. 上肢康复机器人结合常规康复训练对急性期脑卒中患者上肢功能的疗效研究[J]. *中国康复*,2018,33(6):448-450.
- [18] 罗梦,周国平,杨路,等. 表面肌电图在脑卒中后运动功能障碍康复中的应用[J]. *中国康复*,2017,32(1):67-70.