

脑卒中患者痉挛上肢肌肉协调性的表面肌电研究

程霜霜 高晓平 朱晓斐 张旭 王冬 付丽 程迎

【摘要】 目的 探讨脑卒中患者痉挛上肢各关节最大等长收缩 (MIVC) 时的表面肌电 (sEMG) 信号变化, 定量分析异常协同运动模式, 为上肢肌肉协调性的康复提供客观依据。**方法** 选取 10 例脑卒中偏瘫患者和 10 例健康成人纳入研究, 在进行屈腕、屈伸肘及肩外展 MIVC 时, 记录尺侧腕屈肌、肱二头肌、肱三头肌及三角肌的 sEMG 信号, 计算协同收缩率 (CR) 和共激活比值, 对两者进行分析比较。**结果** 屈伸肘时, 病例组患侧肱二头肌 CR 大于健侧及对照组 ($P<0.05$), 患侧肱三头肌 CR 大于对照组 ($P<0.05$), 患侧、健侧及对照组肱二头肌 CR 均大于肱三头肌 CR ($P<0.05$), 患侧肱二头肌、肱三头肌 CR 差值大于健侧及对照组 ($P<0.05$); 屈肘时, 患侧尺侧腕屈肌、肱三头肌、三角肌的共激活比值大于健侧及对照组 ($P<0.05$), 患侧尺侧腕屈肌的共激活比值大于肱三头肌 ($P<0.05$); 伸肘时, 患侧尺侧腕屈肌、肱二头肌、三角肌的共激活比值大于健侧及对照组 ($P<0.05$), 患侧尺侧腕屈肌的共激活比值大于肱二头肌 ($P<0.05$); 屈腕时, 患侧肱二头肌、三角肌的共激活比值大于健侧及对照组 ($P<0.05$), 患侧肱二头肌的共激活比值大于三角肌及肱三头肌 ($P<0.05$); 肩外展时, 患侧肱二头肌的共激活比值大于健侧及对照组 ($P<0.05$)。**结论** 脑卒中患者痉挛上肢常表现为屈肌痉挛和典型异常的协同运动模式, 在康复治疗中, 应注重抑制屈肌痉挛, 改善上肢异常协同运动模式, 促进上肢肌肉整体协调性的康复。

【关键词】 脑卒中; 痉挛; 表面肌电; 肌肉协调性; 异常协同运动

基金项目: 国家自然科学基金 (61401421); 中央高校基本科研业务费专项资金 (WK2100230014)

Surface electromyographic examination of the coordination of the spastic upper limb muscles of stroke survivors

Cheng Shuangshuang*, Gao Xiaoping, Zhu Xiaofei, Zhang Xu, Wang Dong, Fu Li, Cheng Ying.

*Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China

Corresponding author: GAO Xiaoping, Email: gxp678@163.com

【Abstract】 Objective To explore any changes in the surface electromyography (sEMG) signals measured on the spastic upper limb muscles of stroke patients during maximum isometric voluntary contraction and to analyze any abnormal synergy patterns quantitatively in order to design better rehabilitation programs for developing coordination. **Methods** Ten stroke survivors with hemiparesis were selected into a patient group and ten healthy counterparts were recruited into a control group. sEMG signals were recorded bilaterally from the flexor carpi ulnaris (FCU), biceps brachii (BB), triceps brachii (TB) and deltoid (D) during maximum isometric voluntary contractions involving wrist flexion and extension, elbow flexion and extension, and shoulder abduction. The two groups' co-contraction ratios (CR) and co-activation ratios were calculated and compared. **Results** During elbow flexion and extension the average CR of the BB on the affected side was significantly higher than that on the unaffected side and also significantly higher than the control group average. The average CR of the TB on the affected side was significantly higher than that of the healthy controls. In all cases the average CR of the BB was larger than that of the TB. The difference in CR between the TB and the BB on the affected side was significantly larger than on the unaffected side and the control group average. During elbow flexion, the co-activation ratio of the FCU, TB and D on the affected side was significantly higher than on the unaffected side and among the healthy controls, and the co-activation ratio of the FCU on the affected side was significantly higher than that of the D and TB. During elbow extension, the co-activation ratio of the FCU, BB and D on the affected side was significantly higher in the same way, and the co-activation ratio of the FCU

