

表面肌电联合等速肌力测试用于不完全腰髓损伤患者的精准评估研究

陈彦, 吴霜, 王志涛, 田新原, 裴强

【摘要】 目的:研究表面肌电测试联合等速肌力评估用于不完全腰髓损伤患者康复治疗的精准量化评估。**方法:**60例腰髓不完全损伤患者,随机分为观察组(常规康复+等速肌力训练)和对照组(常规康复训练),每组各30例。在治疗前和治疗3个月后对2组患者进行膝关节肌群徒手肌力评定(MMT)、等速肌力测试[峰力矩(PT)、峰力矩/体重比(PT/BW)、等速耐力比(RO)]和表面肌电测试,包括股直肌和股二头肌的肌电积分值(iEMG)和平均功率频率(MPF)。**结果:**治疗3个月后,2组患者腓绳肌峰力矩体重比(H-PT/BW)、股四头肌峰力矩体重比(Q-PT/BW)、股二头肌肌电积分值(BF-iEMG)、股直肌肌电积分值(RF-iEMG)、腓绳肌耐力比(H-RO)、股四头肌耐力比(Q-RO)均较治疗前明显提高(均 $P<0.01, 0.05$),且观察组高于对照组(均 $P<0.01$)。2组股二头肌平均功率频率(BF-MPF)和股直肌平均功率频率(RF-MPF)均较治疗前明显降低(均 $P<0.05$),且观察组低于对照组(均 $P<0.05$)。2组股四头肌徒手肌力分级(H-MMT)、腓绳肌徒手肌力分级(Q-MMT)均较治疗前明显提高(均 $P<0.05$),但2组间比较差异无统计学意义。**结论:**表面肌电测试联合等速肌力评估较传统的徒手肌力测试能精准量化不完全腰髓损伤患者康复治疗后下肢肌力和肌耐力的改变,可以作为这类患者的康复评估方法的补充。

【关键词】 不完全性脊髓损伤;表面肌电;等速肌力测试;肌力;肌耐力;精准评估

【中图分类号】 R49;R744 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2018.01.004

Surface electromyography combined with isokinetic muscle test for accurate evaluation of patients with incomplete lumbar spinal cord injury Chen Yan, Wu Shuang, Wang Zhitao, et al. Department of Rehabilitation Medicine, the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the accuracy of surface electromyography combined with isokinetic muscle test for patients with incomplete lumbar spinal cord injury. **Methods:** Sixty patients with incomplete lumbar spinal cord injury were recruited, and randomly divided into control group and observation group. Patients in both groups were treated with the conventional rehabilitation therapy, and those in the observation group accepted isokinetic muscle strength training additionally. The manual muscle testing (MMT) and isokinetic muscle strength testing of knee muscles including peak torque (PT), peak torque to body weight ratio (PT/BW) and endurance ratio (RO) were evaluated before and after the treatment. The integrated electromyogram (iEMG) of rectus femoris and biceps femoris and the mean power frequency (MPF) were also evaluated. **Results:** After the treatment for three months, the PT/BW of hamstring (H-PT/BW), PT/BW of quadriceps femoris (Q-PT/BW), iEMG of biceps femoris (BF-iEMG), iEMG of rectus femoris (RF-iEMG), RO of hamstring (H-RO), and RO of quadriceps femoris (Q-RO) were significantly increased as compared with those before the treatment ($P<0.01, 0.05$), and those in the observation group were significantly higher than in the control group ($P<0.01$). The BF-MPF and RF-MPF were decreased after the treatment in both groups ($P<0.05$), and those in the observation group were significantly lower than in the control group ($P<0.05$). Although the MMT of hamstring (H-MMT) and MMT of quadriceps femoris (Q-MMT) were increased in both groups after the treatment ($P<0.05$), there was no significant difference between those two groups. **Conclusion:** Compared to the traditional manual muscle strength testing, sEMG and isokinetic muscle test could accurately quantify the changes of lower limb muscle strength and muscular endurance after rehabilitation treatment in patients with lumbar spinal cord injury, which could be used as a supplement to the rehabilitation assessment methods for such patients.

【Key words】 incomplete spinal cord injury; surface electromyography; isokinetic muscle strength testing; muscle strength; muscle endurance; accurate evaluation

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合同 LG 字【2012】037 号);贵州省卫生厅科学技术基金项目(gzwmkj2011-1-103)

