

功能性电刺激同步踝足矫形器步态训练对脑卒中患者步行功能的影响

苏婷婷¹ 黄倩倩¹ 金韵¹ 陈晓勇¹ 王锡祥¹ 林海燕^{1,2} 蒋松鹤^{1,2}

¹温州医科大学附属第二医院康复医学中心, 温州 325027; ²温州医科大学智能康复国际联盟, 温州 325027

通信作者: 蒋松鹤, Email: songhejiang@wmu.edu.cn

【摘要】 **目的** 观察功能性电刺激同步踝足矫形器步态训练对脑卒中后偏瘫患者下肢运动功能、步态时-空参数和关节角度参数的影响。**方法** 将符合入选标准的脑卒中患者 32 例随机分为对照组 ($n=10$)、支具组 ($n=10$) 和联合组 ($n=12$)。3 组患者均接受常规药物治疗和常规康复训练, 对照组在此基础上增加步态训练, 支具组则增加佩戴 AFO 行步态训练, 联合组在常规药物和常规康复训练的基础上增加 FES 治疗, 且在 FES 治疗的同时佩戴 AFO 行步态训练。3 组患者均接受为期 4 周的治疗, 并于治疗前和治疗 4 周后 (治疗后) 采用下肢 Fugl-Meyer 评定量表 (FMA-LE)、下肢 Brunnstrom 运动恢复分期量表 (BRL)、步行功能评定表 (FAC) 对其下肢运动功能和步行能力进行评估, 同时使用三维步态分析仪获取 3 组患者步态参数, 比较其治疗前、后偏瘫步态的变化。**结果** 治疗 4 周后, 3 组患者的 FMA-LE、FAC、BRL 评分、时-空参数和各关节最大屈曲角度较组内治疗前均显著改善, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。治疗后, 联合组患者的 FMA-LE 评分 [(28.42±1.38) 分]、FAC 评分 [(4.33±0.49) 分]、BRL 评分 [(5.41±0.67) 分]、步频 [(79.58±19.08) 步/min]、步速 [(56.97±19.08) cm/s]、步幅 [(77.33±15.20) cm]、步行周期 [(1.42±0.29) s]、双支撑相 [(34.00±5.39)%] 以及髋、膝、踝关节最大屈曲角度均显著优于对照组和支具组治疗后, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。**结论** 功能性电刺激的同时行踝足矫形器步态训练可显著改善脑卒中后偏瘫患者的下肢运动和步行功能, 增加其关节活动度。

【关键词】 功能性电刺激; 踝足矫形器; 脑卒中; 足下垂; 足内翻; 步态

基金项目: 浙江省医药卫生科研项目 (2017PY021)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.11.011

Functional electrical stimulation can improve the gait of hemiplegic stroke survivors with an ankle-foot orthosis

Su Tingting¹, Huang Qianqian¹, Jin Yun¹, Chen Xiaoyong¹, Wang Xixiang¹, Lin Haiyan^{1,2}, Jiang Songhe^{1,2}

¹Department of Physical Medicine and Rehabilitation, The Second Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China; ²Intelligent Rehabilitation International Alliance, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China

Corresponding author: Jiang Songhe, Email: songhejiang@wmu.edu.cn

【Abstract】 Objective To observe the effect of functional electrical stimulation (FES) combined with an ankle-foot orthosis (AFO) and gait training on lower limb motor function, gait parameters and the joint angles of hemiplegic stroke survivors. **Methods** Thirty-two stroke survivors who met the inclusion criteria were selected and randomly divided into a control group ($n=10$), an orthosis group ($n=10$), and a combination therapy group ($n=12$). In addition to routine medication and rehabilitation, the control group received only gait training, the orthosis group received gait training and an AFO and the combination therapy group was given FES, an AFO and gait training. All three groups were treated for four weeks. Then, the Fugl-Meyer lower extremity assessment (FMA-LE), the Brunnstrom lower extremity assessment (BRL), and Functional Ambulation Categories (FACs) were used to evaluate the lower limb motor function and walking ability of the three groups. The gait parameters of the three groups were quantified using a three-dimensional gait analyzer, and the changes in the hemiplegic gait before and after treatment were compared among the three groups. **Results** After the treatment the average FMA-LE, FAC and BRL scores, time-space parameters, and joint angle parameters of all three groups had all improved significantly. After the intervention the average indicators in the combined therapy group (including stride frequency, stride length and walking speed) were all significantly better than in the other two groups. **Conclusions** Adding FES to

gait training with an AFO can effectively improve lower limb motor function and the walking ability of hemiplegic stroke survivors.

