

· 临床研究 ·

微型传感器运动捕获系统结合同步表面肌电
对脑卒中偏瘫患者上肢够物功能的定量评估

罗春 谢斌 黄真 王才丰 吴健康

【摘要】 目的 应用微型传感器运动捕获系统并结合同步表面肌电评估脑卒中偏瘫患者上肢够物动作的运动学及动力学特征。**方法** 选取 16 例脑卒中偏瘫患者[平均年龄(65.9±10.0)岁]及 10 例年龄相匹配的健康老年人作为研究对象。2 组受试者坐在椅子上用患手(患者)或右手(健康人)够取放在肩前方距肩一臂长距离处的杯子,采用微型传感器运动捕获系统记录受试者躯干及上肢运动学数据,同时采集被测肢体斜方肌、三角肌前组、肱二头肌、肱三头肌表面肌电信号。共进行 4 次够取任务测试,选取最好的一组数据进行分析。将同步采集的运动学数据与表面肌电信号处理后得到肩、肘关节活动范围及达标时间、角度变化峰值及对应时间、每组肌群做功和肌群做功比值(如斜方肌/三角肌前组、肱二头肌/肱三头肌)等。本研究同时采用 Fugl-Meyer 运动功能量表(FMA)上肢部分对入选患者上肢运动功能进行评分。采用独立样本秩和检验比较脑卒中患者运动学参数及肌电参数与健康人间的差异,采用 Spearman 相关性分析探讨患者偏瘫侧上肢 FMA 评分与运动学特征及肌电特征间的相关性。**结果** 脑卒中偏瘫患者上肢够物功能的运动学参数及肌电参数与健康人间差异均具有统计学意义($P<0.05$)。脑卒中患者偏瘫上肢 FMA 评分与肩关节活动峰速度具有相关性($P<0.05$),部分运动学参数与肌电参数具有相关性,如肩关节活动最大角度与斜方肌做功、肩关节活动速度达峰时间与肱二头肌/肱三头肌做功比值间具有相关性($P<0.05$)。**结论** 微型传感器运动捕获系统结合同步表面肌电分析可定量评测脑卒中偏瘫患者在三维实际环境中够取物体时的多关节运动学及动力学特征,为临床优化康复治疗提供客观依据。

【关键词】 脑卒中; 偏瘫; 够物; 运动学; 表面肌电; 定量分析

基金项目:国家自然科学基金项目(81272166)

Quantitative analysis of the reaching ability of stroke survivors with synchronous surface electromyography

Luo Chun*, Xie Bin, Huang Zhen, Wang Caifeng, Wu Jiankang. * Department of Rehabilitation Medicine, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China

Corresponding author: Huang Zhen, Email: huangzhen6313@163.com

【Abstract】 Objective To assess the reaching ability of hemiplegic stroke survivors using a motion capture unit (MCU) combined with surface electromyography (sEMG). **Methods** Sixteen stroke survivors with hemiplegia formed the experimental group, while healthy counterparts were selected as the control group. Both groups were asked to sit on a chair and reach for a cup on a table in front of their shoulder at arm's length using their affected arms in the experimental group and their right arms in the control group. MCUs were fixed on their spines and arms to obtain kinematic signals, and the sEMG signals of the trapezius, the anterior deltoids, biceps and triceps of the tested limb were recorded. Each subject repeated the test 3 times, and the best result was retained for further analysis. After signal processing, the range of movement of the shoulders and elbows was extracted along with the time used to reach the cup, peak angular velocity, time to peak velocity of the shoulders and elbows, work of the muscles and work ratios of the trapezius/deltoid and biceps/triceps. The upper limb section of the Fugl-Meyer assessment (FMA) was also administered to evaluate the patients' upper limb function. Independent sample rank sum tests compared the patients with the controls in terms of kinematics and sEMG parameters. Spearman analysis was used to explore the correlation between the FMA scores and the kinematics and sEMG characteristics. **Results** Significant differences in the kinematic and myoelectric indicators were found between the patients and the controls. The average FMA score of the patients was correlated with the peak velocity of the shoulder joint. Moreover, the ROM of the shoulder was closely related to the

work of the trapezius, while the time for the shoulder joint to reach peak velocity was closely related to the work ratio of the biceps and triceps. **Conclusion** An MCU integrated with synchronous sEMG can quantitatively assess the kinematics and kinetics of hemiplegic stroke survivors, at least in reaching. This can provide objective guidance to optimize clinical rehabilitation.

