

# 步态诱发功能性电刺激同步减重平板训练对脑卒中患者下肢表面肌电信号的影响

程华军 陈尚杰 许琼瑜 朱芬 焦睿 高文芳 黄石钊 刘恒 王单

**【摘要】 目的** 探讨步态诱发功能性电刺激与减重平板训练同步治疗对脑卒中患者偏瘫下肢表面肌电信号的影响。**方法** 选择 90 例脑卒中后偏瘫患者，随机分为同步组（A 组）、分离组（B 组）和减重平板组（C 组），每组各 30 例患者。A 组采用步态诱发功能性电刺激与减重平板训练同步进行治疗，B 组采用步态诱发功能性电刺激与减重平板训练分离进行治疗，C 组仅单纯采用减重平板治疗，共治疗 3 周，观察对比 3 组治疗前后患侧胫骨前肌和腓肠肌外侧头的积分肌电值（iEMG）及协同收缩率（CR）、步速、左右步幅差、踝关节活动度（AROM）、Fugl-Meyer 运动功能量表（FMA）下肢部分、改良 Barthel 指数（MBI）和功能性步行分级（FAC）评分。**结果** 治疗后，3 组患者胫骨前肌和腓肠肌 iEMG 值、踝背伸及跖屈 CR、步速、左右步幅差、踝关节活动度、FMA 评分、MBI 评分、FAC 评分均较治疗前改善（ $P$  均  $< 0.05$ ），治疗后 A、B 组前述各项指标均优于 C 组（ $P$  均  $< 0.05$ ），A 组胫骨前肌 iEMG、踝关节背伸 CR 及 AROM 优于 B 组（ $P$  均  $< 0.05$ ）。**结论** 诱发功能性电刺激与减重平板训练同步治疗可以调节脑卒中偏瘫患者患侧下肢表面肌电信号，两者同步治疗改善表面肌电信号的作用明显优于两者分离治疗及单用减重平板训练治疗。

**【关键词】** 表面肌电信号；脑卒中；同步；诱发功能性电刺激；减重平板训练

**Effect of synchronous therapy of gait-triggered functional electrical stimulation and weight loss treadmill exercise on surface electromyography signal of hemiplegic lower limb in stroke patients**

Cheng Huajun, Chen Shangjie, Xu Qiongyu, Zhu Fen, Jiao Rui, Gao Wenfang, Huang Shizhao, Liu Heng, Wang Dan. Shenzhen Baoan Hospital Affiliated to Southern Medical University, Shenzhen 518100, China

**【Abstract】 Objective** To evaluate the effect of gait-triggered functional electrical stimulation combined with weight loss treadmill exercise on the surface electromyography signal of the hemiplegic lower limbs in patients diagnosed with stroke. **Methods** Ninety hemiplegic patients after stroke were chosen and randomly divided into the synchronous (group A), separate (group B) and weight loss treadmill exercise groups (group C) ( $n = 30$  for each group). Patients in group A received gait evoked functional electrical stimulation combined with weight loss treadmill exercise simultaneously. Participants in group B underwent gait-triggered functional electrical stimulation, subsequently followed by weight loss treadmill exercise. Those in group C received weight loss treadmill exercise alone. All therapies endured for three weeks. The integrated electromyogram (iEMG) value and co-contraction ratio (CR) of the anterior tibial muscle and the lateral head of the gastrocnemius muscle, walking speed, stride difference, ankle joint range of motion (AROM), Fugl-Meyer movement function scale (FMA) of lower extremity, modified Barthel index (MBI) and functional walking score (FAC) score before and after treatment among three groups were statistically compared. **Results** After corresponding treatment, iEMG value of the anterior tibial muscle and the lateral head of the gastrocnemius muscle, CR of ankle dorsiflexion and plantar flexion, walking speed, stride difference, AROM, FMA, MBI and FAC scores were all significantly improved among three groups (all  $P < 0.05$ ). The parameters above in groups A and B were superior to those in group C following respective therapy (all  $P < 0.05$ ). The iEMG of the anterior tibial muscle, CR and AROM of the ankle dorsiflexion in group A were significantly improved compared with those in group B (all  $P < 0.05$ ). **Conclusions** Synchronous application of gait-triggered functional electrical stimula-

tion and weight loss treadmill exercise can regulate the surface electromyography signal of the hemiplegic lower limbs in patients diagnosed with stroke. Synchronous treatment exerts higher effect upon the surface electromyography signal compared with separate therapy and weight loss treadmill exercise alone.