【Key words】 Functional electrical stimulation; Ankle-foot orthosis; Stroke; Foot drop; Varus foot; Gait

Funding: The Medical Scientific Research Program of Zhejiang Province (2017PY021)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.11.011

脑卒中是致残率最高的疾病之一^[1],脑卒中后约 20% 的患者会并发足下垂和足内翻^[2],严重影响患者的日常生活活动能力和生活质量,故有效的康复治疗十分重要^[3-4]。目前,踝足矫形器(ankle-foot orthosis, AFO)与功能性电刺激(functional electrical stimulation, FES)已被广泛应用于康复治疗,并经研究证明可改善偏瘫患者的步行能力^[5-7]。鉴于目前鲜见将这两种治疗方法联合应用的临床研究,本课题组于 2018 年 10 月至 2019 年 10 月采用 FES 同步 AFO 对脑卒中后偏瘫患者的下肢运动功能和步行能力进行了联合干预,取得了满意疗效。

资料与方法

一、一般资料 and 分组

纳入标准:①符合《新版中国脑血管疾病分类中关于缺血性脑血管病及出血性脑血管病修定的疾病名介绍》制定的诊断标准^[8],且经头颅 MRI 或 CT 确诊的初发病例;②年龄 30~80 岁;③单侧偏瘫,患侧下肢无深、浅感觉明显异常;④患侧下肢 Brunnstrom 分期 \geq III 期,徒手肌力测试踝背屈肌力 \geq 1 级,改良 Ashworth 痉挛评分 \leq 2 分;⑤站立平衡 \geq 2 级,Holden 步行能力 \geq 2 级,可独立或者在辅助器下连续行走 10 m;⑥生命体征平稳,意识清楚;⑦自愿签署知情同意书。

排除标准:①进展型脑卒中或其他神经功能缺失影响步行能力;②有严重心、肾、肝及传染性疾病,不宜进行康复训练者;③髌、膝、踝关节有严重挛缩影响步行能力者;④有电刺激医疗禁忌,如装有心脏起搏器等。

选取 2018 年 10 月至 2019 年 10 月在温州医科大学附属第二医院神经内科和康复医学科住院且符合上述标准的脑卒中患者 32 例,按随机数字表法将其分为对照组 10 例、支具组 10 例和联合组 12 例。3 组患者

的性别、年龄、病变性质、偏瘫侧别和平均病程等一般资料组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

3 组患者均接受常规药物治疗(包括降血糖,降血压,调脂,营养脑神经等)和常规康复训练(包括肢体肌力训练、楔形板站立平衡训练、坐-站训练、日常生活活动能力训练等,每日 1 次,每次共 60 min,每周 5 d,持续 4 周)。对照组在此基础上增加步态训练,支具组则增加佩戴 AFO 行步态训练,联合组在常规药物和常规康复训练的基础上增加 FES 治疗,且在 FES 治疗的同时佩戴 AFO 行步态训练。

1.步态训练:步态训练前,使用三维步态分析仪对患者的步态进行定量评估,根据患者偏瘫步态特点采取针对性训练。首先将偏瘫步态的整体训练进行划分,包括站立位伸髋训练,膝关节屈伸控制训练,踏步训练,躯干骨盆协调性训练,迈步和行走训练。在训练过程中不可跨越太大,在步行训练时最主要是规范行走方式,根据患者步行能力选择不同环境(如模拟不同地面、模拟社区、模拟乘降交通工具、模拟跨越障碍物等)反复进行步态训练,以求打破异常步行姿势,建立起新的正常步行模式。步态训练每日 1 次,每次 30 min,每周 5 d,连续 4 周。

2.佩戴 AFO 步态训练:患者佩戴温州医科大学附属第二医院康复医学科自制 AFO,使足部保持舒适度的外翻和背屈,按正确方法扣好约束带,保证足跟能紧贴 AFO 并无卡压或约束感,穿上鞋后由治疗师对患者进行步态训练。佩戴 AFO 步态训练每日 1 次,每次 30 min,每周 5 d,连续 4 周。

