

偏瘫手臂静力力量测量仪器的设计研究*

洪跃镇¹ 隋建锋¹ 季林红^{1,3} 卢 茜² 毕 胜²

摘要

目的:为了对脑卒中数周后痉挛性张力进行仪器测量进而量化评估上肢痉挛程度,以实现及时的针对性临床干预。

方法:依据改良 Ashworth 评分法,本文设计了一套偏瘫患者手臂静力力量测量的支架系统,采用两个三维力传感器测量患者动作过程中的手臂力量,以反映偏瘫患者的肌张力状态,通过测量过程的定量分析,实现了对偏瘫患者上肢的痉挛状况的量化评估。

结果:上下臂力的实验数据说明患侧左臂试图单独完成肘关节弯曲,产生了肩关节的协同运动;健侧右臂在进行同样动作时,肘关节运动独立性较好。

结论:设计的系统与分析方法经过了实验室及临床患者实验,其结果验证了测量系统及分析方法的可行性和评价方式的有效性。本研究为偏瘫康复治疗及痉挛量化评估提供了一种新的方法和手段。

关键词 偏瘫康复;痉挛评定方法;肌张力测量;三维力传感器

中图分类号:R496,R742.3 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2015)-12-1253-04

A research on the design of instrument for measuring force of upper extremity of hemiplegic patients/
HONG Yuezhen, SUI Jianfeng, JI Linhong, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30
(12): 1253—1256

Abstract

Objective: To study the instrument for measuring force spastic upper extremity in hemiplegic stroke patients.

Method: Based on the modified Ashworth scores in spasticity assessment, a set of instrument was designed to measure the force of upper extremity of hemiplegic patients by means of two three-dimensional force sensors to show the quantitative condition of spastic hypertonia.

Result: The measurement of force of upper arm and forearm showed that the elbow flexion of affected side caused synergic movement of shoulder joint. In contrast, the elbow flexion of unaffected side had better independence.

Conclusion: The design can not only provide information for diagnosis, but also put forward a new quantitative means for spasm assessment.

Author's address Division of Intelligent and Bio-mechanical System, State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing, 100084

Key word hemiplegia rehabilitation; spasm assessment; muscle tension measurement; three-dimensional force sensor

偏瘫患者的手臂伸展区别于正常人。偏瘫是脑血管病及脑外伤后的临床症状之一,偏瘫后上肢运动功能的恢复有一定的规律^[1-2]。根据 Brunnstrom

恢复理论,由于锥体束休克所致,在发病后数日至2周患侧肢体呈弛缓性瘫痪,肌力及肌张力低下,一般称作弛缓期,大部分偏瘫患者在发病后1—2周出现

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.12.011

*基金项目:国家自然科学基金项目(81272162)

1 清华大学摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室,北京,100084;2.解放军总医院康复医学中心;3 通讯作者
作者简介:洪跃镇,男,硕士研究生;收稿日期:2014-12-11

肌张力的增高^[3]。

脑卒中数周后痉挛性张力亢进是影响运动功能的恢复和姿势调节的主要原因^[4]。脑卒中后痉挛的发生率达到了39%，偏瘫上肢的功能障碍、痉挛明显地影响着瘫痪患者的生活质量，对肌张力进行测量进而评估痉挛情况有助于及早干预采取治疗措施^[5-7]。

在肌痉挛评定中，目前临床上公认的和最常见的评价方法是改良 Ashworth 评分，它是一种半定量指标，通过被动活动关节以牵拉痉挛的肌群，感觉关节活动阻力出现的时间与强度来判断痉挛的程度。研究证实 Ashworth 法与等速测试法所得结果高度相关，在反映肌痉挛方面具有一致性^[8]，用于上肢肌肉评定时具有较好的信度^[9]，但是国内暂无该方法在痉挛型肌张力评定中的信度研究^[10]。

1 肌张力测量仪器

依据改良 Ashworth 评分法的标准，本研究设计了一套偏瘫手臂力量测量支架测量力矩并反映偏瘫患者的肌张力，通过仪器的记录定量且直观反映偏瘫患者上肢瘫痪肢体的痉挛状况，为后续治疗提供一套客观诊断信息。

测量仪器用于上肢偏瘫患者的肌张力评估实验。在康复医学中，上下肢代表性肌群的肌力评定可作为全面评价瘫痪严重程度指标^[11]。仪器的测量借鉴了国外相关实验的步骤和要求^[12-13]，受试者坐于固定背靠椅上，躯干被经过胸、腹部的带子固定于椅背上，受试者实验时躯干和骨盆被限制移动。

