

· 临床研究 ·

表面肌电结合三维步态分析观察脑卒中患者步行支撑相期下肢肌肉激活时序的研究

吴月峰¹ 李建华² 张芳¹ 朱童¹ 高海军¹ 龚剑秋¹¹绍兴市人民医院康复医学科 312000; ²浙江大学附属邵逸夫医院康复医学科, 杭州 310020

通信作者: 吴月峰, Email: 149357987@qq.com

【摘要】 目的 应用表面肌电技术结合三维步态分析研究卒中患者康复中步行支撑相期下肢肌肉激活时序的变化规律。**方法** 采用分层随机化分组方式, 按随机数字表法随机选取在院或门诊的 Brunnstrom III 期、IV 期、V 期脑卒中患者各 20 例, 共 60 例患者分为 III 期组、IV 期组及 V 期组。采用三维步态分析同步表面肌电图测试 3 组受试者步行支撑相期健患两侧下肢股直肌、股二头肌、胫前肌及腓肠肌各肌肉在步行支撑相期的激活开始时间和激活持续时间, 比较各组受试者健、患两侧及组间对应下肢相关肌肉激活开始时间及持续时间(完整步态周期百分比)。**结果** III 期组患侧股直肌激活开始时间显著迟于健侧, 而患侧腓肠肌激活开始时间显著早于健侧, 患侧股二头肌及腓肠肌激活持续时间均显著低于健侧, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); IV 期组患侧胫前肌、腓肠肌的激活开始时间均显著早于健侧, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); V 期组患侧胫前肌激活开始时间显著早于健侧, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。IV 期组患侧股直肌、患侧股二头肌激活开始时间分别为 $(-12.39 \pm 8.75)\%$ 和 $(-15.30 \pm 11.08)\%$, 均显著早于 III 期组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); V 期组健侧胫前肌和患侧腓肠肌的激活开始时间分别为 $(-5.01 \pm 7.51)\%$ 和 $(10.40 \pm 10.45)\%$, 均显著迟于 IV 期组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); V 期组健侧股直肌、健侧胫前肌、患侧腓肠肌激活开始时间分别为 $(-8.31 \pm 3.33)\%$ 、 $(-5.01 \pm 7.51)\%$ 和 $(10.40 \pm 10.45)\%$, 显著迟于 III 期组, 而其患侧股二头肌和胫前肌激活开始时间分别为 $(-12.7 \pm 11.88)\%$ 、 $(-25.11 \pm 14.60)\%$, 显著早于 III 期组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); IV 期组健侧股二头肌激活持续时间为 $(44.51 \pm 16.60)\%$, 显著低于 III 期组, 差异有统计学意义($P < 0.05$); V 期组健侧胫前肌激活持续时间为 $(46.32 \pm 13.77)\%$, 显著低于 IV 期组, 差异有统计学意义($P < 0.05$); V 期组患侧股直肌及健侧股直肌、股二头肌、胫前肌和腓肠肌的激活持续时间分别为 $(45.30 \pm 6.13)\%$ 、 $(50.85 \pm 11.86)\%$ 、 $(37.74 \pm 18.24)\%$ 、 $(46.32 \pm 13.77)\%$ 和 $(46.72 \pm 25.06)\%$, 均显著低于 III 期组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 不同恢复阶段的脑卒中患者在步行中健患两侧下肢肌肉的激活时序存在较大的差异, 各阶段均存在患侧下肢部分肌肉的提前激活及健侧下肢部分肌肉的过度激活现象, 随着下肢运动功能的恢复, 其健侧下肢部分肌肉的过度激活逐渐得到改善。

【关键词】 脑卒中; 步行; 表面肌电; 三维步态分析; 肌肉激活时序**基金项目:** 浙江省省医药卫生一般研究计划(2015KYA221); 浙江省医药卫生科技平台青年人才项目(2017RC028)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.006

