

·临床研究·

机器人辅助训练对脑卒中患者上肢屈肌痉挛的疗效观察及表面肌电图分析*

朱琳¹ 席艳玲¹ 黄海霞^{1,2} 严会荣¹ 陈祎¹

摘要

目的:研究机器人辅助训练对脑卒中上肢屈肌痉挛患者的治疗效果,分析其对患者表面肌电信号的影响。

方法:选取2016年1月—2018年12月在本院康复医学科病房住院治疗的脑卒中上肢屈肌痉挛患者100例为研究对象,按照随机单盲法分为研究组和对照组,每组50例。对照组给予常规康复训练,研究组在对照组的基础上采用上肢康复机器人辅助训练。收集患者治疗前后日常生活活动能力(ADL)评分、简式Fugl-Meyer运动量表上肢部分(FMA-UE)评分、改良Ashworth痉挛评价量表(MAS)、肘关节主动伸展角度、肱二、三头肌的积分肌电值(iEMG)和协同收缩率(CR)水平。

结果:两组患者治疗后ADL、FMA-UE评分显著高于治疗前($P < 0.05$),且研究组显著高于对照组($P < 0.05$);MAS评分显著低于治疗前($P < 0.05$),且研究组显著低于对照组($P < 0.05$)。两组患者治疗后肘关节主动伸展角度显著高于治疗前($P < 0.05$),且研究组显著高于对照组($P < 0.05$),研究组患者治疗前后关节伸展角度变值显著高于对照组($P < 0.05$)。两组患者治疗后肘关节屈曲肱二头肌、肱三头肌及伸展肱三头肌iEMG水平显著高于治疗前,且研究组显著高于对照组($P < 0.05$),肘关节伸展肱二头肌iEMG水平显著低于治疗前,且研究组显著低于对照组($P < 0.05$);两组患者屈肘时的肱三头肌和伸肘时的肱二头肌CR值显著低于治疗前,且研究组显著低于对照组($P < 0.05$)。

结论:机器人辅助训练对脑卒中患者上肢屈肌痉挛有较好的治疗效果,可显著改善患者上肢功能障碍,缓解上肢屈肌痉挛,增加肘关节主动伸展角度,协调上肢系统张力平衡。

关键词 脑卒中;上肢屈肌痉挛;机器人辅助训练;表面肌电图

中图分类号:R493,R743.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2020)-08-0954-05

脑卒中是由脑部血流状态异常引起的持续性大脑半球或脑干局部神经功能损伤,具有高发病率、低治愈率等特点,多数患者易出现肌张力增高、肢体痉挛、偏瘫等后遗症^[1]。有数据显示,脑卒中发生后3周内,约90%的患者会发生肢体痉挛,其中以上肢痉挛最为多见^[2]。上肢功能与各项日常活动密切相关,长期痉挛不仅可导致患者关节僵硬、挛缩畸形,甚至还可能出现痉挛性偏瘫,严重影响生活质量^[3]。肌痉挛是影响脑卒中患者肢体功能恢复的重要障碍,目前临床上常采用被动牵伸手法、作业疗法、神经促通术等常规康复训练措施来降低患者上肢肌张力,缓解痉挛,但往往恢复效果不理想,结果易受康复治疗师经验水平、患者自身情绪等多种因素影响^[4]。近年来,随着科技不断进步,国内外陆续出现各式各样的上肢康复机器人,其通过在一个虚拟的环境中,采用多游戏模式对患者患肢进行康复训练,并搭载有智能语音

反馈系统,打破传统康复治疗生硬模式,提高患者参与训练的主动性和积极性^[5]。本研究拟采用机器人辅助训练对脑卒中上肢屈肌痉挛患者进行康复治疗,分析治疗效果,探讨其对患者表面肌电图(Surface Electromyography, sEMG)相关指标的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2016年1月—2018年12月在本院康复医学科病房住院治疗的脑卒中上肢屈肌痉挛患者100例为研究对象,按照随机单盲法分为研究组和对照组,每组50例。两组患者年龄、性别等基本资料比较差异无显著性意义($P > 0.05$),具有可比性,见表1。本研究经新疆医科大学第一附属医院伦理委员会审批。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.08.013