根据实验要求，测量系统要实现受试者上肢肩外展 75°，屈曲 40°，肘曲 90°，固定受试者腕部，并使受试者指尖正对自身的正中矢状位。受试者进行肩关节外展与肘关节屈曲动作时，支架能够完成手臂近端与远端的最大静力性收缩测定。在被测者以 15%—25% 的最大收缩力的执行肩关节外展与肘关节屈曲动作，支架能够测量手臂近端和远端在动作平面 X、Y 两方向的力和垂直于动作平面的力矩。

2 设计思路和方案

测量支架基本测试原理基于改良的 Ashworth 评分法，设计要求支架能够支撑并固定手臂远近两端，查阅正常人手臂重量，并针对肩关节外展与肘关

节屈曲动作做了预先实验测量手臂动作力量，从而确定传感器量程。考虑支架结构采用铝型材，铝型材轻便易于加工，在满足刚度的前提下，可以方便调节传感器的位置，适应不同受试者的手臂长度，选择相应的角件连接件和 T 型螺钉螺母，易于安装和拆卸。

采用两个三维力传感器测量手臂近端和远端在动作平面方向的力和力矩，相比于采用一个三维力传感器测量再解耦分析，该方案一是方便记录和分析，二是传感技术较易实现，同时价格便宜。手臂夹紧固定结构采用铝合金 U 形槽，通过绑带可以将手臂紧密固定在传感器之上。

采用合页连接手臂近端支撑杆与远端支撑杆两个部分并能使之相对转动，能够实现要求角度的参数，还能够根据实验需要进行角度调整，适应其他实验的要求。

3 支架部件与整体设计

传感器采用两个三维力传感器，分别测量 X、Y 两个方向力和 Z 轴扭矩，传感器的参数设置相同。根据预先实验得到两组正常人进行肩关节外展与肘关节屈曲动作的力和力矩数据，参考该数据设定制作传感器的量程为： $F_x=F_y=\pm 200\text{N}$ ； $M_z=\pm 30\text{N}\cdot\text{M}$ ，传感器的外形如图 1 所示，传感器参数如表 1 所示。

变送器配合传感器使用，每个传感器连接一个变送器，量程： $F_x=\pm 200\text{N}$ 、 $F_y=\pm 200\text{N}$ 、 $M_z=\pm$

表 1 三维力传感器参数表

项目	参数
输出灵敏度	0.01mV/N(F_x, F_y) 0.06mV/Nm(M_z)
线性	$\pm 0.1\%F.S$
滞后	$\pm 0.1\%F.S$
重复性	$\pm 0.05\%F.S$
零点输出	$\pm 0.1\%F.S$
零点温度影响	$\pm 0.1\%F.S/10^\circ\text{C}$
蠕变(30min)	$\pm 0.1\%F.S/30\text{min}$
输入阻抗(Ω)	750±30
输出阻抗(Ω)	700
绝缘阻抗(M Ω)	≥ 5000
温度范围	-30℃—70℃
安全超载	150%
供电	5-12VDC
输入端	红 Exc+ 黑 Exc-
输出端	绿 Sig+ 白 Sig-

测试地温度:25℃,重力加速度:9.81m/s²

图1 三维力传感器和变送器



30N·M。变送器输出端采用三线制+24VDC,供电输出:2.5→±2.5VDC,电源端口:红色为正极,黑色为负极,输出端口是绿+。变送器及连线设有屏蔽线,如果需要可将传感器屏蔽线接地,调整零点及放大倍数,可分别调整电位器PZERO(w104)和幅点电位器SPAN(w101)。

数据记录采用XSR90系列彩色无纸记录仪,该记录仪可以接收多种类型的直流电流、电压和电阻信号,实现温度、压力、液面、流量、成分以及力、力矩、位移等物理量的显示、记录、越限监控、报表生成、数据通讯、信号变送以及流量累计等功能。仪表含有18个测量通道,该测量支架设计中用到了其中6个通道,仪表的测量周期为0.1s。

固定夹紧机构见图2,是手臂与传感器的连接机构,采用铝合金U形槽,通过绑带可以将手臂紧密固定在传感器之上,既实现手臂紧密连接在传感器上,确保手臂力量能完全传递到传感器端面,绑带接触人体又不会对受试者肌肉造成较大的压迫或刺激。支撑部件采用30×30铝型材,铝型材的特点是铝型材密度小,轻便易于加工,既满足刚度力度要求,并且可以很方便调节传感器的位置,适应不同受试者的手臂长度,选择相应的角件连接件和T型螺钉螺母,易于安装和拆卸。