The timing of muscle activation in walking after a strokeWu Yuefeng¹, Li Jianhua², Zhang Fang¹, Zhu Tong¹, Gao Haijun¹, Gong Jianqiu¹¹Department of Rehabilitation Medicine, Shaoxing People's Hospital, Shaoxing 312000, China; ²Department of Rehabilitation Medicine, Sir Run Run Shaw Hospital, College of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310016, China
Corresponding author: Wu Yuefeng, Email: 149357987@qq.com

【Abstract】 Objective To observe among stroke survivors the timing of muscle activation at the stance phase during walking using the surface electromyography (sEMG) combined with 3D gait analysis. **Methods** Twenty stroke survivors assessed as at Brunnstrom stages III, IV and V were assigned to groups designated III, IV and V. sEMG and 3D gait analysis were used to assess the activation timing of the bilateral rectus femoris (RF) and biceps femoris (BF), the tibialis anterior (TA) and the gastrocnemius medialis (GM). The activation timing and the duration of activation of the muscles were compared among the 3 groups, as well as with those of healthy muscles. **Results** The onset time of the RF on the affected side was significantly later than on the healthy side, while that of the GM was significant earlier. The durations of BF and GM activation on the affected side were significantly shorter than on the unaffected side in group III. The onset times of the TA and GM on the affected side were significantly ear-

lier than on the healthy side in group IV, as was the onset time of the TA of the affected side in group V. The average RF and BF onset times on the affected side in group IV were significantly earlier than in group III. The onset time of the TA on the unaffected side and the average BF onset time on the affected side in group V were significantly later than in group IV. The onset time of the RF and TA on the unaffected side in group IV and the onset time of the GM on the affected side were significantly later than in group III, while the onset time of the BF and TA on the affected side was significantly earlier. The average duration of BF activation on the unaffected side in group IV was significantly shorter than that of group III. The average duration of TA activation on the unaffected side in group V was significantly shorter than that of group IV. The duration of RF activation on the affected side in group V was significantly shorter than that in group III, and the same was true of the RF, BF, TA and GM activation times on the healthy side.

Conclusions There are significant differences in the onset and duration of muscle activation when stroke survivors at different stages of recovery walk. Some muscles are activated too early and others are over-activated. These abnormalities gradually disappear with the recovery of motor function.

【Key words】 Stroke; Walking; Surface electromyography; Gait analysis; Muscle activation timing
Fund program: The Zhejiang Province Medicine and Health Research Plan (grant 2015KYA221); A Zhejiang Medicine and Health Technology Platform Youth Talent project (no. 2017RC028)
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.006

偏瘫步态是脑卒中的常见后遗症之一,不但对患者的日常生活产生巨大的影响,还增加了患者跌倒的风险^[1]。随着表面肌电技术及三维步态分析系统等高科技设备的临床应用,使研究者们对步行中下肢肌肉的激活情况有了更深入的研究。相关研究发现,卒中后明显的异常步态可能与下肢相关肌肉不能以恰当时间顺序激活有关^[2]。但由于脑卒中患者损伤部位、范围、类型的不同以及患者所处恢复阶段的不同,卒中患者的异常步态会呈现不同的表现模式,目前尚未发现适用于所有卒中患者在肌肉激活时序方面的异常规律^[3]。本研究运用表面肌电技术结合三维步态分析,选择处于不同Brunnstrom分期的卒中患者作为研究对象,观察其在步行支撑相期下肢各肌肉激活时序的变化,发现不同恢复阶段的脑卒中患者下肢肌肉激活时序与下肢运动功能的改善存在一定的变化规律,临床上可用于指导患者的康复治疗策略。