【Key words】 Stroke; Hemiplegia; Reaching; Kinematics; Electromyography

Fund program: The National Natural Science Foundation of China (grant 81272166)

上肢功能障碍是脑卒中患者主要后遗症之一^[1-4],脑卒中发病后 3 个月内只有 20% 患者具有正常上肢功能^[5],且早期瘫痪患者中只有不到 15% 的人能重新获得上肢功能^[6]。上肢功能状况直接影响人们日常生活活动的独立性。运动学分析可用来确定运动模式,区分患者上肢功能改善是真正的运动恢复或是代偿运动^[7],可帮助康复工作者了解偏瘫患者受损神经系统运动学适应能力,评估患者运动恢复潜力以及设计个体化治疗方案来恢复与够取能力相关的特定运动成份。目前使用较广泛的运动学分析系统是 3D 红外运动视频捕获系统,能量化反映上肢功能运动学特征,但该方法设备昂贵、操作复杂,且需要特定评估环境,临床实用性有限^[8-9]。本研究使用的微型传感器运动捕获系统操作简便,患者佩戴后可在实际生活环境中对其进行运动技能的运动学特征定量评测。表面肌电设备可在动态活动过程中记录关键肌群肌电特征,与运动学评测结果相结合,可进一步分析患者活动异常的动力学机制。本研究使用微型传感器运动捕获系统并结合同步表面肌电对脑卒中偏瘫患者及健康老年人执行上肢够取任务时的运动学及动力学特征进行评估,探讨脑卒中患者与健康人群运动表现的差异性及相关性。

对象与方法

一、研究对象

选取在我院康复科治疗的脑卒中患者 16 例,入选患者偏瘫侧上肢具有主动运动功能(上肢 Brunnstrom 分期为Ⅲ期或以上),均遗留不同程度上肢功能障碍,经 CT 或 MRI 影像学检查显示病损部位明确。本研究患者剔除标准包括:①有认知功能障碍,无法配合相关治疗;②伴有上肢或躯干疼痛并影响主动运动功能;③不能保持独立坐位;④既往有上肢或躯干骨关节疾患从而影响患者运动功能等情况。入选患者共有男 13 例,女 3 例;年龄 49~84 岁,平均(65.9±10.0)岁;其中 7 例为右侧肢体受累,9 例为左侧肢体受累。本研究同时选取 10 例年龄与患者组相匹配的健康志愿者(其右侧均为利手侧)进行对照,共有男 5 例,女 5 例,年龄 57~76 岁,平均(64.2±6.6)岁。2 组对象年龄经统计学比较,发现组间差异无统计学意义($P>0.05$)。

二、研究方法

2 组受试者分别坐在桌前,躯干保持直立,上肢自然垂于体侧,在被检测肩部正前方平肩水平、距肩一臂长的地方放置一个无柄杯子,要求受试者以自然速度去够取杯子,不要求抓握杯子,在运动末端维持 2 s 后自然放下。在检测过程中工作人员给予言语指导,并在正式测试前进行 2 次预测试以保证受试者知晓任务内容。正式测试共进行 4 次,每次间隔 20 s。患者组对象使用患侧上肢执行够取任务;健康对照组则采用右侧肢体执行够取任务。

运动学信号采集:在 4 次正式测试过程中,使用中国科学院传感网络与应用联合研究中心研制的微型传感器运动捕获系统(motion capture unit, MCU)采集受试者上肢运动参数。该系统配置有 4 个传感器小盒,每个小盒内集成了可测量 3 个维度运动速度、加速度及运动方向和幅度的感受器。小盒体积规格为 30 mm×35 mm×12 mm,通过绑带将这些小盒固定于受试者躯干、上臂、前臂及手部,采样频率为 50 Hz,将实时采集到的数据汇总后经蓝牙传入电脑分析系统。