on the affected side was again significantly higher than that of the D and BB. During wrist flexion, the average co-activation ratio of the BB and D on the affected side was significantly greater than that on the unaffected side and among the healthy controls, and the co-activation ratio of the BB on the affected side was significantly higher than that of the D and TB. During shoulder abduction, the co-activation ratio of the BB on the affected side was significantly larger than on the unaffected side and among the healthy controls. **Conclusion** After a stroke the upper limbs often show flexor spasticity and abnormal synergy patterns. Rehabilitation strategy should be adopted to tackle these so as to enhance overall limb coordination.

【Key words】 Stroke; Spasticity; Surface electromyography; Muscle coordination; Abnormal synergy

Fund program: National Natural Science Foundation of China (grant 610401421); The Fundamental Research Funds for the Central Universities (grant WK2100230014)

脑卒中常引起肢体功能障碍、肌张力增高、共同运动和痉挛模式等表现。国内外研究表明,随着病程的进展,部分脑卒中患者肢体痉挛程度逐渐增加,痉挛发生率多在病程 3 个月时达到较高水平,且上肢痉挛的发生率常高于下肢痉挛^[1-2]。根据 Brunnstrom 偏瘫恢复理论,偏瘫肢体功能的恢复是一种肌张力和运动模式不断衍变的过程,当痉挛程度达高水平时,肢体运动常以特定的异常协同运动为主,表现为肌群间协调异常。有学者将这种协同运动用“共激活 (co-activation)”描述,反映了关节运动中主动肌及邻近肌肉选择性的异常激活现象,即肌群间异常的协同收缩效应^[3]。目前对脑卒中后偏瘫上肢功能的研究大多以单个关节最大等长收缩 (maximum isometric voluntary contraction, MIVC) 运动如肘屈伸时的表面肌电信号的变化为主^[4-5],对多个关节 MIVC 时各肌群间协调性的量化研究报道较少。本研究采用表面肌电图 (surface electromyography, sEMG) 探讨脑卒中偏瘫后痉挛上肢肩、肘、腕关节 MIVC 时各主要肌肉的协同收缩特点,对异常的协同运动模式进行量化分析,为脑卒中后痉挛上肢整体协调功能的康复治疗提供客观依据。

对象与方法

一、研究对象

收集 2016 年 1 月至 2016 年 7 月安徽医科大学第一附属医院康复医学科收治的 10 例初次发生脑卒中的患者作为病例组,其中男 7 例,女 3 例;平均年龄 (56.8 ± 13.4) 岁;脑出血 6 例,脑梗死 4 例;左侧偏瘫 5 例,右侧偏瘫 5 例。对照组选取健康成人 10 例,其中男 7 例,女 3 例;平均年龄 (52.8 ± 11.1) 岁;与病例组患侧对应,随机选取健康成人一侧为受试侧,其中左侧 5 例,右侧 5 例。两组平均年龄、性别等一般资料比较,差异无统计学意义 ($P > 0.05$),具有可比性。

病例组纳入标准:①参照全国第 4 次脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[6],初发单侧脑卒中并经 CT 或 MRI 检查确诊;②单侧肢体偏瘫并伴有患侧上肢轻度痉挛,改良 Ashworth 量表 (modified Ashworth

scale, MAS) 1~2 级,且做屈腕、屈伸肘、肩外展动作时,肌力达 II 级及以上;③可独坐,签署知情同意书。排除标准:①认知表达功能障碍、严重精神障碍等不能配合研究者;②病情危重、不稳定者;③上肢存在周围神经损伤,因外伤、骨折、组织损伤、挛缩等导致上肢关节活动受限或其他病因导致肌张力异常者;④有脑外伤或其他神经系统疾病等。