资料与方法

一、一般资料
入选标准:①符合中华医学会第四次全国脑血管病学术会议修订的脑卒中诊断标准^[4],经CT或MRI检查证实为脑出血或脑梗死的患者;②首次脑卒中发病,病程为12个月内;③患者下肢运动功能分级介于Brunnstrom III至V期;④生命体征稳定,意识清楚,无严重认知功能障碍,要求简易精神状态检查(mini-mental state examination, MMSE)评分≥24分^[5],能充分配合进行三维步态分析及表面肌电检查;⑤能独立行走10 m以上;⑥签署知情同意书。
排除标准:①存在其他引起步行功能障碍的相关疾患,比如既往有卒中、脊髓损伤、截肢、骨关节

炎、重症肌无力、周围神经损伤等;②有各种原因导致的下肢或其他身体部位存在疼痛不适者;③双侧下肢运动功能均受累者;④伴有共济失调症状者;⑤合并心、肺、肝、肾等重要脏器疾病患者;⑥年龄>80岁或<16岁。

选取2015年1月至2016年3月在绍兴市人民医院康复医学科进行住院或门诊治疗且符合上述标准的脑卒中患者作为研究对象,对所有接受治疗的患者进行Brunnstrom下肢运动功能筛选,采用分层随机化分组的方式,按随机数字表法随机选取下肢运动功能为Brunnstrom III期、IV期、V期的脑卒中患者各20例,分别为III期组、IV期组及V期组,3组患者性别、年龄、病变性质和病变部位等一般资料经统计学分析,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表1。

表1 3组受试者一般资料

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	病变性质(例)		病变部位(例)	
		男	女		脑梗死	脑出血	左	右
III期组	20	11	9	65.45±7.91	16	4	13	7
IV期组	20	12	8	66.60±9.18	14	6	10	10
V期组	20	10	10	64.35±8.89	15	5	11	9

二、研究方法
本研究在绍兴市人民医院康复医学科步态分析实验室内完成,所有患者均接受由专职医护人员进行的三维步态测试及同步的表面肌电分析,根据三维步态分析结果确定步态周期,通过表面肌电专业分析软件计算出在步行中双下肢股直肌、股二头肌、胫前肌、腓肠肌在步行支撑相期的激活开始时间(Onset)、激活持续时长(Duration)等肌肉激活时序数据。

1.三维步态分析:运用意大利 BTS 公司的 Smart-D 三维步态分析系统(包含 8 个高分辨率红外摄像头,3 个高清视频摄像头,2 块高精度测力平板),具体操作流程:①分别在患者双侧肩峰、第 7 颈椎棘突、双侧髂前上棘、骶骨上缘、双侧股骨大转子、双侧股骨外上髁、双侧腓骨小头、双侧外踝、双侧第四跖骨、双侧足跟部粘贴荧光标记物,同时分别在双侧大腿中部、小腿中部固定与地面平行的小短棒,小棒远离身体端固定荧光球,共需标记 22 个位点;②粘贴标记物后患者站在测力平板中央最少 5 s,得到静止站立时的三维模型数据;③随后去掉双侧足跟的体表荧光球,让患者在 10 m 步行道上进行步行测试,要求受试者按平时的步行模式、速度、直线匀速行走,经系统运算可得到每次步行时的三维模型数据;④选取最佳的 1 次步行的三维模型,结合静止站立时的三维数据及测力平板的地面反作用力分别定义双脚 2 次足跟着地及中间的 1 次足趾离地的时间点,确定 1 个完整步行周期及支撑相与摆动相的分界点,分别导出患者步行中 2 次双侧足跟着地与中间 1 次足趾离地的时间轴。

2.表面肌电测试:运用意大利 BTS 公司的 FreeEMG 300 型号的表面肌电设备(共有 16 通道无线微型电极),结合三维步态分析系统同步进行表面肌电图信号采集。具体操作如下:①在无线表面肌电控制端上选定两侧股直肌、股二头肌、胫前肌、腓肠肌共 8 块肌肉,激活无线的表面肌电电极,通过无线 wifi 与控制端配对,并按顺序设定相关肌肉的无线通道。②将普通心电监护电极片安置于下肢各相关肌肉肌腹部最肥厚位置,与肌纤维走向平行,最后将表面肌电电极安装于电极片上。③设置信号获取模式为“remote”模式,在进行三维步态分析的同时,系统会自动同步记录相关肌肉的原始肌电信号,并在采集结束后自动将肌电数据从控制端传回电脑并保存至三维步态分析的数据库。