**【Key words】** Surface electromyography signal; Stroke; Synchronization; Evoked functional electrical stimulation; Weight loss treadmill exercise

我国迈入老龄化的人口越来越多，脑卒中的发病率呈逐年增高的趋势。脑卒中患者主要表现为一侧肢体偏瘫、步行功能障碍，若不及时治疗，势必对患者步态功能恢复构成影响，严重影响患者的日常生活及活动能力，故尽快地恢复脑卒中偏瘫患者肢体运动功能，特别是步行功能显得尤为重要。对于改善偏瘫患者的步行能力，传统康复因治疗效果及功效评定的主观性，结果难以精确定量而受到限制。为此，我科自2014年7月以来对90例脑卒中偏瘫患者，分别进行单独减重平板训练治疗、步态诱发功能性电刺激与减重平板训练同步治疗及先后分离治疗，并对患者下肢进行了表面肌电信号检测研究，旨在比较3种方法的临床疗效。

对象与方法

一、研究对象  
按1995年全国第四届脑血管病学术会议制定

表1 3组脑卒中偏瘫患者一般资料比较

组别	例数	性别（例）		年龄（岁）	病程（d）	卒中类型（例）		偏瘫侧（例）	
		男	女			梗死	出血	左	右
A组	30	20	10	53.2±6.2	45.7±7.2	21	9	17	13
B组	30	19	11	54.2±8.3	46.6±6.2	22	8	18	12
C组	30	18	12	52.6±7.4	45.1±6.4	20	10	16	14

二、治疗方法  
1. 常规治疗  
在管床医师及传统康复治疗师不知晓分组情况下，予3组患者传统康复、药物治疗。

2. A组的治疗方法  
减重平板训练治疗：患者进行减重平板训练治疗前，治疗师先将固定带分别系在患者的腰部和臀部，由2名及以上治疗师同时进行固定，两侧均匀用力，松紧度以舒适为宜，使患者训练时能保持身体两侧对称平衡。在进行训练治疗时，根据患者下肢肌力情况，先调节好承重质量，一般为体质量的30%~40%，在训练期间逐渐增加患者下肢承重质量，直至患者下肢完全能支撑自身体质量。治疗期间，患者偏瘫侧要求站立1名治疗师，以促使患者

的脑卒中诊断标准，从2014年7月至2015年12月在我院康复医学住院患者中筛选出90例脑卒中偏瘫患者。纳入患者均经CT或MRI检查，符合脑梗死或脑出血诊断；所有患者均病情稳定，神志清晰，能配合完成所有评估及接受动作性指令；均为首次脑卒中；年龄在70岁及以下；单侧肢体瘫痪；病程在半个月至半年间；偏瘫侧下肢肌力为2~4级。排除标准：合并严重系统性疾病不能进行有效运动治疗者；存在严重认知功能障碍不能配合评定及治疗者；近期并发下肢深静脉血栓者；下肢骨折者；合并心力衰竭者；并发心肌梗死者。将90例患者按随机数字表法分成3组：同步组（A组）、分离组（B组）和减重平板组（C组），每组各30例。3组患者的一般资料比较差异均无统计学意义（*P*均>0.05），具有可比性，见表1。本研究经医院伦理委员会批准，入组患者均已签署知情同意书。