表面肌电信号采集:在受试者执行够取任务过程中,采用由 Megawin 公司产 ME6000-T16 型表面肌电系统实时采集受试侧肢体肌电活动,分别记录斜方肌、三角肌前组、肱二头肌、肱三头肌表面肌电数据,肌电采样频率为 500 Hz,所得数据实时无线传入电脑。

运动学参数信号处理:通过人体运动捕获和三维重建技术(mmocap 技术)对传感器输入数据进行信息融合,获取受试者上肢各关节弯曲角度及位置信息,将活动起始后 2 s 内的数据平均分为 20 份,即每份数据时长 0.1 s,分析每段数据对应的关节角度及角度变化情况,从而得到关于上肢运动在空间、时间方面的特征参数。本研究选取肩、肘关节活动最大角度及对应时间(即达标时间)、活动峰速度及对应时间(即达峰时间)等 8 项运动学指标进行统计学分析。肌电处理:肌电原始数据经计算得到平均肌电值(average EMG, aEMG)后,参照运动学参数同步时间,计算每组肌肉各段时间做功均值及三角肌前组/斜方肌、肱二头肌/肱三头肌做功均值比值。

临床评估:采用 Fugl-Meyer 运动功能量表(Fugl-

Meyer assessment, FMA) 上肢部分(去掉手功能部分及共济运动部分)对患者上肢运动功能进行评估,评定内容共有 26 项,总分为 52 分^[10]。

三、统计学分析

本研究所得计量数据以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 SPSS 19.0 版统计学软件包进行数据分析,脑卒中患者与健康对照组间各参数比较采用独立样本秩和检验,患者各参数间相关性比较采用 Spearman 相关分析, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义或具有显著相关性。

结 果

一、脑卒中患者运动学参数与健康人间差异性分析

对入选脑卒中患者及健康志愿者执行够物动作时运动学参数进行比较,发现 2 组对象肩关节活动最大角度、肩关节达标时间、肩关节活动峰速度、肘关节屈曲最大角度时间、肘关节活动速度达峰时间等参数均具有统计学差异(均 $P < 0.05$),具体数据见表 1。

二、脑卒中患者表面肌电参数与健康人间差异性分析

对入选脑卒中患者及健康志愿者执行够物动作时表面肌电参数进行比较,发现 2 组对象斜方肌做功、三角肌前组做功、肱二头肌做功、肱三头肌做功、三角肌前组/斜方肌做功比值、肱二头肌/肱三头肌做功比值间差异均具有统计学意义(均 $P < 0.05$),具

体数据见表 2。

三、脑卒中患者运动学参数与上肢 FMA 评分相关性分析

通过相关性分析发现,入选脑卒中患者患侧上肢在够物时,其肩关节活动峰速度与上肢 FMA 评分 $[(25.38 \pm 14.05)$ 分]具有显著相关性($r = 0.511, P = 0.043$);而患者肩、肘关节活动最大角度(r 值分别为 0.274 和 -0.131)、达标时间(r 值分别为 0.005 和 -0.072)、达峰时间(r 值分别为 -0.054 和 -0.225)以及肘关节活动峰速度(r 值为 0.121)与上肢 FMA 评分均不具有显著相关性(均 $P > 0.05$)。

四、脑卒中患者上肢肌群表面肌电参数与上肢 FMA 评分相关性分析

通过相关性分析发现,入选脑卒中患者患侧上肢在够物时,其斜方肌做功(r 值为 -0.293)、三角肌前组做功(r 值为 -0.265)、肱二头肌做功(r 值为 -0.490)、肱三头肌做功(r 值为 0.244)、三角肌前组/斜方肌做功比值(r 值为 -0.081)及肱二头肌/肱三头肌做功比值(r 值为 -0.007)与上肢 FMA 评分均不具有显著相关性(均 $P > 0.05$)。