*基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2017D01C333)

1 新疆医科大学第一附属医院康复医学科,新疆乌鲁木齐,830000; 2 通讯作者
第一作者简介:朱琳,女,主管治疗师; 收稿日期:2019-06-15

表1 两组患者基线资料比较

组别	例数	性别(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	病程 ($\bar{x}\pm s$,月)	屈肌痉挛部位(例)		发病类型(例)	
		男	女			左侧	右侧	缺血性脑卒中	出血性脑卒中
研究组	50	28	22	56.29±12.07	3.18±0.62	21	29	30	20
对照组	50	26	24	55.83±11.74	3.27±0.71	23	27	29	21
<i>t</i>		0.161		0.193	0.675	0.162		0.041	
<i>P</i>		0.688		0.847	0.501	0.687		0.839	

纳入标准:①符合1995年全国第四次脑血管病学术会议制定的脑卒中诊断标准^[6],确诊为脑卒中患者;②首次发病,年龄18—80岁患者;③合并偏瘫并伴上肢肱二头肌肌张力升高,处于改良Ashworth痉挛评价量表(Modified Ashworth Scale, MAS)^[7]等级I—II⁺级患者;④患侧肘关节可被动全关节范围活动120°;⑤可独立保持坐位者(坐位平衡II—III级);⑥同意本次研究,签署知情同意书患者。

排除标准:①发病前存在其他原因导致的肢体功能障碍、上肢关节疼痛、活动受限患者;②合并严重躯体疾病、脑创伤、药物和酒精依赖史或其他可能影响脑结构与功能的疾病患者;③合并心、肝、肾等器官严重病变患者;④合并其他神经系统疾病、认知功能障碍、视觉或听觉障碍患者;⑤合并恶性肿瘤患者;⑥哺乳期或妊娠期患者。

剔除及脱落标准:①不符合纳入标准及排除标准者;②自然脱落无有效数据者;③依从性差且未按实验要求用药及训练者。

1.2 方法

两组患者均给予相应的药物治疗,并停止使用肌松剂。对照组患者给予常规康复训练,包括:正确体位摆放、上肢功能康复训练、作业治疗及神经肌肉电刺激疗法;研究组给予常规康复训练联合上肢康复机器人辅助训练。

1.2.1 正确体位摆放:正确体位摆放能有效防止患者上肢痉挛模式出现或加重,患者坐位时上肢要置于膝上或桌上,并可在轮椅上置一桌板或枕头,防止患者的手悬垂,并保持肘关节伸展,前臂旋前位,卧位时患者应保持肘关节伸展,前臂旋后位;另起坐时,采用Bobath握手姿势将上肢前伸放桌上,预防上肢及手部的痉挛。

1.2.2 上肢功能康复训练:对患者进行上肢功能康复训练,每天2次,每次训练45min,每周5次,疗程2周。其余训练时间由经过指导的患者家属完成。训练时间为2周。具体方法:①抗痉挛手法训练:a.缓慢而持续地被动牵伸痉挛肌肉,在牵伸的末端给予5—10s的短暂停留,待痉挛缓解后,缓慢回到起始端,反复治疗3—5组;b.负重体位下改善肌肉痉挛(如坐位时患侧上肢负重);c.训练中注意对痉挛的抑制(如训练患侧上肢功能时,防止下肢处于屈曲负重位);d.促进痉挛拮抗肌的收缩。利用毛刷刷刷的方式来抑制痉挛对应的拮抗肌。②病房训练方法:a.坐位于Bobath握手,上肢上举

训练15个/组,4组;b.在休息时将患肢放在桌子上保持伸展位,防止患者忽略患肢引起肘关节痉挛进一步加重。

1.2.3 作业治疗:借助滑轮磨砂板工具训练上肢肘关节活动范围、肌力等,并在训练中穿插穿脱衣服、进食、如厕、刷牙等日常生活活动能力的训练,每次20min,每日2次,每周5d。