步行训练时足跟着地，以及避免行走时膝关节过伸的情况，同时患者背后要求站立第2名治疗师，让患者在训练中能将体质量更好地转移到患侧下肢上，以促使躯干保持直立。最初设置坡度为0，步行速度为0.09 m/s，根据训练情况步行速度可逐渐增加，最后可调至0.17 m/s，坡度保持为0，每次治疗时间为20 min，每日治疗1次，每周6 d，共3周。  
步态诱发功能性电刺激治疗：使用XFT-2001型低频电子脉冲刺激仪。患者取坐位，下肢稍展开，膝关节轻度屈曲，足后跟部稍微给下肢做支撑。先设置神经肌肉定位仪1 Hz频率在小腿上段前外侧部找准腓总神经最敏感刺激点并贴上黑色电极片（阴极），通常此点位于胫骨外缘的腓骨头下

约 1 cm 处, 在此处电刺激产生踝关节外翻或背伸动作最大, 再在稍远的部位微调红色电极片 (阳极) 的位置并贴好, 使踝关节出现最好的外翻或背伸动作。联通线路, 在腿上固定好刺激仪。电刺激治疗时采用步行训练模式, 完成步态分析, 根据患者对刺激的敏感度和步行的状态把电刺激肌肉训练模式、倾斜角、脉宽等参数设定于刺激仪。刺激频率设置为 31 Hz, 刺激强度为 0 ~ 150 mA, 正相矩形波, 脉宽 50 ~ 500  $\mu$ s, 关机电流 0 ~ 0.5 mA, 以电刺激仪对患者步态实行实时监测, 适时给予低频脉冲电刺激治疗。每次治疗时间为 20 min, 每日治疗 1 次, 每周 6 d, 共治疗 3 周。

同步治疗: 在常规治疗的基础上, 先将患者按上述电刺激技术操作找到敏感点, 在敏感点及胫骨前肌合适位置分别放置好阴极和阳极, 在腿上固定好 XFT-2001 型电刺激仪, 分析步态后在刺激仪上设定合适的刺激方式, 再由 2 名治疗师扶持患者站立于活动平板上, 按减重平板训练技术要求用固定带固定好患者, 减重由身体体质量的 30% ~ 40% 开始, 最后开启电刺激仪和减重平板, 进行同步治疗。减重步行速度从低速 0.09 m/s 开始, 随训练时间的不断增加, 患者减重的质量可逐渐减少至完全负重, 坡度为 0 保持不变。每次两者同步治疗 20 min, 每日 1 次, 每周 6 次, 共 3 周。

### 3. B 组的治疗方法

在常规治疗的基础上, 患者按上述技术要求先单独进行步态诱发功能性电刺激治疗, 再行减重平板训练, 每次两者各治疗 20 min, 每日各治疗 1 次, 每周 6 d, 共治疗 3 周。

### 4. C 组的治疗方法

患者在常规治疗的基础上, 单纯进行减重平板训练治疗, 每次治疗 20 min, 每日 1 次, 每周 6 d, 共 3 周。

## 三、观察指标

### 1. 治疗前后的表面肌电检测

3 组患者分别于治疗前及治疗 3 周后使用上海诺诚公司生产的 Myomove (16 通道) 的表面肌电图仪行表面肌电检测 (sEMG)。首先进行患侧胫骨前肌和腓肠肌外侧头的积分肌电值 (iEMG) 检测。具体方法: 患者取仰卧位, 患侧下肢伸髋伸膝, 踝关节处于中立位屈曲 90°。检测前, 先让患者练习在伸髋伸膝状态下进行踝关节最大力量背伸及跖屈活动 (最大等长收缩), 以熟悉全部检测过

程。在正式测试开始时, 要求患者下肢尽量放松, 使其表面肌电信号处于基线附近, 保持相对稳定状态 (起伏不超过 10  $\mu$ V)。检测时, 嘱患者分别尽最大力背伸及跖屈踝关节, 并各维持 5 s (统一取中间 3 s 值)。检测过程中, 允许患者可能出现轻度屈膝和踝关节内翻情况, 但屈膝应小于 20°。每次检测患侧踝关节尽力背伸及跖屈各 3 次, 每次间隔约 5 s, 分别各取 3 次中的最大值进行统计分析。计算自主条件下患侧踝关节最大背伸及跖屈时的协同收缩率 (CR), 计算公式如下:  $CR (\%) = [\text{拮抗肌 iEMG} / (\text{主动肌 iEMG} + \text{拮抗肌 iEMG})] \times 100\%$ 。