五、脑卒中患者上肢肌群表面肌电参数与运动学参数相关性分析

脑卒中患者患侧上肢在够物时,其斜方肌做功与肩关节活动最大角度具有显著相关性($P < 0.05$),肱二头肌/肱三头肌做功比值与肩关节活动速度达峰时间具有显著相关性($P < 0.05$),具体数据见表 3。

表 1 入选脑卒中患者与健康志愿者执行够物任务时运动学参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	肩关节活动最大角度(°)	肩关节达标时间(s)	肩关节活动峰速度(°/s)	肩关节活动速度达峰时间(s)	肘关节活动最大角度(°)	肘关节屈曲最大角度时间(s)	肘关节活动峰速度(°/s)	肘关节活动速度达峰时间(s)
患者组	16	50.58±18.76	1.81±0.20	48.11±28.63	0.80±0.40	28.90±15.86	1.55±0.50	34.98±23.90	0.83±0.41
健康对照组	10	75.21±9.33 ^a	0.97±0.16 ^a	114.96±32.48 ^a	0.52±0.09	21.19±10.49	0.77±0.28 ^a	46.39±32.41	0.47±0.19 ^a

注:与患者组相同指标比较,^a $P < 0.05$

表 2 入选脑卒中患者与健康志愿者执行够物任务时表面肌电参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	斜方肌做功(μVs)	三角肌前组做功(μVs)	肱二头肌做功(μVs)	肱三头肌做功(μVs)	三角肌前组/斜方肌做功比值	肱二头肌/肱三头肌做功比值
患者组	16	0.24±0.18	0.21±0.11	0.18±0.09	0.23±0.15	1.21±0.73	3.27±3.56
健康对照组	10	0.05±0.04 ^a	0.11±0.05 ^a	0.07±0.04 ^a	0.15±0.11 ^a	4.24±1.94 ^a	1.19±0.70 ^a

注:与患者组相同指标比较,^a $P < 0.05$

表 3 入选脑卒中患者表面肌电参数与肩关节活动最大角度及活动速度达峰时间的相关性分析

相关性分析条目	斜方肌做功	三角肌前组做功	肱二头肌做功	肱三头肌做功	三角肌前组/斜方肌做功比值	肱二头肌/肱三头肌做功比值
肩关节活动最大角度	0.641 ^a	0.321	0.132	0.247	-0.424	0.024
肩关节活动速度达峰时间	0.079	-0.079	-0.194	0.217	-0.450	-0.634 ^a

注:表格中数据为 r 值,^a $P < 0.05$ 表示具有显著相关性

讨 论

脑卒中患者由于脑部血管性病变,导致中枢神经系统受损,对应肢体出现感觉及运动功能障碍,受累肢体因肌力减弱或痉挛在自主运动时表现出运动控制受损,容易出现异常运动模式,如联合反应、共同运动、过度用力、运动效率低下等^[11],特别是在运动轨迹、运动速度和运动协调性等运动质量方面的异常表现尤为显著^[12-13]。健康人群其运动具有协调性,机体多个关节为完成同一个运动目标能产生相互配合的运动;而脑卒中偏瘫患者上肢在完成功能性活动时容易出现病理性协同运动模式,导致与任务相关的运动功能受限,并且患者适应能力也显著减退^[14]。可见准确、有效反映这些异常特征有助于指导康复医师及治疗师选择更具针对性的治疗措施,从而优化治疗方案、提高康复疗效。

上肢主要功能包括够物及操作,本研究以肩关节前伸够物为功能性动作,选取了肩、肘关节活动最大角度及对应时间(即达标时间)、活动峰速度及对应时间(即达峰时间)等 8 项运动学指标。其中肩关节活动最大角度指完成任务时肩关节活动范围,代表了肩前屈能力;肩关节达标时间是肩关节完成够取目标动作所花的时间,体现了完成动作的速度;肩关节活动峰速度体现了完成动作的敏捷度;对应时间则体现了肌肉有效激活的快慢。肘关节活动最大角度指够取过程中屈肘最大角度;对应时间表明了屈肘过程长短;肘关节活动峰速度即肘关节屈曲运动的最大角速度,对应时间指肘关节达到最快屈曲速度时的时间^[12,15-17]。