3.FES 联合 AFO 步态训练:患侧下肢屈曲 90°,用酒精擦拭贴片处的皮肤,将电极分别贴置于患肢胫骨前肌肌腹处(腓骨头和内踝连线的上 1/3 处)及腓骨

表 1 3 组患者一般资料比较

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	病变性质(例)		偏瘫侧(例)		平均病程 (周, $\bar{x}\pm s$)
		男	女		脑出血	脑梗死	左侧	右侧	
对照组	10	6	4	53.70 \pm 10.08	2	8	4	6	13.90 \pm 9.90
支具组	10	6	4	56.00 \pm 10.88	3	7	6	4	15.40 \pm 10.97
联合组	12	8	4	56.75 \pm 7.67	3	9	6	6	13.16 \pm 9.01

短肌肌腹处(腓骨外侧下 2/3 处),治疗师开启电源并依据患者的反应调整刺激参数,波形为正向矩形波,刺激频率 30 Hz,脉宽 200 μ s,电流强度以能产生踝关节背屈动作且患者耐受为宜(20~50 mA),再将 AFO 穿戴上。患者站稳后开启电源,开展步态训练,当患者感知电流刺激胫骨前肌和腓骨短肌踝背屈时,患侧摆动相开始,足跟离地,电刺激停止后进入站立相。训练每天 1 次,每次 30 min,每周 5 d,连续 4 周。

三、评定指标

3 组患者分别于治疗前和治疗 4 周后(治疗后)采用下肢 Brunnstrom 分期评定(Brunnstrom assessment for lower extremity, BRL)、下肢 Fugel-Meyer 评定量表(Fugel-Meyer assessment for lower extremity, FMA-LE)、功能性步行能力分级(functional ambulation category, FAC)和步态分析仪对 3 组患者的下肢运动功能、步行功能及步态参数进行评估。

1. Brunnstrom 分期评定:根据患者恢复运动功能的六个不同阶段,提出“恢复六阶段”理论^[9],即分 I-VI 期,但为了方便统计分析,本研究将不同阶段分期用相对应的阿拉伯数字来表示,例如 Brunnstrom III 期计为 3 分,以此类推。该评定所得的阶段分期越高,代表下肢运动功能恢复越好。

2. FMA-LE 量表:采用简化 Fugl-Meyer 运动功能量表下肢部分进行评估^[10],评定偏瘫侧下肢运动功能,共 17 项,运动总分为 34 分,分数越高说明下肢运动功能越好。

3. FAC 量表:该量表用于评定患者的步行功能,按 0~5 分进行分级,分数越高说明步行能力越好。

4. 步态分析:采用了广州产 Gait Watch 三维步态分析仪及其附带的数据分析系统,分析步态时空参数和关节角度参数。患者行步态测试时未佩戴 FES 和 AFO。测试对象在家属陪伴下适应环境后,分别将传感器放置在骶骨后正中间处、股骨中段正前方、胫骨内侧肌肉平整处以及脚背平坦处,患者在规定安静不受干扰的测试走廊上直线行走 12 m,采集患者骨盆、髋、膝、踝各关节在矢状面、垂直面和冠状面的运动数据,得出受试者步行的步频、步幅、步速、步态周期、双支撑相、左右支撑相、左右摆动相以及屈髋、屈膝和踝背伸的最大屈曲角度,所有受试者都测试 2 次,选择最接近平日步行的步态做最终数据分析。

四、统计学分析

采用 SPSS 21.0 版统计学软件进行数据分析。用($\bar{x}\pm s$)描述年龄、评分和步态参数,频数指标描述性别和偏瘫侧情况,3 组基线特征的组间比较采用单因素方差分析和 χ^2 检验,治疗前、后的计量资料组内比较采用配对 t 检验分析,组间比较采用单因素方差分析。

以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、3 组患者治疗前、后 FMA-LE、BRL、FAC 评分比较

治疗前,3 组患者的 FMA-LE、BRL、FAC 评分组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,3 组患者的 FMA-LE、BRL、FAC 评分与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),且联合组治疗后的 FMA-LE、BRL、FAC 评分显著优于对照组和支具组治疗后,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 2。