### 2. 治疗前后的康复评定

包括: ①踝关节背伸活动度 (AROM), 采用关节量角器测量患者踝关节自主背伸运动时的关节最大活动度; ②步态分析评估, 采用足印法收集每例患者的步态资料, 具体为患者自然步行, 取其中一步测量同一足跟着地时 2 点间的前后距离, 左、右 2 个步幅的差值记为左右步幅差, 记录患者自然步行 6 m 所需时间, 计算步速; ③功能性步行分级 (FAC), 得分越高步行功能越好; ④Fugl-Meyer 运动功能量表 (FMA), 采用下肢量表, 总共 17 项, 每项均分 3 个等级 (0、1、2 分), 最高得分为 34 分, 分值越高运动功能越好; ⑤日常生活活动能力 (ADL), 评价使用 Barthel 指数 (MBI), 得分最高为 100 分。

## 四、统计学处理

使用 SPSS 15.0 统计学软件分析数据。符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 多组间比较采用方差分析, 进一步两两比较采用 LSD-*t* 法, 治疗前后组内比较采用配对 *t* 检验; 计数资料以百分比表示, 采用  $\chi^2$  检验。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

一、治疗前后 3 组脑卒中偏瘫患者的患侧下肢表面肌电信号比较

治疗前, 3 组患者患侧胫骨前肌、腓肠肌的 iEMG 和踝背伸、踝跖屈的 CR 比较差异均无统计学意义 ( $P$  均  $> 0.05$ )。治疗后, 3 组患者上述指标均较治疗前改善 ( $P$  均  $< 0.05$ ), 其中 A、B 组各项指标均优于 C 组 ( $P$  均  $< 0.05$ ), A 组胫骨前肌 iEMG 及踝背伸 CR 优于 B 组 ( $P$  均  $< 0.05$ ), 见表 2。

表2 治疗前后3组脑卒中偏瘫患者的患侧胫骨前肌和腓肠肌 iEMG 及踝背伸、跖屈 CR 比较 ( $\bar{x} \pm s$ )										
组别	例数	胫骨前肌 iEMG (mVs)		腓肠肌 iEMG (mVs)		踝背伸 CR (%)		踝跖屈 CR (%)		
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	
A组	30	0.32 ± 0.15	1.24 ± 0.21 <sup>acd</sup>	0.23 ± 0.11	0.61 ± 0.38 <sup>ac</sup>	42.3 ± 9.7	15.5 ± 9.7 <sup>acd</sup>	44.7 ± 11.4	24.5 ± 10.2 <sup>ac</sup>	
B组	30	0.34 ± 0.18	0.92 ± 0.25 <sup>ac</sup>	0.22 ± 0.13	0.61 ± 0.24 <sup>ac</sup>	42.4 ± 9.7	20.4 ± 8.8 <sup>ac</sup>	43.6 ± 10.3	25.4 ± 10.6 <sup>ac</sup>	
C组	30	0.33 ± 0.16	0.61 ± 0.36 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.12	0.41 ± 0.22 <sup>b</sup>	43.2 ± 8.5	25.4 ± 9.3 <sup>b</sup>	44.4 ± 11.3	34.5 ± 10.4 <sup>b</sup>	
F值		0.112	37.811	0.207	4.792	0.082	8.416	0.077	8.493	
P值		0.894	<0.001	0.813	0.011	0.922	<0.001	0.926	<0.001	

注：与同组治疗前比较，<sup>a</sup> $P < 0.01$ ，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与C组治疗后比较，<sup>c</sup> $P < 0.05$ ；与B组治疗后比较，<sup>d</sup> $P < 0.05$