本研究结果显示,患者组肩关节活动最大角度较健康对照组减小,到达最大前屈位所花时间较健康者延长,肩关节前屈运动峰速度较健康者减小,达峰时间也较晚,并且前 3 项指标结果组间差异具有统计学意义($P<0.05$)。上述运动学评估结果显示脑卒中偏瘫患者完成够取任务时有一定困难,且运动速度较慢,肌肉激活效能较差,不能有效完成动作加速过程。正常人在执行有目的够取任务时,其肩关节运动会很快加速到最大速度,再逐渐减速,当即将到达目标时速度进一步减慢,所以能很快够取到目标,并且整个够取动作平滑;而脑卒中患者执行够取任务时加速动作过程变缓,且运动速度变化不够平滑,患者在够取过程中需多次努力,关节需反复加、减速,直到最后达到能力极限,但往往仍不能达到目标(见图 1)。

本研究脑卒中患者上肢表现与其它运动学定量评测结果基本相符。如 Paulette 等^[18]应用 3D 红外视频分析系统评测脑卒中患者及健康者在三种不同距离位置上执行够取杯子喝水的情况,发现脑卒中患者运动

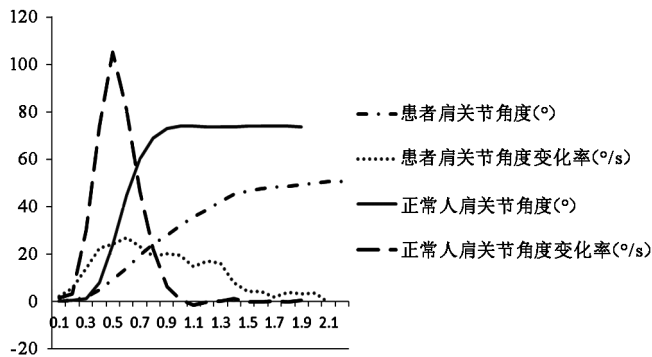


图 1 脑卒中偏瘫患者与健康人群上肢前屈够物时肩关节运动情况对比

峰速度及平均速度均明显低于健康对照组,并且脑卒中患者由于肢体运动精确度受损而导致在拿近处杯子时不能及时制动,造成手动作过大而偏离目标;在拿远处杯子时,由于患者肢体伸展活动范围受限,导致手无法触碰目标。Cirstea 等^[19]早在 2000 年即应用 3D 红外视频系统分析偏瘫患者与健康人完成点对点任务时的差异,发现与健康人比较,偏瘫患者用时较长,动作变异及运动轨迹差异较大,肩肘关节协调性遭到破坏,关节主动活动范围也有一定程度受限。Rohrer 等^[20]采用一种机械臂记录患者在水平面上完成上肢点对点任务时的运动学特征,发现偏瘫患者上肢在恢复过程中,其肢体活动平滑度随功能改善而明显提高。

本研究入选脑卒中偏瘫患者其三角肌前组及斜方肌在够物过程中的做功明显高于健康对照组水平(均 $P<0.05$);表明脑卒中患者在完成够物任务时较健康人需募集更多的运动单位,同时患者还表现出运动速度明显减慢,提示脑卒中患者运动模式具有低效特点。正常人群在肩前屈够物过程中,其三角肌前组是该动作的主要收缩肌,而斜方肌则是稳定肌,所以三角肌前组/斜方肌做功比值较大,这也是产生肩前屈动作最有效率的激活模式。而脑卒中患者三角肌前组/斜方肌做功比值显著低于健康对照组水平,分析原因可能是患者三角肌前组收缩力量不足,虽然肌肉募集多但效率较低,所以出现由斜方肌过度激活代偿的异常运动模式(如患者在肩前屈活动时出现耸肩或肩外展代偿)^[14]。这也可能与中枢神经损伤后次级运动中募集增多,使得关节间运动协调紊乱有关。近期 Buma 等^[21]通过功能核磁检查发现:在脑卒中后 6 周就可见患者次级运动区域(如病灶侧运动前区、岛叶、小脑,对侧辅助运动区)募集增加,这种募集使运动控制偏离了优化的运动模式,是一种适应性代偿策略。