对照组选取既往无脑血管疾病发生,无神经、肌肉、骨骼等相关疾病影响上肢运动功能的健康人群。所有受试者在入选前均签署知情同意书。

二、sEMG 采集设备及技术参数

实验中 sEMG 的记录采用中国科学技术大学神经肌肉控制实验室自主研发的 16 通道表面肌电采集及分析系统^[7-8]。其中,每个通道采用两个平行排列的条形银质电极,长 10 mm、直径 1 mm、间距 10 mm,构成双极差分测量模式。表面肌电信号经过增益 600 倍的两级差分放大,再经带通滤波器 (10~500 Hz) 滤波,并进行 16-bit 模数转换,采样频率为 1000 Hz 所获得的数字信号由 USB 接口传输至配套的计算机中存储和分析。多通道 sEMG 波形可实时显示在计算机屏幕 (示波器) 上便于实验者检查信号质量。

三、sEMG 的采集

受试者均取坐位,被测上肢平放在桌面上,桌椅高度及其间距均可调节,确保受试者处于最舒适放松状态。将电极置于所测肌肉肌腹最饱满处,并与肌肉纤维长轴成平行位,为增加肌电信号的准确性,尺侧腕屈肌、肱二头肌及肱三头肌各放置 2 块电极,三角肌放置 3 块感应器。参考电极放置于对侧手背处。局部皮肤经酒精擦拭湿润、脱脂及导电凝胶涂擦等处理,以减少皮肤与电极间的阻抗。嘱受试者分别进行屈腕、屈伸肘、肩外展 MIVC 时,并同时记录下所有测试肌肉的肌电信号。

在测试前,对受试者介绍测试过程及进行 MIVC 运动的方法,以便能更好配合测试。在正式测试时,嘱受试者尽可能放松,并观察计算机屏幕上的 sEMG 波形,使信号基线控制在 $\pm 2.5 \mu V$,确保电极与皮肤接触

良好并避免有异常干扰信号。为让受试者能最大发力且避免不正确的用力方式,嘱受试者受试前臂及肘关节放置于桌面,屈腕时肘关节屈曲约 120° ,屈伸肘及肩外展时肘关节屈曲约 90° 。嘱受试者发最大力(即作 MIVC 动作)维持 5 s 左右,每个动作重复测试 3 次,中间休息 1 min。测试中不允许肘关节、前臂及手抬离桌面或在桌面上移动,不允许借助躯干的力量。病例组先测试健侧,再测试患侧;对照组对应病例组的患侧,选取一侧上肢进行测试。

四、数据处理与分析

对于每块测试肌肉,从其上所贴数块电极记录的肌电信号中选择幅度最大且较稳定的一个通道用于后续分析。以每个动作的主动肌信号最大且平稳作为选取标准,截取时间长度不少于 1 s 的平稳信号段,接着计算每块测试肌肉在相应信号段的肌电信号的积分肌电值(integrated electromyography, iEMG)、均方根值(root mean square, RMS),每个动作重复 3 次,求取 3 次所得参数的均值。并计算:①屈肘及伸肘时的协同收缩率(co-contraction ratio, CR),其公式为 $CR = \frac{\text{拮抗肌的 iEMG}}{\text{拮抗肌的 iEMG} + \text{主动肌的 iEMG}} \times 100\%$ ^[9];②各 MIVC 动作时各肌肉收缩的共激活现象采用共激活比值表示^[8],某块肌肉的共激活比值=(该肌肉的 RMS/该肌肉最大的 RMS)×100%,其中该肌肉最大时的 RMS 即该肌肉作为主动肌时的 MIVC 动作下的 RMS。

五、统计学分析

采用 SPSS 19.0 版统计学软件进行分析,数据采用($\bar{x} \pm s$)形式表示。病例组两侧数据比较采用配对设计 t 检验,病例组与对照组比较、同侧上肢伸肘与屈肘数据间的比较用两独立样本 t 检验,病例组各肌肉间比较用方差分析, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、屈伸肘 MIVC 时协同收缩率间的比较