二、治疗前后3组（ $P$ 均 $<0.05$ ）的步行功能相关参数比较

治疗前，3组患者踝关节活动度、左右步幅差、步速、FAC评分、FMA评分及MBI评分比较

差异均无统计学意义（ $P$ 均 $>0.05$ ）。治疗后，3组上述指标均较治疗前改善（ $P$ 均 $<0.05$ ），其中A、B组各项指标均优于C组（ $P$ 均 $<0.05$ ），A组AROM优于B组（ $P < 0.05$ ），见表3。

表3 治疗前后 3 组脑卒中偏瘫患者的 AROM、左右步幅差、步速、FAC、FMA、MBI 比较 ( $\bar{x} \pm s$ )													
组 别	例数	AROM (°)		左右步幅差 (cm)		步速 ( m/min)		FAC (分)		FMA (分)		MBI (分)	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
A 组	30	7.2 ± 4.3	23.7 ± 7.1 <sup>acd</sup>	8.41 ± 2.16	4.38 ± 1.27 <sup>ac</sup>	6.2 ± 2.4	15.6 ± 5.2 <sup>ac</sup>	0.95 ± 0.85	3.17 ± 1.14 <sup>ac</sup>	9.8 ± 2.1	25.1 ± 1.9 <sup>ac</sup>	42.9 ± 3.4	72.2 ± 3.8 <sup>ac</sup>
B 组	30	7.2 ± 4.3	18.6 ± 7.7 <sup>ac</sup>	9.16 ± 1.53	4.65 ± 1.73 <sup>ac</sup>	6.2 ± 2.1	14.1 ± 4.9 <sup>ac</sup>	0.93 ± 0.84	3.32 ± 1.13 <sup>ac</sup>	10.1 ± 2.2	24.7 ± 2.8 <sup>ac</sup>	43.3 ± 4.1	71.6 ± 4.5 <sup>ac</sup>
C 组	30	7.4 ± 4.4	13.6 ± 7.8 <sup>b</sup>	9.24 ± 1.56	6.39 ± 1.68 <sup>b</sup>	6.4 ± 2.1	10.1 ± 4.8 <sup>b</sup>	0.94 ± 0.76	2.16 ± 1.12 <sup>b</sup>	10.2 ± 2.1	19.7 ± 2.8 <sup>b</sup>	43.1 ± 4.1	63.9 ± 5.1 <sup>b</sup>
F 值		0.009	13.537	1.999	14.419	0.059	9.759	0.004	9.351	0.311	42.036	0.096	32.232
P 值		0.991	<0.001	0.142	<0.001	0.942	<0.001	0.996	<0.001	0.733	<0.001	0.908	<0.001

注：与同组治疗前比较，<sup>a</sup> $P < 0.01$ ，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与C组治疗后比较，<sup>c</sup> $P < 0.05$ ；与B组治疗后比较，<sup>d</sup> $P < 0.05$

讨 论

近年，随着新的治疗手段和更加严谨客观、检测效度更高的检测及评估方法的不断涌现，改善脑卒中患者偏瘫肢体运动能力、重塑大脑功能的研究已成为脑卒中患者康复治疗的热点问题。

sEMG 是采用表面肌电图仪，通过覆盖在肌肉上层的表面皮肤引导，获取被检测目标肌肉活动时所产生的生物电序列信号<sup>[1]</sup>。sEMG 已经开始应用于临床多个领域，对偏瘫患者肢体肌张力、肌力的评定有着重要的意义<sup>[2-4]</sup>。sEMG 结合传感器应用于偏瘫患者，对其日常生活能力评定具有较高的特异度(99.7%)和敏感度(95.0%)<sup>[5]</sup>。国内已有学者采用表面肌电来检测上肢肌肉的恢复情况<sup>[6]</sup>。表面肌电信号常用分析指标为 iEMG，在时间不变的条件下，参加活动的运动单位数量越多及各个运动单位放电越大，其 iEMG 值越大，反之 iEMG 值越小，体现了单位时间内肌肉收缩的特性<sup>[7]</sup>。脑卒中患者高级中枢神经系统受到损害时，会出现患侧肢体活动时主动肌与拮抗肌协同收缩的异常，表现为 CR 异常，通过 sEMG 测得踝关节背伸时胫骨前肌及腓肠肌 iEMG 值，可以分析计算其 CR，观测