1.2.4 神经肌肉电刺激疗法:将电极板置于肱三头肌部位,进行电刺激治疗,每次20min,每日1次。

1.2.5 上肢康复机器人辅助训练:采用上肢康复机器人(广州一康医疗设备实业有限公司,A2型肢体智能反馈训练系统)进行辅助训练,根据患者情况进行训练内容、训练难度、握力大小及训练时间等设定,并建立个人信息库,记录评估内容。训练内容包括:①一维训练:针对某个关节进行单独训练(如肩关节训练项目、肘关节训练项目、腕关节训练项目);②二维训练:多个关节相互协调进行训练;③三维训练:增加前后活动的范围使整个训练在三维空间里进行。训练难度低、中、高循序渐进,握力大小0—10kg,针对性地选择训练项目,每个训练项目均有几个对应的训练小游戏,一次可选择单个或多个游戏进行训练,每个项目5—10min,每次训练20—30min,每日1次,每周5d。

1.3 评定方法

分别于治疗前及2周治疗结束后对患者各项功能指标进行测定,以评价治疗效果。

1.3.1 日常生活活动能力评分:采用日常生活活动能力(activity of daily living, ADL)Barthel指数评分对患者生活能力进行评价^[8]。

1.3.2 上肢功能及痉挛程度评价:采用简式Fugl-Meyer运动量表上肢部分(FMA-UE)对患者上肢运动功能进行评分,采用3级2分制,满分66分,分数越高,表示上肢运动功能越好^[9]。采用MAS对患者上肢痉挛程度进行评价^[7],采用6级4分制,分数越高,患者上肢痉挛程度越严重。

1.3.3 肘关节主动伸展角度检测:取患者坐位,以肘关节自然放松时作为初始位,采用量角器测量肘关节主动屈伸角度,肘关节主动伸展角度=主动屈伸角度-伸展角度,其中正常值为伸展0°,屈曲135°;然后计算治疗前后的关节伸展角度变值,治疗前后的关节伸展角度变值=总疗程结束后肘关节伸展角度-治疗开始前的伸展角度。

1.3.4 sEMG检测:采用NORAXON表面肌电仪对患者上肢

系统活动时的生物电信号进行检测,所有受试者的测试均在室温22—26°C的测评室内由同一康复治疗师完成,检测时取患者坐位,肩关节前屈60°置于治疗桌,肘关节被动伸直,腕关节中立位,将电极置于经处理过的皮肤表面,嘱患者用最大力屈曲及伸展肘关节,记录最大等长收缩(maximum isometric voluntary contraction, MIVC)下肱二头肌及肱三头肌的积分肌电值(integrated electromyography, iEMG),坚持10s,做3次取平均值。并计算治疗前后肘伸展及屈曲时的EMG协同收缩率(co-contraction ratio, CR),其中CR(%)=拮抗肌iEMG/(主动肌iEMG+拮抗肌iEMG)×100%。

1.4 统计学分析

采用统计学软件SPSS17.0对数据进行分析,计量资料均以均数±标准差表示,组内与组间比较均采用t检验。P<0.05,差异具有显著性意义。

2 结果

2.1 日常生活能力及上肢状况评分

两组患者治疗前ADL、FMA-UE及MAS评分之间无显著差异(P>0.05),治疗后ADL、FMA-UE评分显著高于治疗前(P<0.05),且研究组显著高于对照组(P<0.05);MAS评分

显著低于治疗前(P<0.05),且研究组显著低于对照组(P<0.05)。见表2。

2.2 肘关节主动伸展角度

两组患者治疗前肘关节主动伸展角度无显著差异(P>0.05),治疗后显著高于治疗前(P<0.05),且研究组显著高于对照组(P<0.05)。研究组患者治疗前后伸展角度变值显著高于对照组(P<0.05)。见表3。

2.3 sEMG分析

2.3.1 iEMG结果比较:两组患者治疗前肘关节屈曲、伸展MIVC下肱二、三头肌iEMG值无显著差异(P>0.05);治疗后肘关节屈曲MIVC下肱二头肌iEMG水平显著高于治疗前(P<0.05),且研究组显著高于对照组,而其在肘关节伸展时显著低于治疗前(P<0.05),且研究组显著低于对照组(P<0.05);治疗后肱三头肌屈曲及伸展MIVC下iEMG水平显著高于治疗前(P<0.05),且研究组显著高于对照组(P<0.05)。见表4。