伸肘时,病例组患侧肱二头肌的 CR 大于健侧及对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);健侧肱二头肌的 CR 大于对照组,差异无统计学意义($P > 0.05$)。屈肘时,病例组患侧肱三头肌的 CR 大于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);患侧肱三头肌的 CR 大于健侧,健侧大于对照组,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。将伸肘时肱二头肌的 CR 与屈肘时肱三头肌的 CR 比较时,病例组患侧、健侧及对照组伸肘时肱二头肌的 CR 大于屈肘时肱三头肌的 CR,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。将伸肘时肱二头肌的 CR 与屈肘时肱三头肌的 CR 差值比较,病例组患侧的 CR 差值大于健侧及对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);健侧的 CR 差值大

于对照组,差异无统计学意义($P > 0.05$)。详见表 1。

表 1 两组受试者屈伸肘 MIVC 时 CR 间的比较
(%, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	伸肘时 肱二头肌 CR	屈肘时 肱三头肌的 CR	伸屈肘 CR 差值
病例组患侧	10	32.57±14.47 ^{ab}	11.01±4.90 ^c	21.56±15.91 ^a
病例组健侧	10	16.05±7.09 ^b	8.69±6.84	7.36±8.33
健康对照组	10	13.43±4.81 ^b	6.81±2.28	6.61±4.33

注:病例组患侧与健侧及健康对照组比较,^a $P < 0.05$;伸肘时与屈肘时比较,^b $P < 0.05$;病例组患侧与健康对照组比较,^c $P < 0.05$

二、腕、肘及肩关节 MIVC 时共激活比值间的比较

屈腕时,病例组患侧肱二头肌及三角肌的共激活比值大于健侧及对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);健侧与对照组相比,差异无统计学意义($P > 0.05$);病例组患侧肱三头肌的共激活比值与健侧及对照组相比、健侧与对照组相比,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。屈肘 MIVC 时,病例组患侧尺侧腕屈肌、肱三头肌及三角肌的共激活比值大于健侧及对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);健侧与对照组相比,差异无统计学意义($P > 0.05$)。伸肘 MIVC 时,病例组患侧尺侧腕屈肌、肱二头肌及三角肌的共激活比值大于健侧及对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);健侧与对照组相比,差异无统计学意义($P > 0.05$)。肩外展 MIVC 时,病例组患侧肱二头肌的共激活比值大于健侧及对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);健侧与对照组相比,差异无统计学意义($P > 0.05$);病例组患侧尺侧腕屈肌及肱三头肌的共激活比值与健侧及对照组相比、健侧与对照组相比,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

屈腕时,病例组患侧肱二头肌的共激活比值大于肱三头肌、三角肌,差异有统计学意义($P < 0.05$);三角肌大于肱三头肌差异无统计学意义($P > 0.05$)。屈肘时,病例组患侧尺侧腕屈肌的共激活比值大于肱三头肌,差异有统计学意义($P < 0.05$);尺侧腕屈肌大于三角肌、三角肌大于肱三头肌差异均无统计学意义($P > 0.05$)。伸肘时,病例组患侧尺侧腕屈肌的共激活比值大于肱二头肌,差异有统计学意义($P < 0.05$);尺侧腕屈肌大于三角肌、三角肌大于肱二头肌差异均无统计学意义($P > 0.05$)。肩外展时,病例组患侧肱二头肌的共激活比值大于尺侧腕屈肌及肱三头肌、尺侧腕屈肌大于肱三头肌差异均无统计学意义($P > 0.05$)。详见表 2。

讨 论

脑卒中患者康复治疗过程中常表现偏瘫上肢功能恢复较下肢缓慢,而上肢是人体进行功能活动所必须的功能结构,上肢功能障碍的恢复对患者日常生活能

表 2 腕、肘及肩关节 MIVC 时共激活比值间的比较 (%, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	屈腕时共激活比值			屈肘时共激活比值		
		肱二头肌	肱三头肌	三角肌	尺侧腕屈肌	肱三头肌	三角肌
病例组患侧	10	76.60±16.56 ^{ab}	30.18±25.01	35.54±23.41 ^a	66.70±17.29 ^{ac}	37.52±27.99 ^a	47.90±24.34 ^a
病例组健侧	10	47.45±21.11	11.95±8.76	10.38±5.63	49.27±21.69	16.47±10.89	22.21±10.07
健康对照组	10	54.49±22.94	12.08±6.11	10.86±6.48	45.39±21.03	10.76±3.93	24.09±11.70