脑卒中偏瘫患者患侧上肢在执行够取任务时,

除了肩部活动发生变化外,其肘部活动也会发生改变。正常人群肢体在前屈够物时,其肱三头肌、肱二头肌互为主要肌和拮抗肌,肘关节运动从伸展位到保持在微屈位,患者在这一过程中肘关节是逐渐屈曲的,表现为屈肘角度不断增大,即使肩关节活动已达到最大范围,肘关节屈曲角度也可能还在不断增加。这可以解释患者组肘关节屈曲最大角度对应时间晚于健康对照组;并在一定程度上提示脑卒中患者肩前屈能力相对较弱,需依靠屈肘动作来代偿。脑卒中患者肱二头肌、肱三头肌做功均显著高于健康人水平,这与肩关节周围肌群活动变化机制类似,即脑卒中中偏瘫患者患侧肢体在完成某项活动时需募集更多的运动单位,并且这种运动模式具有低效、耗能特点。尽管脑卒中患者肱二头肌和肱三头肌做功均有显著增加,但以肱二头肌做功增加幅度更显著,故二者比值仍显著高于健康对照组水平,可见脑卒中患者运动模式及肌电募集方式均以屈曲共同运动为主,缺乏关节节段性及肌肉间协调运动,即为了达到肩前屈目的而过度激活屈肘肌。本研究结果与相关报道内容基本一致。如 Messier 等^[22]使用 3D 红外线视频采集分析系统评测偏瘫患者和正常人在水平面上完成单手及双手向前、向左前方 45°、向右前方 45°超过手臂长度够取物品时的情况,发现患者表现出伸肘不充分、肩外展角度增加等异常。Zackowski、Barker 及 Hughes 等^[23-25]学者均发现,脑卒中偏瘫患者患肢在够物时其肩肘关节运动协调性降低,但随着患者功能改善,肩肘协调性会逐渐提高。

本研究还发现,入选脑卒中患者肩关节活动峰速度与上肢 FMA 评分具有正相关性,而肩关节活动角度与上肢 FMA 评分无显著相关性。其原因可能包括:肩关节活动角度体现的是最终结束动作时任务完成情况,而不是完成动作过程中的效率,更多与肌肉力量大小有关;而活动峰速度则体现的是机体活动自如、动作流畅的程度,属于运动质量范畴。众所周知,Fugl-Meyer 评分中有相当一部分内容与受试者分离运动情况有关,所以在一定程度上可以说受试者分离运动越充分,则 FMA 评分越高。脑卒中患者肩关节活动峰速度与上肢 FMA 评分具有正相关性,说明当偏瘫患者分离运动充分时,其活动表现才能更自如、流畅。脑卒中患者肘关节相关运动学参数与上肢 FMA 评分无显著相关性。虽然 FMA 上肢运动功能评分关注肘关节是否伸直,但不能细致反映肘关节伸直受限程度,故这种半定量评测方法还不能精确反映脑卒中患者异常运动模式特征。另外本研究样本量偏小以及受试者未按程度分组比较等也可能在一定程度上影响了相关性。

本研究中脑卒中患者肩关节活动角度与斜方肌做功具有明显正相关性。当脑卒中患者肩关节角度增加时,其更多的是以增加耸肩来代偿前屈肌力不足,通过共同运动模式来完成够取任务,所以肩关节活动角度并不能代表运动质量,而与参与肌肉力量大小有关,与上面结果一致。另外虽然肩关节活动速度达峰时间与肱二头肌/肱三头肌做功比值具有明显负相关性,即肱二头肌/肱三头肌做功比值越大,则肩关节活动速度达峰时间越早,可见肩关节活动速度达峰时间并不能完全反映患者运动质量情况,提示脱离分析峰速度或其他运动学指标而只关注达峰时间并不能客观、准确分析患者运动质量情况。因此在进行运动学参数分析时,如何找到一种能准确解释运动质量的指标,将运动学分析进一步精确并简化,将是下一步要解决的问题之一。另外由于本研究入选患者例数较少,未将利手、非利手分别与健康人的对应侧肢体进行对比,而是采用健康人的右手(均为利手)作为统一标准。这有待今后进一步细化分析,如比较健康人利手与非利手在够取物体时是否存在运动学和肌电参数差异,从而明确研究偏瘫患者患侧肢体够物运动参数时是否需考虑健康对照组的利手、非利手问题。