2.3.2 CR结果比较:两组患者治疗前屈肘时的肱三头肌和伸肘时的肱二头肌CR值无显著差异(P>0.05),治疗后CR水平显著低于治疗前(P<0.05),且研究组显著低于对照组(P<0.05)。见表5。

表2 两组患者治疗前后ADL、FMA-UE及MAS评分比较

($\bar{x}\pm s$,分)

组别	例数	ADL		FMA-UE		MAS	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
研究组	50	32.59±6.18	51.23±7.26 ^{①②}	19.54±5.98	34.75±4.02 ^{①②}	4.08±0.76	2.43±0.26 ^{①②}
对照组	50	33.04±6.55	44.81±5.72 ^①	18.73±5.47	27.49±3.51 ^①	4.15±1.80	3.24±0.37 ^①

注:①与同组治疗前比较P<0.05;②与对照组比较P<0.05。

表3 两组患者肘关节主动伸展角度检测结果比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	治疗前	治疗后	关节伸展角度变值
研究组	50	16.58±3.12	48.32±6.79 ^{①②}	31.74±5.15 ^②
对照组	50	16.07±3.09	32.43±4.80 ^①	16.36±3.29

注:①与同组治疗前比较P<0.05;②与对照组比较P<0.05。

3 讨论

脑卒中是一种急性脑血管疾病,多因中枢神经系统损伤,导致机体对外周肌肉运动系统的调控作用减弱,造成原始低位中枢系统兴奋性增加,屈伸肌群间肌张力出现协调性

紊乱,患肢侧屈肌张力增高,肌力下降,进而形成上肢屈肌痉挛并发病^[10-11]。临床上均以改善上肢痉挛作为脑卒中康复的重点,通过以功能性活动为导向的康复训练,促进神经肌肉功能的恢复,提高患者生活质量^[12-13]。机器人辅助训练最早源自美国、欧洲等一些发达国家,设计之初仅是为解决常规康复训练方法中存在的问题,以提高训练效果,减轻康复治疗师工作量^[14-15]。目前,机器人辅助训练将机器人技术与现代神经科学和康复理论相结合,与传统康复方法相比更具重复性和活动性^[16-17]。Rodgers^[18]等研究显示,机器人辅助训练可改善脑卒中后上肢功能,提高日常生活活动及生活质

表4 两组患者治疗前后肘关节MIVC下肱二、三头肌iEMG比较

($\bar{x}\pm s$,mV·s)

组别	例数	肱二头肌		肱三头肌	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
肘关节屈曲					
研究组	50	130.25±34.31	274.75±42.24 ^{①②}	21.18±5.84	37.95±8.06 ^{①②}
对照组	50	132.77±35.62	226.14±44.08 ^①	21.67±6.73	31.56±7.92 ^①
肘关节伸展					
研究组	50	60.13±9.64	48.25±9.13 ^{①②}	115.36±34.26	261.63±42.55 ^{①②}
对照组	50	61.26±9.25	55.83±8.46 ^①	118.40±32.42	237.49±40.58 ^①

注:①与同组治疗前比较P<0.05;②与对照组比较P<0.05。

表5 两组患者治疗前后肱二、三头肌协同收缩率(CR)比较

 $(\bar{x} \pm s, \%)$

组别	例数	肱二头肌		肱三头肌	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
研究组	50	19.27±3.48	15.15±2.09 ^{①②}	42.81±5.24	27.76±3.11 ^{①②}
对照组	50	19.82±3.79	17.46±2.13 ^①	41.99±5.01	34.49±4.27 ^①

注:①与同组治疗前比较 $P < 0.05$;②与对照组比较 $P < 0.05$ 。

量。Daunoraviciene^[19]等学者也证实在脑卒中患者脑卒中手臂康复治疗中进行任务导向机器人训练对麻痹臂运动功能恢复具有一定的促进作用,并有利于认知功能恢复,可见机器人辅助训练可作为有效运动神经康复治疗手段在临床广泛应用。