组别	例数	伸肘时共激活比值 (%)			肩外展时共激活比值 (%)		
		尺侧腕屈肌	肱二头肌	三角肌	尺侧腕屈肌	肱二头肌	肱三头肌
病例组患侧	10	59.02±29.03 ^{ad}	25.15±17.47 ^a	39.26±20.85 ^a	45.60±34.20	51.00±33.83 ^a	35.37±22.65
病例组健侧	10	12.46±7.92	11.70±8.20	22.38±10.71	29.63±22.05	22.94±15.37	28.15±18.06
健康对照组	10	17.07±9.28	10.53±5.80	22.71±13.04	31.31±22.16	17.20±11.41	27.52±20.52

注:病例组患侧与健侧及对照组比较,^a $P<0.05$;病例组患侧肱二头肌与肱三头肌、三角肌比较,^b $P<0.05$;病例组患侧尺侧腕屈肌与肱三头肌比较,^c $P<0.05$;病例组患侧尺侧腕屈肌与肱二头肌比较;^d $P<0.05$

力和生活质量相当重要。研究表明,对偏瘫上肢进行多关节重复性、多方向的功能训练,不仅可提高上肢粗大运动的恢复,为精细运动恢复奠定基础,而且可有效地调节各粗大关节主要肌群间的收缩协调性^[10]。脑卒中患者偏瘫上肢功能恢复多数遵循“由近到远、由粗到细”的规律,故偏瘫上肢整体功能的恢复有赖于肩、肘、腕等粗大关节运动时的肌肉收缩。因此,本研究通过 sEMG 分析偏瘫后痉挛上肢肩、肘、腕关节 MIVC 时主要运动肌肉的协同收缩特点,以了解痉挛上肢肌肉协调性的异常表现。

本研究发现,病例组患侧、健侧及对照组在屈伸肘时,各拮抗肌均有一定的收缩,且肱二头肌的协同收缩均大于肱三头肌。考虑此现象为正常人在用力做随意运动时所进行的姿势调整,为完成上肢关节 MIVC 时肢体所表现出的可随意改变或放松的协调运动,而非偏瘫患者所表现的病理运动^[11]。有研究表明^[12],协同运动不仅表现在神经系统疾病上,健康成人在用力动作时亦可表现出协同运动,但其与病理下的异常协同运动程度及运动方式不同,正如研究显示,屈伸肘时病例组患侧各拮抗肌 CR 值均高于对照组。燕铁斌等^[9]研究发现,健康老人踝跖屈时 CR 大于踝背伸 CR,类似于本研究结果所示健侧及对照组伸肘时 CR 大于屈肘时 CR,此现象考虑可能为伸肘时对关节运动、肌肉收缩的控制较屈肘时差,具体的控制机理需进一步探究,也可提示在正常肘关节屈伸活动中,肱二头肌发挥着重要作用。

但研究中在进行 CR 差值比较时,结果显示病例组患侧伸肘时肱二头肌的异常协同收缩较之健侧及对照组更加明显,提示了脑卒中患者痉挛上肢多以肱二头肌的异常协同收缩为主,反映了肱二头肌肌张力的异常增高,表现为脑卒中患者上肢多以屈肌痉挛为主,这与以往的研究类似^[4-5],并与临床上脑卒中患者常见上肢屈肌痉挛的现象吻合。痉挛系肌张力异常增高,其机制现主要倾向于上运动神经元损伤后,脊髓侧束下行通路损伤,致使脊髓中神经元间的交互抑制关系