CR 变化情况，定量评价患者患侧肢体肌张力变化情况。近年，有学者对脑卒中患者恢复期过程中踝关节运动时相关肌肉用 sEMG 做了有关研究，发现并证实患肢恢复后期肌电信号的变化好于恢复前期<sup>[8]</sup>。

功能性电刺激是采用低频电流对失去神经支配的肌肉进行刺激的一种治疗方法，能有效改善患者的运动功能和日常生活能力<sup>[9]</sup>。越来越多学者开始注重研究功能性电刺激对改善偏瘫患者患侧肢体运动功能的作用。国内单莎瑞等<sup>[10]</sup>研究发现，功能性电刺激能有效地改善脑卒中患者足下垂步态的时空参数，提高步行功能及行走稳定性。有学者在脑卒中早期采用踝足矫形器对偏瘫侧肢体步行功能及表面肌电信号影响进行了研究，发现功能性电刺激对患者下肢表面肌电信号有明显改善作用<sup>[11]</sup>。

近年减重平板训练治疗在脑卒中患者肢体功能恢复中引起了很大的重视<sup>[12]</sup>。减重步态训练时步行速度的提高可引起速度相关的一系列改善，包括躯干和肢体的运动力学特征及肌肉活跃模式的改善<sup>[13]</sup>。在减重平板训练治疗时，通过传送带的匀速带动，使患者髋关节被强迫性被动过伸，对步行处于支撑相末期所有髋关节屈肌均有牵拉效果，通

过牵拉会促使髋部屈曲肌群的收缩,进一步促使下肢向前摆动;另外,在支撑末期同样构成被动牵拉腓肠肌的作用,可促使踝关节跖屈活动,来自于地面的推进力得到了增强,步行的不对称性得以纠正,有利于患者步行功能的恢复。另外,减重训练可增加患者行走的动力,提高步行时的步幅、步长及速度<sup>[14]</sup>。

本研究结合了功能性电刺激同减重平板训练对脑卒中偏瘫患者进行同步干预治疗,通过减重悬吊装置系统,部分减轻患者下肢负重,减少下肢伸肌共同运动模式,以此消除患者步行训练时因负重造成患侧小腿三头肌痉挛而影响踝背伸等不利因素,在活动平板匀速的带动下,帮助患者更好地屈髋、屈膝、迈步,协调好正常运动模式<sup>[15]</sup>。与此同时,电刺激仪监测患者的步态情况,适时给予胫骨前肌低频电脉冲刺激,进一步提升治疗作用,更好地协调主动肌和拮抗肌的舒缩能力。本研究显示,治疗后 3 组患者踝关节活动度、左右步幅差、步速、FAC、FMA、MBI、患侧胫骨前肌和腓肠肌外侧头 iEMG 及 CR 值均较治疗前改善,且两者同步及分离治疗均较单用减重平板治疗改善更明显,提示 3 种疗法均有效,均可使胫骨前肌及腓肠肌生物电活动提高、协同收缩改善,其中同步及分离治疗均较单用减重平板治疗改善明显,但在两者同步及分离治疗的比较中,发现同步治疗踝背伸活动度 AROM、胫骨前肌 iEMG 及踝背伸 CR 较分离治疗改善更明显,提示两者同步治疗作用更为有效,同步治疗时能更好地协调运动,在增强胫骨前肌运动电位的同时降低了腓肠肌运动电位,避免主动肌及拮抗肌同时收缩,降低拮抗肌的张力,进一步改善患者步行时足踝部的活动,可使患侧小腿肌肉的收缩节律接近于生理状态。另在整个治疗过程中,两者同步治疗在提高治疗效率的同时能明显增强患者的治疗信心,使患者更积极主动地参与到治疗中去,从而进一步促进步行功能的恢复。

综上所述,把功能性电刺激与减重平板训练结合起来对偏瘫患者下肢进行同步治疗可行且有效,两者同步治疗对改善患者患侧下肢表面肌电信号的作用更为显著。

参 考 文 献

[1] 史文红,李雪萍,王伟,周俊,陈安亮,程凯. 康复治疗对脑卒中患者腓肠肌表面肌电信号的影响. 中国康复, 2010, 25 (2): 103-105.