3.表面肌电信号后期处理:运用 Myolab (2.12 版)专业肌电图分析软件对原始表面肌电信号进行后期处理。具体操作如下:①导入与受试者三维步

态分析同步的原始表面肌电数据;②对原始肌电信号分别进行高频降噪(10 Hz)、低频降噪(500 Hz)及整流处理。③分别导入 2 次两侧足跟着地时间及其之间的 1 次足趾离地的时间;④根据阈值法^[6]标记相关肌肉的激活开始时间点(Onset)及激活结束的时间点(Offset)。⑤应用区间工具分别测量相关标记点之间的数值(ms),并分别计算各肌肉在步行支持期激活开始的时间(Onset)及激活的持续时间(Duration)。

三、观察指标

通过对表面肌电原始数据进行处理,观察在步行支撑相期下肢各肌肉的激活情况,分别测定相关肌肉激活的开始时间(Onset)与持续时间(Duration)。因卒中患者其步态周期及步行速度等变化较大,为保证各组患者间比较的客观性与准确性,对所有时间相关数据进行归一化处理,将所有时间数据(ms)均换算成占完整步态周期百分比(%)的相对时间。

四、统计学处理

本研究所得计量数据以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 19.0 版软件对数据进行统计学分析,计数资料比较采用 χ^2 检验,组内健患两侧肌肉激活时序数据采用配对样本 t 检验,组间肌肉激活时序比较均采用单因素方差分析(ANOVA),采用最小显著差异法(least-significant difference, LSD)检验, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、3 组受试者组内健、患两侧各肌肉激活开始时间和持续时间比较

III 期组患侧股直肌激活开始时间显著迟于健侧而患侧腓肠肌激活开始时间显著早于健侧,患侧股二头肌及腓肠肌激活持续时间均显著低于健侧;IV 期组患侧胫前肌、腓肠肌的激活开始时间均显著早于健侧;V 期组患侧胫前肌激活开始时间显著早于健侧。上述各项组内健患两侧比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$),详见表 2 和表 3。

表 2 3 组受试者步行时下肢各肌肉激活开始时间(onset)占整个步态周期百分比($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	股直肌(%)		股二头肌(%)		胫前肌(%)		腓肠肌(%)	
		健侧	患侧	健侧	患侧	健侧	患侧	健侧	患侧
III 期组	20	-13.24±10.32	-0.58±17.36 ^a	-4.62±12.31	-4.28±5.54	-10.88±11.41	-1.43±39.89	2.00±14.93	-7.12±13.55 ^a
IV 期组	20	-14.08±13.28	-12.39±8.75 ^b	-12.20±13.3	-15.30±11.08 ^b	-18.81±16.88	-28.37±31.90 ^{ab}	-0.98±28.23	-9.16±14.22 ^a
V 期组	20	-8.31±3.33 ^b	-9.78±9.88 ^b	-13.04±6.41 ^b	-12.70±11.88 ^b	-5.01±7.51 ^{bc}	-25.11±14.60 ^{ab}	11.61±17.77	10.40±10.45 ^{cd}

注:与组内健侧比较,^a $P < 0.05$;与 III 组同侧比较,^b $P < 0.05$;与 IV 组同侧比较,^c $P < 0.05$

表 3 3 组受试者步行时下肢各肌肉激活持续时间 (duration) 占整个步态周期百分比 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	股直肌 (%)		股二头肌 (%)		胫前肌 (%)		腓肠肌 (%)	
		健侧	患侧	健侧	患侧	健侧	患侧	健侧	患侧
III 期组	20	73.01±17.68	59.41±27.67	73.88±27.45	42.96±17.32 ^a	69.75±18.89	63.52±35.77	76.96±19.16	39.71±36.08 ^a
IV 期组	20	62.21±15.74	49.28±16.66	44.51±16.60 ^b	54.43±16.37	62.58±19.10	65.90±27.21	67.07±24.49	55.91±21.06
V 期组	20	50.85±11.86 ^b	45.30±6.13 ^b	37.74±18.24 ^b	45.32±7.78	46.32±13.77 ^{bc}	51.04±16.85	46.72±25.06 ^b	42.72±16.60