失衡,中枢抑制作用减弱及易化作用增强,使牵张反射的最后通路 α 运动神经元的兴奋性增强,导致牵张反射增强、肌张力异常增高^[11,13]。脑卒中患者痉挛上肢肱二头肌肌张力的异常增高考虑可能是中枢神经损伤后,使支配肱二头肌收缩的神经抑制释放,或易化了支配肱二头肌收缩的神经,致使肱二头肌在伸肘时产生异常的协同收缩。

本研究中,在屈肘时,病例组患侧肱三头肌的 CR 较健侧无统计学意义,与对照组比较有统计学意义 ($P<0.05$),考虑导致这种结果的原因可能为:①本研究的样本量较小;②考虑因中枢神经损伤,脑卒中患侧上肢功能损害程度较大,既往研究表明^[9,14],脑卒中患者健侧肢体功能并非完全正常,但功能损害程度相较于患侧明显轻微,而对照组均为从未发生脑卒中的健康者,并且中枢损伤对肱三头肌收缩功能影响相对小,因而患侧肱三头肌 CR 出现上述研究结果。

有研究发现,脑卒中偏瘫下肢在坐位及站位时进行伸膝及踝跖屈 MIVC 时,股外侧肌、股直肌及比目鱼肌、腓肠肌的异常共激活程度高于健康对照组^[15-16];本研究在探讨偏瘫上肢相关肌群共激活现象时所观察到的结果与上述观点基本一致。本研究发现,病例组患侧在屈伸肘 MIVC 时,常常伴有其他主要肌肉如尺侧腕屈肌、三角肌、肱三头肌(或肱二头肌)的共激活,且这些肌肉的共激活程度大于健侧及对照组,说明脑卒中患者痉挛上肢在试图作屈、伸肘运动时,常出现屈腕、肩外展等异常的协同运动,且在屈、伸肘时伴有相应拮抗肌的异常共激活,这验证了上述的研究结果,即病例组患侧上肢屈伸肘时相应拮抗肌的异常协同收缩现象。研究又发现,痉挛上肢试图作屈腕时,常出现屈肘及肩外展的协同运动,在肩外展时,则常伴有屈肘运动,此结果说明在屈腕和肩外展时也同时出现屈曲肌群的异常共激活现象。然而研究中发现,无论是屈腕还是肩外展,痉挛上肢均较少的出现伸肘的协同运动。研究中这些发现,也正与临床中脑卒中偏瘫上肢异常运动模式的表现相符合。

脑卒中后偏瘫上肢痉挛致使肌群间协调收缩的自由度明显下降,在进行关节运动时常不能有效控制所需肌群,表现出上述典型异常的协同运动模式;考虑此种肌群间异常共激活现象同样系因脊髓下行通路的损伤,中枢抑制和易化作用失衡所致,使支配某些肌肉的神经元兴奋性增加,在运动时这些特定肌肉募集异常增多、肌肉收缩顺序及协调性改变,而产生与正常功能性关节运动无关且不必要的异常运动^[17]。Dyer 等^[15]研究表明,脑卒中后肢体存在严重协调功能障碍的患者,在关节运动中试图最大程度地激活主动肌收缩时,常伴有其他相关肌肉的协同共激活,表现为肌肉的异常募集增多;且研究中指出脑卒中后脊髓功能的变化会选择性激活某些肌肉功能,从而产生肌肉激活的特定异常模式,因此认为脊髓传导通路的改变是导致异常协同运动模式的可能机制。

研究还发现,病例组患侧在做屈伸肘动作时,尺侧腕屈肌的共激活程度高于其他受试肌肉;在屈腕及肩外展时,则主要为肱二头肌的共激活,而肩外展时,差异无统计学意义。其表明脑卒中痉挛上肢在进行单关节运动时,虽常伴有其他相关肌肉的协同收缩,但各肌肉的协同收缩程度是不同的。考虑脑卒中后痉挛上肢的这些肌肉肌纤维虽募集增多但并非均匀,而多以肱二头肌及腕屈肌的募集增多为主,此结果进一步表明脑卒中患者痉挛上肢多以屈肌痉挛为主,在上肢功能训练中,应注重抑制肱二头肌及腕屈肌的异常共激活,从而降低异常协同运动,促进分离运动的产生。