综上所述,本研究结果表明,通过微型传感器运动捕获系统及表面肌电评估发现脑卒中偏瘫患者患肢够物的运动学特征异于健康人群;上述联合评估不仅可定量评测多关节在实际功能性动作中的运动学特征,还为临床分析运动功能障碍的关键性限制因素提供生物力学及动力学依据,从而有助于科学优化治疗方案,促进康复疗效提高。本研究不足之处包括:未对研究对象进一步细化分组,对于功能状况相差较大的患者以及患侧是否为利侧未进行分别比较,对于微型传感器运动捕获系统结合表面肌电评测技术的临床应用还有待进一步研究、改进。

参 考 文 献

- [1] Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, et al. Heart disease and stroke statistics-2014 update: a report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2014, 129(3): 28-292. DOI: 10.1161/01.cir.0000441139.02102.80.
- [2] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国缺血性脑卒中和短暂性脑缺血发作二级预防指南 2014 [J]. 中华神经科杂志, 2015, 48(4): 258-273. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2015.04.003.
- [3] 吴兆苏, 姚崇华, 赵冬. 我国人群脑卒中发病率、死亡率的流行病学研究[J]. 中华流行病学杂志, 2003, 24(3): 236-239.
- [4] Broeks JG, Lankhorst GJ, Rumping K, et al. The long-term outcome of arm function after stroke: results of a follow-up study[J]. Disabil Rehabil, 1999, 21(8): 357-364.