注:与组内健侧比较,^a $P<0.05$;与 III 组同侧比较,^b $P<0.05$;与 IV 组同侧比较,^c $P<0.05$

二、3 组受试者各肌肉激活开始时间比较

IV 期组患侧股直肌、患侧股二头肌激活开始时间分别为 $(-12.39\pm 8.75)\%$ 和 $(-15.30\pm 11.08)\%$, 均显著早于 III 期组, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$); V 期组健侧胫前肌和患侧腓肠肌的激活开始时间分别为 $(-5.01\pm 7.51)\%$ 和 $(10.40\pm 10.45)\%$, 均显著迟于 IV 期组, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$); V 期组健侧股直肌、健侧胫前肌、患侧腓肠肌激活开始时间分别为 $(-8.31\pm 3.33)\%$ 、 $(-5.01\pm 7.51)\%$ 和 $(10.40\pm 10.45)\%$, 显著迟于 III 期组, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$), 而患侧股二头肌和胫前肌激活开始时间分别为 $(-12.70\pm 11.88)\%$ 、 $(-25.11\pm 14.60)\%$, 显著早于 III 期组, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$), 详见表 2。

三、3 组受试者各肌肉激活持续时间比较

IV 期组健侧股二头肌激活持续时间为 $(44.51\pm 16.60)\%$, 显著低于 III 期组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); V 期组健侧胫前肌激活持续时间为 $(46.32\pm 13.77)\%$, 显著低于 IV 期组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); V 期组患侧股直肌及健侧股直肌、股二头肌、胫前肌和腓肠肌的激活持续时间分别为 $(45.30\pm 6.13)\%$ 、 $(50.85\pm 11.86)\%$ 、 $(37.74\pm 18.24)\%$ 、 $(46.32\pm 13.77)\%$ 和 $(46.72\pm 25.06)\%$, 均显著低于 III 期组, 差异均具有统计学意义 ($P<0.05$), 详见表 3。

讨 论

本研究结果显示, Brunnstrom III 期的患者患侧腓肠肌的激活开始时间、IV 期患者患侧胫前肌、腓肠肌的激活开始时间及 V 期患者患侧胫前肌的激活开始时间均较健侧显著提前 ($P<0.05$), 而 III 期患者患侧股直肌激活开始时间显著晚于健侧 ($P<0.05$), 其原因可能是前馈 (又称为预期姿势调整) 的结果^[7]。Slijper 等^[8]的研究发现, 脑卒中患者双侧肢体均存在预期姿势调整, 而且呈现一定的不对称性, 产生这种不对称性的原因可能是因为两侧神经肌肉控制存在相对的不一致, 控制越差的肌肉往往容易被反射性的提前激活。由于 Brunnstrom III 期患者下肢运动模式以伸肌共同运动为主, 步行时患侧下肢常因摆动相足尖部廓清障碍而呈现“划圈步态”并可伴有膝过伸, 此时患侧下肢动态稳定性较差^[9], 步行支撑相其患侧下肢自身无法