综上所述,脑卒中患者痉挛上肢各关节运动时肌群间协调性的异常改变对上肢功能的影响至关重要。本研究表明,在对偏瘫后痉挛上肢进行的康复治疗中应加强抑制上肢屈肌痉挛,采用改善异常协同运动的康复方法促进上肢整体协调功能的恢复。并可根据上肢肌肉 sEMG 的量化分析特点,在治疗过程中指导医师及治疗师对痉挛上肢肌肉协调性的训练,以提高康复治疗疗效。

参 考 文 献

- [1] Sommerfeld DK, Eek EU, Svensson AK, et al. Spasticity after stroke: its occurrence and association with motor impairments and activity imitations[J]. Stroke, 2004, 35(1):134-139.
- [2] 崔利华,山磊,杨宇琦.首次脑卒中后 6 个月内肢体痉挛情况调查[J].中国康复理论与实践,2014,20(12):1144-1146. DOI: 10.

3969/j.issn. 1006-9771.2014.12.011.

- [3] 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, 11(1):1-17. DOI:10.1186/1743-0003-11-148.
- [4] 梁明,窦祖林,温红梅,等.脑卒中患者肘屈伸肌表面肌电变化与运动功能的相关性[J].中华医学杂志,2014,94(17):1304-1308. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2014.17.006.
- [5] 齐瑞,严隽陶,房敏,等.脑卒中偏瘫患者肱二、三头肌表面肌电特征的研究[J].中华物理医学与康复杂志,2006,28(6):399-401. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2006.06.012.
- [6] 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.
- [7] Tang L, Li F, Cao S, et al. Muscle synergy analysis in children with cerebral palsy[J]. J Neural Eng, 2015, 12(4):046017. DOI:10.1088/1741-2560/12/4/046017.
- [8] 程迎,高晓平,李嫣然,等.脑卒中后偏瘫上肢屈肌异常共激活的表面肌电研究[J].安徽医科大学学报,2016,51(6):888-893.
- [9] 燕铁斌,Hui-Chan WYC.踝背伸和跖屈肌群的最大等长收缩:脑卒中急性期患者与同龄健康老人表面肌电图对照研究[J].中华物理医学与康复杂志,2003,25(4):212-215.
- [10] 王莉,章峰冰,葛飞飞,胡亚飞.上肢多关节多方向训练系统对早期脑卒中患者上肢功能恢复的影响[J].中国康复医学杂志,2016,31(8):922-923. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.08.021
- [11] 王玉龙.康复功能评定学(供康复治疗专业用)[M].人民卫生出版社,2008:1-575.
- [12] Armatas CA, Summers JJ, Bradshaw JL. Mirror movements in normal adult subjects[J]. J Clin Exp Neuropsychol, 1994, 16(3):405-413.
- [13] Burke D, Wissel J, Donnan GA. Pathophysiology of spasticity in stroke[J]. Neurology, 2013, 80(2):20-26. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31827624a7.
- [14] Silva CC, Silva A, Sousa A, et al. Co-activation of upper limb muscles during reaching in post-stroke subjects: an analysis of the contralesional and ipsilesional limbs[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2014, 24(5):731-738. DOI: 10.1016/j.jelekin.2014.04.011.
- [15] Dyer JO, Maupas E, Melo Sde A, et al. Abnormal coactivation of knee and ankle extensors is related to changes in heteronymous spinal pathways after stroke[J]. J Neuroeng Rehabil, 2011, 8(11):559-564. DOI: 10.1186/1743-0003-8-41.
- [16] Neckel N, Pelliccio M, Nichols D, et al. Quantification of functional weakness and abnormal synergy patterns in the lower limb of individuals with chronic stroke[J]. J Neuroeng Rehabil, 2006, 3(1):17.
- [17] 毕胜,许云影.偏瘫上肢痉挛、联合反应与异常协同运动临床研究[J].中国康复医学杂志,2008,23(11):1007-1009. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2008.11.017.

(修回日期:2017-03-25)

(本文编辑:凌 琛)