[2] Wen H, Dou Z, Cheng S, Qiu W, Xie L, Yang H. Activity of thigh muscles during static and dynamic stances in stroke patients: a pilot case-control study. *Top Stroke Rehabil*, 2014, 21 (2): 163-172.

[3] Rosa MC, Marques A, Demain S, Metcalf CD, Rodrigues J. Methodologies to assess muscle co-contraction during gait in people with neurological impairment - asystematic literature review. *J Electromyogr Kinesiol*, 2014, 24 (2): 179-191.

[4] 夏清,袁海,王修敏. 表面肌电在脑卒中患者肢体功能障碍评价中的意义. 中国康复医学杂志, 2013, 28 (11): 1046-1050.

[5] Roy SH, Cheng MS, Chang SS, Moore J, De Luca G, Nawab SH, De Luca CJ. A combined sEMG and accelerometer system for monitoring functional activity in stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2009, 17 (6): 585-594.

[6] 梁明, 窦祖林, 王清辉, 熊巍, 温红梅, 姜丽, 郑雅丹, 陈颖蓓, 杨琼. 虚拟现实技术对脑卒中患者偏瘫上肢肱二、三头肌表面肌电的影响. 中国康复医学杂志, 2013, 28 (10): 904-908.

[7] 穆景颂, 倪朝民. 表面肌电图在脑卒中康复评定中的应用. 中国康复, 2009, 24 (1): 53-55.

[8] 廖志平, 魏爽, 李建华. 表面肌电图评估技术在脑卒中患者下肢肌肉领域的应用. 中国康复, 2015, 30(5): 388-390.

[9] Brose SW, Weber DJ, Salatin BA, Grindle GG, Wang H, Vazquez JJ, Cooper RA. The role of assistive robotics in the lives of persons with disability. *Am J Phys Med Rehabil*, 2010, 89 (6): 509-521.

[10] 单莎瑞, 黄国志, 曾庆, 汪孝红. 步态诱发功能性电刺激对脑卒中后足下垂患者步态时空参数的影响. 中国康复医学杂志, 2013, 28 (6): 558-563.

[11] 黄美玲, 杨万章, 范佳进, 龙建军, 朱晓龙, 王玉龙. 早期使用踝足矫形器对脑卒中偏瘫患者步行功能影响的表面肌电信号研究. 中国康复医学杂志, 2014, 29 (5): 446-450.

[12] 肖湘, 毛玉璐, 赵江莉, 李乐, 徐光青, 黄东锋. 虚拟现实同步减重训练脑梗死患者可改善下肢运动功能. 中国组织工程研究, 2014, 18 (7): 1143-1148.

[13] 李海, 许琼瑜, 焦睿, 查思想, 刘恒, 黄石钊, 程华军. 肌电生物反馈疗法结合部分减重平板运动疗法对脑卒中恢复期患者下肢运动功能的影响. 新医学, 2012, 43 (5): 304-307.

[14] Burgess JK, Weibel GC, Brown DA. Overground walking speed changes when subjected to body weight support conditions for nonimpaired and post stroke individuals. *J Neuroeng Rehabil*, 2010, 7: 6.

[15] Melzer I, Elbar O, Tsedek I, Oddsson LIE. A water-based training program that include perturbation exercises to improve stepping responses in older adults: study protocol for a randomized controlled cross-over trial. *BMC Geriatr*, 2008, 8: 19.

(收稿日期: 2016-04-22)

(本文编辑: 林燕薇)