本研究所用上肢康复机器人,其座椅配备有可调节束带及上臂支持系统,在正确固定躯干及骨盆的同时对患者负重或减重状态下进行训练,避免肘关节屈伸时身体过度代偿引起姿势异常。此外,该机器人采用A2系统,可通过6个传感器全方位采集患者训练信息,模拟人体上肢运动规律,并建立个人数据库,跟踪训练后康复进程,向患者提供实时反馈信息,增强人机互动性,提高患者训练积极性。

上肢屈肌痉挛是脑卒中患者常见的一种临床症状,产生机制复杂,受多种因素影响,目前主要采用临床量表对其进行量化评定,且患者多以屈肌痉挛模式为主,表现为固定异常协同运动模式^[20-22]。本研究结果显示,两组患者治疗后ADL、FMA-UE评分显著高于治疗前,且研究组显著高于对照组;MAS评分显著低于治疗前,且研究组显著低于对照组,提示机器人辅助训练可通过重复性牵伸或重复性主动训练等方式,更好建立条件反射并促使神经活动的兴奋性、反应性明显提高,进而显著改善患者上肢功能障碍,缓解上肢屈肌痉挛,提高日常生活活动能力,但仍存在神经状态、外界环境等影响肌张力因素,导致ADL评估存在偏倚,对此需在后期临床研究中不断改进、完善,排除影响因素,明确治疗效果。本研究中肘关节主动伸展角度检测结果显示,两组患者治疗后肘关节主动伸展角度显著高于治疗前,且研究组显著高于对照组,研究组患者治疗前后关节伸展角度变值显著高于对照组,提示机器人辅助训练可显著提高脑卒中上肢痉挛患者上肢恢复速度,增大上肢活动范围,从而明显缩短康复时间。

sEMG信号变化情况在一定程度上可反映患者肌肉功能状态,其中肱二头肌、肱三头肌iEMG可反映单位时间内肌肉收缩特性,本研究结果显示,两组患者治疗后肘关节屈曲肱二头肌、肱三头肌及伸展肱三头肌iEMG水平显著高于治疗前,且研究组显著高于对照组,而肘关节伸展肱二头肌iEMG水平显著低于治疗前,且研究组显著低于对照组,提示机器人辅助训练可有效维持肌肉系统肌张力协调平衡。多数研究表明,肌张力与iEMG成正比,脑卒中上肢屈肌痉挛

患者肘关节处于伸肌低张力、屈肌高张力状态^[23-24]。CR是反映拮抗肌在主动肌收缩过程中所占的比例大小,脑卒中患者偏瘫肢体在运动过程中普遍存在CR异常增加症状^[25]。本研究显示,两组患者治疗后屈肘时肱三头肌和伸肘时肱二头肌CR水平显著低于治疗前,且研究组显著低于对照组,与Valles等^[26]研究结果一致,提示机器人辅助训练有助于改善患者肌功能,促使患者尽快康复。

综上所述,机器人辅助训练对脑卒中患者上肢屈肌痉挛治疗效果较好,可显著改善患者上肢功能障碍,缓解上肢屈肌痉挛,增加肘关节主动伸展角度,协调上肢系统张力平衡。但因本研究纳入对象、观察指标较少,而使结果存在偏倚,后期需扩大样本容量进行进一步研究分析,以明确机器人辅助训练的治疗效果,为临床治疗提供精确依据。

参考文献

- Alfieri FM, Massaro AR, Filippo TR, et al. Evaluation of body temperature in individuals with stroke[J]. Neurorehabilitation, 2016, 40(1):1—10.
- Jung TM, Kim AR, Lee Y, et al. Precise muscle selection using dynamic polyelectromyography for treatment of post-stroke dystonia: a case report[J]. Ann Rehabil Med, 2016, 40(3):551—555.
- Lee ZI, Yu KJ, Lee DH, et al. The effect of nebulized glycopyrrolate on posterior drooling in patients with brain injury: two cases of different brain lesions[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2017, 96(8):155—158.
- 王开龙, 庞军, 黄瑾明, 等. 壮医经筋挑刺法治疗卒中偏瘫痉挛状态的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(1):89—91.
- Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, Van Wegen EEH, et al. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2017, 31(2): 107—121.
- 中华神经科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29(6):379—388.
- 南登崑. 康复医学[M]. 第3版. 北京:人民卫生出版社, 2004.40—131.
- 燕铁斌, 窦祖林. 实用瘫痪康复[M]. 北京:人民卫生出版社, 1999.176—180.
- 周维金, 孙启良. 偏瘫康复评定手册[M]. 北京:人民卫生出版社, 2006. 45—51.