采取有效的代偿性策略来维持稳定, 健侧股直肌在姿势调整的作用机制下^[10], 通过强有力的提前收缩来防止跌倒^[11]。本研究中, III 期组患侧股直肌的激活开始时间要显著迟于健侧, 患侧股二头肌及腓肠肌激活持续时间也均显著少于健侧 ($P<0.05$)。这可能还与大脑功能区的异常激活有关, Ward 等^[12]对脑卒中后不同恢复阶段的患者应用握拳动作作为刺激因子进行大脑 fMRI 研究发现, 恢复较好的脑卒中患者运动任务激活脑区范围基本接近正常对照组, 而那些运动功能较差者参与运动任务脑区较正常对照组激活更强、范围更广泛并且多呈双侧分布。相应的在步行中, 健侧下肢肌肉也会因健侧激活脑区范围扩大而产生健侧关键肌过早或过度激活现象。

本研究结果显示, Brunnstrom V 期患者健侧胫前肌的激活开始时间显著迟于 IV 期组, V 期患者健侧胫前肌及腓肠肌的激活持续时间显著低于 IV 期组, V 期患者健侧股直肌、股二头肌、胫前肌及腓肠肌的激活持续时间均显著低于 III 期组及 IV 期患者健侧股二头肌的激活持续时间显著少于 III 期组 ($P<0.05$), 该结果提示随着患者运动功能逐渐恢复, 步行中患侧下肢肌肉的主动参与不断增加, 健侧下肢部分肌肉的过度激活程度也相应在减少。Buurke 等^[13]通过对脑卒中患者扶拐行走时下肢相关肌肉激活时序的研究发现, 拐杖的应用可以显著减少健侧肌肉的过度激活, 同时当患侧肢体运动功能逐渐恢复, 对健侧相关肌肉的过度激活会产生一定的抑制作用。

本研究结果显示, Brunnstrom IV 期患者患侧股直肌、股二头肌的激活开始时间显著早于 III 期组 ($P<0.05$), 其主要原因可能是患者下肢运动功能此时尚处于部分分离阶段, 其虽然能完成屈膝动作, 但仍需要股直肌与股二头肌提前被“共同激活”来保持患侧膝关节稳定^[14]。本研究结果还发现, Brunnstrom V 期患者者步行支撑相期患侧胫前肌较健侧出现较为显著的激活提前, 患侧腓肠肌激活开始时间却较 IV 期组显著延后 ($P<0.05$), 其原因可能是患侧踝关节虽然出现了一定分离运动, 但胫前肌常被认为可通过预期姿势调整来保证在身体前倾时保持足的稳定性^[15]。

脑卒中患者步行时肌肉激活时序的异常一方面是因为决定肌肉激活时序的中枢控制出现了问题, 另一

方面是因为相关神经肌肉采取了代偿性策略^[16],故肌肉激活时序所展示的运动模式是由中枢神经系统与外周神经肌肉系统共同调制的结果^[17]。不同Brunnstrom分期的卒中患者在中枢与外周神经肌肉系统控制方面存在较大的不同,故各期患者步行中下肢各肌肉的激活时序也表现了较大的差异。结合本研究结果,可以为脑卒中患者提供相关治疗策略并为现有的治疗方法提供一定理论依据,比如在治疗各阶段合理应用Brunnstrom、Bobath、PNF等神经肌肉促进技术来增强患侧下肢的运动控制,同时在训练步行初期尽早应用踝足矫形器或拐杖等步行辅助器具以减少健侧相关肌肉的过度激活,这对改善异常步态可能也有一定的益处。

综上所述,不同恢复阶段的脑卒中患者在步行中健、患两侧下肢肌肉的激活时序均存在较大的差异,各阶段均存在患侧下肢部分肌肉的提前激活和健侧下肢部分肌肉的过度激活现象,但随着下肢运动功能的恢复,其健侧下肢部分肌肉的过度激活得到逐渐改善。故充分了解不同恢复阶段脑卒中患者步行中下肢肌肉的激活时序的变化,对指导患者进行更有效的步行训练有积极的意义。