表 2 3 组患者治疗前、后 FMA-LE、BRL、FAC 评分比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FMA-LE	BRL	FAC
对照组				
治疗前	10	16.20 \pm 2.35	3.50 \pm 0.53	2.30 \pm 0.67
治疗后	10	22.10 \pm 1.80 ^a	4.13 \pm 0.48 ^a	3.40 \pm 0.52 ^a
支具组				
治疗前	10	16.80 \pm 3.23	3.40 \pm 0.52	2.50 \pm 0.53
治疗后	10	23.40 \pm 2.88 ^a	4.40 \pm 0.48 ^a	3.80 \pm 0.63 ^a
联合组				
治疗前	12	17.08 \pm 2.11	3.33 \pm 0.49	2.48 \pm 0.51
治疗后	12	28.42 \pm 1.38 ^{abc}	5.41 \pm 0.67 ^{abc}	4.33 \pm 0.49 ^{abc}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$;与支具组治疗后比较,^c $P<0.05$

二、3 组患者治疗前、后时空参数比较

治疗前,3 组患者的时空各项参数组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,3 组患者的时空各项参数与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),且联合组治疗后的步行周期、双支撑相、步频、步速和步幅均显著优于对照组和支具组治疗后,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 3。

三、3 组患者治疗前、后各关节最大屈曲角度比较

治疗前,3 组患者各关节最大屈曲角度组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,3 组患者各关节最大屈曲角度与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),且联合组治疗后的各关节最大屈曲角度显著优于对照组和支具组治疗后,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 4。

讨 论

本研究结果显示,治疗 4 周后,联合组患者的 FMA-LE 评分、BRL 评分、FAC 评分、步频、步速、步幅、步行周期、双支撑相时间均显著改善,且均优于对照组和支具组治疗后($P<0.05$),该结果提示,FES 的同时给予 AFO 对患者进行步态训练,可显著提高患者的下肢运动功能、步行功能,并纠正其异常步态模式。其机制

表 3 3 组患者治疗前、后时-空参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	步行周期(s)	双支撑相(%)	患侧支撑相(%)	患侧摆动相(%)	健侧支撑相(%)
对照组						
治疗前	10	2.23±0.58	45.00±6.43	70.60±6.04	29.40±5.54	77.90±4.05
治疗后	10	1.99±0.54 ^a	40.20±4.96 ^a	67.50±4.09 ^a	32.50±4.37 ^a	71.30±5.68 ^a
支具组						
治疗前	10	2.47±0.72	47.80±8.67	69.10±5.82	30.90±5.82	77.80±3.71
治疗后	10	1.82±0.22 ^a	39.60±4.23 ^a	65.60±5.68 ^a	34.40±4.43 ^a	69.40±6.63 ^a
联合组						
治疗前	12	2.22±0.55	44.25±5.20	68.25±6.74	31.75±5.98	75.00±6.35
治疗后	12	1.42±0.29 ^{abc}	34.00±5.39 ^{abc}	62.07±5.37 ^a	37.83±5.65 ^a	64.75±5.30 ^a
组别	例数	健侧摆动相(%)	步频(步/min)	步速(cm/s)	步幅(cm)	
对照组						
治疗前	10	22.10±4.05	50.60±8.97	21.50±7.32	49.10±8.14	
治疗后	10	28.70±5.67 ^a	63.60±12.70 ^a	32.10±13.14 ^a	58.10±14.41 ^a	
支具组						
治疗前	10	22.20±3.71	48.80±11.35	18.79±7.82	45.10±10.01	
治疗后	10	31.60±2.63 ^a	67.80±9.25 ^a	35.00±8.46 ^a	62.10±8.91 ^a	
联合组						
治疗前	12	25.00±6.39	51.16±10.68	21.67±8.80	51.25±11.60	
治疗后	12	35.25±3.31 ^a	79.58±10.86 ^{abc}	56.97±19.08 ^{abc}	77.33±15.20 ^{abc}	