- [10] 黄美玲, 王玉龙, 王尧. 康复医学专科医疗联合体中脑卒中患者康复疗效的同质化研究[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(6):618—623.
- [11] Chen HX, Wang W, Xiao HQ, et al. Ultrasound-guided botulinum toxin injections and EMG biofeedback therapy the lower limb muscle spasm after cerebral infarction[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2015, 19(9):1696—1699.
- [12] Mansfield A, Schinkelivy A, Danells CJ, et al. Does perturbation training prevent falls after discharge from stroke rehabilitation? a prospective cohort study with historical control[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2017, 26(10):2174—2180.
- [13] 吴运景, 刘晓霞, 韩丽雅, 等. 操作性肌电生物反馈联合康复训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(1):86—88.
- [14] Gross HM, Scheidig A, Debes K, et al. ROREAS: robot coach for walking and orientation training in clinical post-stroke rehabilitation—prototype implementation and evaluation in field trials[J]. Auton Robots, 2017, 41(3):679—698.
- [15] Triccas LT, Burrige JH, Hughes A, et al. A double-blind randomised controlled trial exploring the effect of anodal transcranial direct current stimulation and unilateral robot therapy for the impaired upper limb in sub-acute and chronic stroke[J]. Neurorehabilitation, 2015, 37(2): 181—191.
- [16] Colombo R, Sterpi I, Mazzone A, et al. Improving proprioceptive deficits after stroke through robot-assisted training of the upper limb: a pilot case report study[J]. Neurocase, 2016, 22(2):191—200.
- [17] Antonio C, Loris P, Vera G, et al. Exoskeleton-robot assisted therapy in stroke patients: a lesion mapping study[J]. Front Neuroinform, 2018, 12(4):44—54.
- [18] Rodgers H, Shaw L, Bosomworth H, et al. Robot assisted training for the upper limb after stroke (ratuls): study protocol for a randomised controlled trial[J]. Trials, 2017, 18(1): 340—355.
- [19] Daunoraviciene K, Adomaviciene A, Grigonyte A, et al. Effects of robot-assisted training on upper limb functional recovery during the rehabilitation of poststroke patients[J]. Technol Health Care, 2018, 26(S2):533—542.
- [20] Dashtipour K, Chen JJ, Walker HW, et al. Systematic literature review of abobotulinumtoxinA in clinical trials for adult upper limb spasticity[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2015, 94(3):229—238.
- [21] Spinos E, Mattingly TK. P.099 Characteristics of the SO-FIA distal access catheter in suction-stentriever acute stroke intervention[J]. Can J Neurol Sci, 2016, 43(2):43.
- [22] Jin Y, Zhao Y. Post-stroke upper limb spasticity incidence for different cerebral infarction site[J]. Open Med, 2018, 13(1):227—231.
- [23] Xu H, Jie J, Hailiang Z, et al. Effect of EMG-triggered stimulation combined with comprehensive rehabilitation training on muscle tension in poststroke hemiparetic patients[J]. J Sports Med Phys Fitness, 2015, 55(11):1343—1347.
- [24] Jung K, Jung J, In T, et al. The influence of task-related training combined with transcutaneous electrical nerve stimulation on paretic upper limb muscle activation in patients with chronic stroke[J]. Neurorehabilitation, 2017, 40(3): 315—323.
- [25] Yoshitake Y, Kanehisa H, Shinohara M. Correlated EMG Oscillations between Antagonists during Co-contraction in Men[J]. Med Sci Sports Exerc, 2017, 49(3):538—548.
- [26] Valles KB, Montes S, de Jesus Madrigal M, et al. Technology-assisted stroke rehabilitation in Mexico: a pilot randomized trial comparing traditional therapy to circuit training in a Robot/technology-assisted therapy gym[J]. J Neuroeng Rehabil, 2016, 13(1): 83—98.