参 考 文 献

- [1] Batchelor FA, Mackintosh SF, Said CM, et al. Falls after stroke[J]. *Int J Stroke*, 2012,7(6):482-490.DOI:10.1111/j.1747-4949.2012.00796.x.
- [2] Dyer JO, Maupas E, de Andrade Melo S, et al. Changes in activation timing of knee and ankle extensors during gait are related to changes in heteronymous spinal pathways after stroke[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014,148(11):1-17.DOI:10.1186/1743-0003-11-148.
- [3] Knutsson E, Richards C. Different types of disturbed motor control in gait of hemiparetic patients[J]. *Brain*, 1979,102(2):405-430.DOI:10.1093/brain/102.2.405.
- [4] 中华神经科学会,中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. *中华神经科杂志*, 1996,29(6):379-380.
- [5] 徐光青,兰月,毛玉璐,等. 影响脑卒中偏瘫患者步行能力的三维运动学因素分析[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2010,32(9):673-676.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2010.09.012.
- [6] Silva A, Sousa AS, Pinheiro R, et al. Activation timing of soleus and tibialis anterior muscles during sit-to-stand and stand-to-sit in post-

- stroke vs. healthy subjects[J]. *Somatosens Mot Res*, 2013,30(1):48-55.DOI:10.3109/08990220.2012.754755.
- [7] Aruin AS, Forrest WR, Latash ML. Anticipatory postural adjustments in conditions of postural instability[J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1998,109(4):350-359.DOI:10.1016/S0924-980X(98)00029-0.
- [8] Slijper H, Latash ML, Rao N, et al. Task-specific modulation of anticipatory postural adjustments in individuals with hemiparesis[J]. *Clin Neurophysiol*, 2002,113(5):642-655.
- [9] 石翠霞,谢瑞娟,和中月,等. 脑卒中偏瘫膝过伸的原因分析及预防对策[J]. *医学研究与教育*, 2013,30(01):87-90.DOI:10.3969/j.issn.1674-490X.2013.01.024.
- [10] Ruget H, Blouin J, Teasdale N, et al. Can prepared anticipatory postural adjustments be updated by proprioception? [J]. *Neuroscience*, 2008,155(3):640-648.DOI:10.1016/j.neuroscience.2008.06.021.
- [11] Cheng PT, Chen CL, Wang CM, et al. Leg muscle activation patterns of sit-to-stand movement in stroke patients[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2004,83(1):10-16.DOI:10.1097/01.PHM.0000104665.34557.56.
- [12] NS Ward MMB, AJ Thompson RF. Neural correlates of outcome after stroke: a crosssectional fMRI study[J]. *Brain*, 2003,126(10):1430-1448. DOI:10.1093/brain/awg145.
- [13] Buurke JH, Hermens HJ, Erren-Wolters CV, et al. The effect of walking aids on muscle activation patterns during walking in stroke patients[J]. *Gait Posture*, 2005,22(2):164-170. DOI:10.1016/j.gaitpost.2004.09.003.
- [14] Lamontagne A, Richards CL, Malouin F. Coactivation during gait as an adaptive behavior after stroke[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2000,10(6):407-415. DOI:10.1016/S1050-6411(00)00028-6.
- [15] Dehail P, Bestaven E, Muller F, et al. Kinematic and electromyographic analysis of rising from a chair during a "Sit-to-Walk" task in elderly subjects; role of strength[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2007,22(10):1096-1103. DOI:10.1016/j.clinbiomech.2007.07.015.
- [16] Den OAR, Geurts AC, Mulder T, et al. Abnormalities in the temporal patterning of lower extremity muscle activity in hemiparetic gait[J]. *Gait Posture*, 2007,25(3):342-352. DOI:10.1016/j.gaitpost.2006.04.007.
- [17] Ivanenko YP, Poppele RE, Lacquaniti F. Spinal cord maps of spatio-temporal alpha-motoneuron activation in humans walking at different speeds[J]. *J Neurophysiol*, 2006,95(2):602-618. DOI:10.1152/jn.00767.2005.

(修回日期:2019-03-01)

(本文编辑:阮仕衡)