- [5] Parker VM, Wade DT, Langton Hewer R. Loss of arm function after stroke: measurement, frequency, and recovery [J]. *Int Rehabil Med*, 1986, 8(2): 69-73.
- [6] Hendricks HT, van Limbeek J, Geurts AC, et al. Motor recovery after stroke: a systematic review of the literature [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002, 83(11): 1629-1637. DOI: 10.1053/apmr.2002.35473.
- [7] Wade E, Chen C, Winstein CJ. Spectral analysis of wrist motion in individuals poststroke: the development of a performance measure with promise for unsupervised settings [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2014, 28(2): 169-178. DOI: 10.1177/1545968313505911.
- [8] Wagner JM, Rhodes JA, Patten C. Reproducibility and minimal detectable change of three-dimensional kinematic analysis of reaching tasks in people with hemiparesis after stroke [J]. *Phys Ther*, 2008, 88(5): 652-663. DOI: 10.2522/ptj.20070255.
- [9] 杨唐柱, 黄晓琳, 陈文斌, 等. 偏瘫患者与正常人日常生活活动的三维运动学分析 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2010, 32(11): 840-844. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2010.11.011.
- [10] Holmes G. The symptoms of acute cerebellar injuries due to gunshot injuries [J]. *Brain*, 1917, 40: 463-535.
- [11] Deakin A, Hill H, Pomeroy VM. Rough guide to the Fugl-Meyer Assessment; Upper limb section [J]. *Physiotherapy*, 2003, 89(12): 751-763. DOI: 10.1016/S0031-9406(05)60502-0.
- [12] 罗春, 黄真, 谢斌, 等. 微型传感器运动捕获系统对脑卒中偏瘫患者上肢够物功能的定量评估 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2012, 34(2): 104-107. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.02.008.
- [13] Levin MF, Kleim JA, Wolf SL. What do motor 'recovery' and 'compensation' mean in patients following stroke [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2009, 23(4): 313-319. DOI: 10.1177/1545968308328727.
- [14] Shaikh T, Goussev V, Feldman AG, et al. Arm-trunk coordination for beyond-the-reach movements in adults with stroke [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2014, 28(4): 355-366. DOI: 10.1177/1545968313510973.
- [15] Colombo R, Cusmano I, Sterpi I, et al. Test-retest reliability of robotic assessment measures for the evaluation of upper limb recovery [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2014, 22(5): 1020-1029. DOI: 10.1109/TNSRE.2014.2306571.
- [16] Fantozzi S, Giovanardi A, Magalhaes FA, et al. Assessment of three-dimensional joint kinematics of the upper limb during simulated swimming using wearable inertial-magnetic measurement units [J]. *Sports Sci*, 2016, 34(11): 1073-1080. DOI: 10.1080/02640414.2015.1088659.
- [17] Gharib NM, Aboumoussa AM, Elowishy AA, et al. Efficacy of electrical stimulation as an adjunct to repetitive task practice therapy on skilled hand performance in hemiparetic stroke patients: a randomized controlled trial [J]. *Clin Rehabil*, 2015, 29(4): 355-364. DOI: 10.1177/0269215514544131.
- [18] van Vliet PM, Sheridan MR. Ability to adjust reach extent in the hemiplegic arm [J]. *Physiotherapy*, 2009, 95(3): 176-184. DOI: 10.1016/j.physio.2009.03.004.
- [19] Cirstea MC, Levin MF. Compensatory strategies for reaching in stroke [J]. *Brain*, 2000, 123(5): 940-953.
- [20] Rohrer B, Fasoli S, Krebs HI, et al. Movement smoothness changes during stroke recovery [J]. *J Neurosci*, 2002, 22(18): 8297-8304.
- [21] Buma FE, van Kordelaar J, Raemaekers M, et al. Brain activation is related to smoothness of upper limb movements after stroke [J]. *Exp Brain Res*, 2016, 234(7): 2077-2089. DOI: 10.1007/s00221-015-4538-8.
- [22] Messier S, Bourbonnais D, Desrosiers J, et al. Kinematic analysis of upper limbs and trunk movement during bilateral movement after stroke [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006, 87(11): 1463-1470. DOI: 10.1016/j.apmr.2006.07.273.
- [23] Zackowski KM, Dromerick AW, Sahrman SA, et al. How do strength, sensation, spasticity and joint individuation relate to the reaching deficits of people with chronic hemiparesis [J]. *Brain*, 2004, 127(5): 1035-1046. DOI: 10.1093/brain/awh116.
- [24] Barker RN, Brauer S, Carson R. Training-induced changes in the pattern of triceps to biceps activation during reaching tasks after chronic and severe stroke [J]. *Exp Brain Res*, 2009, 196(4): 483-496. DOI: 10.1007/s00221-009-1872-8.
- [25] Hughes AM, Freeman CT, Burridge JH, et al. Shoulder and elbow muscle activity during fully supported trajectory tracking in people who have had a stroke [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2010, 20(3): 465-476. DOI: 10.1016/j.jelekin.2009.08.001.

(修回日期: 2016-12-28)

(本文编辑: 易 浩)

· 消息 ·

《中华物理医学与康复杂志》2017 年征订启事

《中华物理医学与康复杂志》是中华医学会主办的物理医学与康复(康复医学)专业的高水平学术期刊,本刊为月刊,大 16 开,内芯 80 页码,中国标准刊号:ISSN 0254-1424 CN 42-1666/R,邮发代号:38-391,每月 25 日出版,每册定价 25 元,全年 300 元整。热忱欢迎国内外物理治疗、物理医学与康复、康复医学领域以及神经内科、神经外科、骨科等相关科室的各级医务工作者踊跃订阅、投稿。

订购方式:①邮局订阅:按照邮发代号 38-391,到全国各地邮局办理订阅手续。②直接订阅:通过邮局汇款至本刊编辑部订购,各类订户汇款时务请注明所需的杂志名称及年、卷、期、册数等。编辑部地址:430030 武汉市解放大道 1095 号同济医院内《中华物理医学与康复杂志》编辑部;电话:(027)83662874;传真:(027)83663264;E-mail:cjpmr@tjh.tjmu.edu.cn;杂志投稿网址:www.cjpmr.cn。