图2 固定夹紧机构

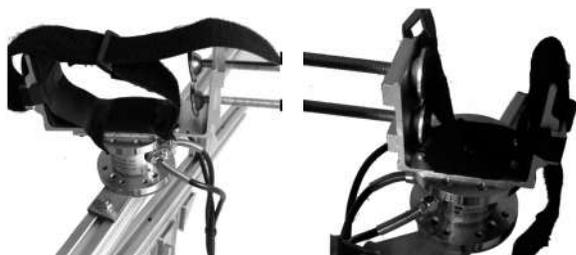
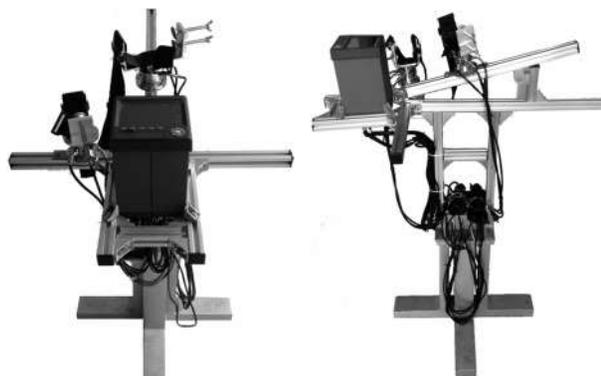


图3 测量支架整体



4 测试实验与结果分析

测量支架见图3。支架测试效果采用1例偏瘫患者(左瘫,男性,年龄:52岁,体重:65kg)进行验证,实验组为偏瘫患者左臂(瘫侧),对照组为偏瘫患者右臂(健侧)。

实验时,固定受试者上肢肩外展75°,屈曲40°,肘曲90°,固定腕部并使指尖正对自身的正中矢状位。受试者进行肘关节屈曲动作,以屈曲(维持2s)——回复(维持5s)为节奏循环动作,支架测量手臂近端和远端在动作平面垂直于手臂方向的力,得到图4的实验曲线。

曲线中的竖坐标轴是力的大小,横坐标轴是时间,粗线代表垂直下臂方向的力,细线代表垂直上臂方向的力。对实验结果进行分析,在进行肘关节屈曲时,左臂垂直于上臂的力的大小接近垂直于下臂的力,说明患侧左臂试图独立完成肘部关节弯曲,却不自主带动了肩部关节的协同运动;而健侧右臂在进行同样动作时,垂直于上臂的力远远小于垂直于下臂的力,说明健侧右臂肘关节运动独立性较好,完成肘关节运动对肩关节造成运动干扰小。

从图5曲线还可看出,患侧左臂在5s回复间隙,上臂力曲线仍然有一定的测量值,而健侧右臂在回复时上下臂力很快都恢复到接近零点,说明回复间隙患侧左臂上臂仍有不受控制的肌张力。

近年来对脑卒中引发的痉挛评估研究逐渐增加,采用了许多电生理学等新的评估方法,但电生理学评估的方法主要侧重从运动神经元激活情况或兴奋性进行评估,仪器操作复杂,评估效果在实际中还有争议。传统的力学评估方法可靠且易于