注:与组内治疗前相比,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$;与支具组治疗后比较,^c $P<0.05$ 表 4 3 组患者治疗前、后各关节最大屈曲角度比较($^{\circ}$, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	髋关节最大屈曲角度	膝关节最大屈曲角度	踝关节最大屈曲角度
对照组				
治疗前	10	18.80±6.39	28.00±7.13	4.30±4.50
治疗后	10	21.80±4.64 ^a	38.80±9.44 ^a	7.90±5.73 ^a
支具组				
治疗前	10	18.10±7.36	26.100±8.70	4.37±5.66
治疗后	10	22.80±3.08 ^a	41.20±9.99 ^a	9.00±4.75 ^a
联合组				
治疗前	12	19.75±6.74	30.08±7.81	6.67±5.33
治疗后	12	25.08±5.86 ^{abc}	52.32±13.57 ^{abc}	14.33±6.87 ^{abc}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$;与支具组治疗后比较,^c $P<0.05$

可能是,AFO 作为一种矫形器,可有效地矫正畸形并维持患肢功能位,固定和保护踝关节,对患者的下肢运动功能及部分步态参数方面都有积极的影响^[11-12]。

AFO 也有一定的局限性,本研究采取的是静态踝足矫形器,该支具的特点有矫形力较大,稳定性好,但患者步行时下肢肌肉易疲劳且步态僵硬^[13],这使得有 AFO 与无 AFO 下对下肢运动功能、步行功能及纠正异常步态方面差距不大。研究表明,FES 可通过刺激胫骨前肌和腓骨短肌的收缩,在摆动初期诱导踝背伸^[14]。基于此,本研究将 AFO 和 FES 的优点结合起来,以期将两者的优势互补,从而达到矫正和治疗的双重效果。该联合治疗可使患者在特定的任务训练过程中,重复不断地在正常下肢运动模式下模拟正常行走方式,从而刺激大脑的皮质感觉区,促进残存的中枢神

经系统神经元的功能重建及运动再学习,有利于患者运动功能恢复。但值得注意的是,治疗后,3 组患者的患侧支撑相、患侧摆动相时间、健侧支撑相、健侧摆动相时间在组间比较,差异并没有统计学意义,其原因可能是,单足支撑相与摆动相提示的是患者单腿的负重能力,负重能力主要依赖于臀肌、髂腰肌、股四头肌、小腿三头肌等下肢肌肉的力量^[15-16]。Kim 等^[17]的研究发现,对臀中肌和胫骨前肌进行刺激的患者,其支撑时间和步态对称性优于只刺激了胫骨前肌的患者,而本研究的 FES 仅刺激了胫骨前肌和腓骨短肌,重点希望纠正患者的足下垂和内翻,这可能导致患侧肌肉力量难以明显提高。

本研究结果还显示,治疗 4 周后,联合组的髋、膝、踝关节最大屈曲角度均有显著改善,且均优于对照组和支具组治疗后($P<0.05$),该结果提示,FES 的同时进行 AFO 治疗对偏瘫患者关节活动度和稳定性有明显促进作用。该结果的产生机制可能是,患者佩戴 AFO 步行时,虽然对踝关节起到了支撑和稳定作用,但也限制了关节活动。本研究使用的 AFO 将患足全部包围,使患者在行走时限制了自地面的感觉输入,而关节运动觉在很大程度上取决于感觉系统对外部环境的有效反应,但是在佩戴 AFO 的同时进行 FSE 刺激,有助于增加踝关节活动度、提高背伸肌肌力,增强足底感觉的信息输入。因此,联合治疗有利于增加患者步行时踝关节背伸角度。脑卒中后,患者为了代偿足下垂,行走时会呈现为患侧骨盆上提后撤、髋关节外展外

旋的划圈步态, 屈髋、屈膝受到限制^[18]。本研究结果提示, FES 与 AFO 同步应用可显著增加踝关节背伸角度, 纠正划圈步态。

综上所述, FES 的同时行 AFO 步态训练可显著改善脑卒中后偏瘫患者的下肢运动和步行功能, 增加其关节活动度。因此, 本课题组认为, 现代康复治疗不仅需要新型高科技仪器治疗技术, 还需要将其与传统的治疗技术相结合, 从而发挥最大的治疗作用。

参 考 文 献

- [1] Roth GA, Johnson C, Abajobir A, et al. Global, regional, and national burden of cardiovascular diseases for 10 causes, 1990 to 2015[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 70(1): 1-25. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.04.052.
- [2] Ward AB. Managing spastic foot drop after stroke[J]. *Eur J Neurol*, 2014, 21(8): 1053-1054. DOI: 10.1111/ene.12404.
- [3] Wei TS, Liu PT, Chang LW, et al. Gait asymmetry, ankle spasticity, and depression as independent predictors of falls in ambulatory stroke patients[J]. *PLoS One*, 2017, 12(5): e0177136. DOI: 10.1371/journal.pone.0177136.
- [4] Price R, Choy NL. Investigating the relationship of the functional gait assessment to spatiotemporal parameters of gait and quality of life in individuals with stroke[J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2019, 42(4): 256-264. DOI: 10.1519/JPT.000000000000173.
- [5] Everaert DG, Stein RB, Abrams GM, et al. Effect of a foot-drop stimulator and ankle-foot orthosis on walking performance after stroke: a multicenter randomized controlled trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2013, 27(7): 579-591. DOI: 10.1177/1545968313481278.
- [6] Ferreira LA, Neto HP, Grecco LA, et al. Effect of ankle-foot orthosis on gait velocity and cadence of stroke patients: a systematic review[J]. *J Phys Ther Sci*, 2013, 25(11): 1503-1508. DOI: 10.1589/jpts.25.1503.
- [7] Karniel N, Raveh E, Schwartz I, et al. Functional electrical stimulation compared with ankle-foot orthosis in subacute post stroke patients with foot drop: A pilot study[J]. *Assist Technol*, 2019; 1-8. DOI: 10.1080/10400435.2019.1579269.
- [8] 郑海农, 林益芳, 蒋爱敏. 新版中国脑血管疾病分类中关于缺血性脑血管病及出血性脑血管病修定的疾病名介绍[J]. *心脑血管病防治*, 2018, 18(2): 91. DOI: 10.3969/j.issn.1009-816X.2018.02.002.
- [9] Huang CY, Lin GH, Huang YJ, et al. Improving the utility of the Brunnstrom recovery stages in patients with stroke: validation and quantification[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(31): e4508. DOI: 10.1097/MD.0000000000004508.
- [10] Sullivan KJ, Tilson JK, Cen SY, et al. Fugl-Meyer assessment of sensorimotor function after stroke: standardized training procedure for clinical practice and clinical trials[J]. *Stroke*, 2011, 42(2): 427-432. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.592766.
- [11] Sankaranarayan H, Gupta A, Khanna M, et al. Role of ankle foot orthosis in improving locomotion and functional recovery in patients with stroke: a prospective rehabilitation study[J]. *J Neurosci Rural Pract*, 2016, 7(4): 544-549. DOI: 10.4103/0976-3147.185507.
- [12] 周鹏. 踝足矫形器早期使用对脑卒中偏瘫患者步态及步行能力的影响[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2018, 18(81): 53+55. DOI: 10.19613/j.cnki.1671-3141.2018.81.034
- [13] 熊宝林, 周大伟, 徐静. 穿戴塑料踝足矫形器对下肢肌肉疲劳性的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2014, (25): 4095-4100. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2014.25.028.
- [14] Carraro U, Kern H, Gava P, et al. Recovery from muscle weakness by exercise and FES: lessons from Masters, active or sedentary seniors and SCI patients[J]. *Aging Clin Exp Res*, 2017, 29(4): 579-590. DOI: 10.1007/s40520-016-0619-1.
- [15] Lee JB, Kim SB, Lee KW, et al. Combined therapy with functional electrical stimulation and standing frame in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2019, 43(1): 96-105. DOI: 10.5535/arm.2019.43.1.96.
- [16] 张晶晶, 李艳. 脑卒中偏瘫步态特点及康复策略[J]. *中国老年学杂志*, 2019, 39(5): 1044-1047. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2019.05.007.
- [17] Kim JH, Chung Y, Kim Y, et al. Functional electrical stimulation applied to gluteus medius and tibialis anterior corresponding gait cycle for stroke[J]. *Gait Posture*, 2012, 36(1): 65-67. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.01.006.
- [18] Hishikawa N, Tanikawa H, Ohtsuka K, et al. Quantitative assessment of knee extensor thrust, flexed-knee gait, insufficient knee flexion during the swing phase, and medial whip in hemiplegia using three-dimensional treadmill gait analysis[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2018, 25(8): 548-553. DOI: 10.1080/10749357.2018.1497272.

(修回日期: 2020-10-15)

(本文编辑: 阮仕衡)