图4 试验结果曲线

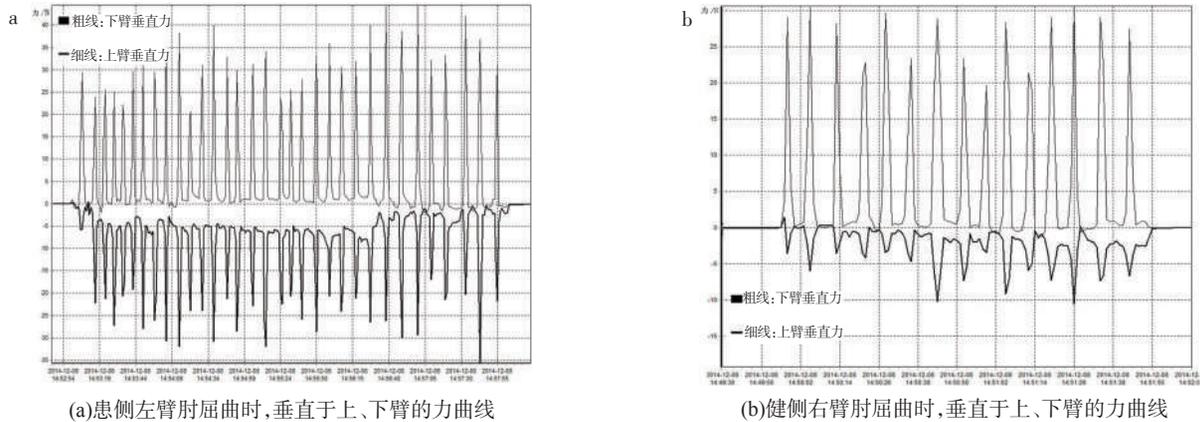
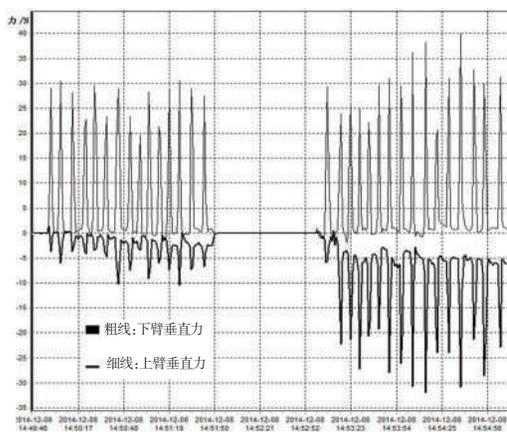


图5 试验结果曲线对比(局部)



操作,在实践中仍然处于主要地位。临床常用的改良 Ashworth 评分法来评估上肢瘫痪肢体的痉挛,操作简单,但是没有设备、仪器的参与和记录,多依赖于医生的主观经验。

基于改良 Ashworth 评分法的标准,本研究设计一套偏瘫手臂力量测量支架测量偏瘫患者的肌张力,通过仪器的记录定量且直观反映偏瘫患者上肢瘫痪肢体的痉挛状况,验证了测量方案的可行性和结果的有效性,为后续治疗提供诊断信息,同时提供了一种评估痉挛的新方法。

参考文献

[1] Schaefer SY, Mutha PK, Haaland KY, et al. Hemispheric specialization for movement control produces dissociable differences in online corrections after stroke [J]. *Cerebral Cor-*

tex,2012, 22(6): 1407—1419.

[2] Safavynia SA. BS, Torres-Oviedo Gelsy, Ting Lena H. Muscle synergies: Implications for clinical evaluation and rehabilitation of movement [J]. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*. 2011, 17(1):16—24.

[3] Brunnstrom S. Movement therapy in hemiplegia [M]. Harper & Row, New York:1983:34—55.

[4] 郭铁成. 痉挛和运动障碍的临床生理[M]. 窦祖林. 痉挛-评定与治疗.北京:人民卫生出版社, 2004:1—17.

[5] Welmer AK, von Arbin M, Widen Holmqvist L, et al. Spasticity and its association with functioning and health-related quality of life 18 months after stroke [J]. *Cerebrovasc Dis*.2006, 21:247—253.

[6] Wichers MJ, Odding E, Stam HJ, et al. Clinical presentation, associated disorders and aetiological moments in cerebral palsy: a Dutch population-based study [J]. *Disabil Rehabil*. 2005, 27: 583—589.

[7] 秦茵,毕胜,王福根. 脑卒中上肢功能常用评价方法及临床应用[J]. *中国康复医学杂志*, 2004, 19(3): 232—234.

[8] 宋凡,张峰,朱玉连,等. 等速测试指标与改良 Ashworth法用于评定肌痉挛的相关性研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2008, 23(7): 615—617.

[9] Blackburn M, van Vliet P, Mockett SP. Reliability of measurements obtained with the modified Ashworth scale in the lower extremities of people with stroke [J]. *Phys Ther*,2002, 82:25—34.

[10] 黄华玉,史惟,陈洁清,等. 改良 Ashworth 量表在痉挛型脑瘫儿童下肢肌张力评定中的信度研究[J].*中国康复理论与实践*, 2010,16(10):973—975.

[11] 谢群. 机器人辅助上肢康复训练的量化评价方法研究[D]. 北京:清华大学机械工程工学硕士学位论文. 2010.

[12] Jun Yao, Albert Chen, Carolina Carmona, et al. Cortical overlap of joint representations contributes to the loss of independent joint control following stroke [J]. *Neuroimage*.2009, 45(2): 490—499.

[13] Jun Yao, Carolina Carmona, Albert Chen, et al. Sensory cortical re-mapping following upper-limb amputation and subsequent targeted reinnervation: A case report [J].33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS. Boston, Massachusetts USA, 2011: 1065—1068.