收稿日期:2017-07-10

作者单位:贵州医科大学附属医院康复医学科,贵阳 550004

作者简介:陈彦(1984-),女,主治医师,主要从事脊髓损伤康复方面的研究。

通讯作者:吴霜, wus212@sina.com

我国脊髓损伤年发病率为 23/100 万左右,四肢瘫(71.5%)远远超过截瘫(28.5%)患者^[1]。目前用于脊髓损伤精准定量评估的方法尚无定论^[2]。表面肌电测试和等速肌力测试在运动损伤、慢性疼痛康复评估中的应用已较为普遍,用于脑卒中、脊髓灰质炎等神经系统疾病的评估也有报道^[3-5],但同时联合两种技术用于不完全脊髓损伤的报道较少。我们将表面肌电测试和等速肌力评估联合用于不完全腰髓损伤患者康复治疗前后的精准量化评估,旨在了解这类患者康复治疗中下肢肌肉功能的变化情况。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择 2012 年 4 月~2015 年 6 月在贵州医科大学附属医院急诊骨科、脊柱骨科、康复科住院的外伤性脊髓损伤患者 55 例。均经 CT 或 MRI 确诊的外伤性脊髓损伤患者,且符合 2006 版美国脊柱损伤协会(American Spinal Injury Association, ASIA)脊髓损害分级 C~D 级^[6];所有患者均由临床科室完成前期治疗或手术,生命体征稳定;脊髓损伤平面均为 L₁~₃ 水平;并伴有下肢功能障碍;55 例分为 2 组,①观察组 27 例,男 16 例,女 11 例;年龄(38.19±10.15)岁;病程(41.81±8.67)d。②对照组 28 例,男 16 例,女 12 例;年龄(39.39±7.89)岁;病程(41.11±10.95)d。2 组患者一般资料比较差异无统计学意义。

1.2 方法 2 组均进行下肢徒手肌力训练、牵伸训练等常规康复训练,观察组增加等速肌力训练。①常规康复治疗:肌力 3 级以上的肌群采用 Delorme 法进行渐进性抗阻原则训练,每次 30min。每日 1 次,每周 5d。所有患者治疗由同组两位资深治疗师完成,并经过在课题之初即进行了治疗方案培训,以保证治疗方法的统一。②等速肌力训练:仪器选用 IsoMed2000 等速训练测试系统。患者取屈髋屈膝 90°端坐位于等速训练椅上,固定带固定躯干和训练侧肢体。训练包括肌力训练和肌耐力训练。肌力训练角速度选择^[7] 60°/s、90°/s、120°/s 三种运动速度,每种运动速度收缩 10 次,每训练完一种运动速度间歇 1min,共收缩 30 次为一个训练单位。每完成一个训练单位间歇 3min,逐渐增加收缩次数到 2~3 个训练单位/日,5 次/周。肌耐力训练角速度选择 180°/s,10 次/组,每组间歇 3min,2 组/次,2 次/周。

1.3 评定标准 ①表面肌电(surface electromyography, sEMG)测试:要求患者双膝关节从屈膝 90°位置,分别完成 3 次 60s 的最大用力伸膝、屈膝动作,检查者于踝部予以徒手抗阻,保证膝关节不发生活动,同时采集股直肌(rectus femoris, RF)、股二头肌(biceps femo-

ris, BF)的肌电积分值(Integrated EMG, iEMG)。3 次检测间隔 1min,取最大值作为观察指标。MegaWin3.0 软件处理截取 60s 最大等长收缩过程中 sEMG,收集平均功率频率值(mean power frequency, MPF)。MPF 下降程度反映肌肉疲劳程度,MPF 下降越多,提示肌肉疲劳程度越高。②等速肌力测试:受试者取屈髋屈膝 90°坐于等速测试椅上,肩部用仪器配备的绑带固定并穿过腰部以保证躯干稳定^[8]。足平置于脚踏板上,尼龙搭扣固定,固定带固定髋部及大腿。测试时让患者双手抱于胸前,避免产生代偿动作^[8-9]。测试肌群为双侧股四头肌、腓绳肌,肌力测试角速度选择 60°/s,测试 3 次,每次测试间隔 1min,共 3 次,峰力矩、峰力矩体重比取平均值^[10]。肌耐力测试选择角速度为 180°/s,测试 3 组,每组测试间隔 1min,每组 15 次,以最后 5 次作功量与最初 5 次作功量比值表示耐力比(endurance ratio, RO),3 组耐力比取平均值^[7]。③徒手肌力评定(Manual muscle testing, MMT):采用 Lovett 分级法^[11],检查时要求受试者在特定的体位下,分别在消除重力、抵抗重力和抗阻力的情况下评估肌力。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 16.0 统计分析软件包进行数据分析。计量资料采用以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间均数比较采用独立样本的 *t* 检验,组内均数比较采用配对样本的 *t* 检验,计数资料组间比较采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

治疗 3 个月后,2 组患者腓绳肌峰力矩体重比(H-PT/BW)、股四头肌峰力矩体重比(Q-PT/BW)、股二头肌肌电积分值(BF-iEMG)、股直肌肌电积分值(RF-iEMG)、腓绳肌耐力比(H-RO)、股四头肌耐力比(Q-RO)均较治疗前明显提高(均 $P < 0.01$),且观察组高于对照组($P < 0.01, 0.05$),见表 1~3。

治疗后,2 组股二头肌平均功率频率(BF-MPF)和股直肌平均功率频率(RF-MPF)均较治疗前明显降低(均 $P < 0.05$),且观察组下降幅度低于对照组(均 $P < 0.05$),见表 4。

治疗后,2 组股四头肌徒手肌力分级(H-MMT)、腓绳肌徒手肌力分级(Q-MMT)均较治疗前明显提高(均 $P < 0.05$),但 2 组间比较差异无统计学意义,见表 5。

表 1 2 组峰力矩体重比治疗前后比较 $N \times M/kg, \bar{x} \pm s$

组别	n	H-PT/BW		Q-PT/BW	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	27	0.42±0.19	1.08±0.33 ^{ab}	0.52±0.21	1.09±0.21 ^{ab}
对照组	28	0.40±0.14	0.81±0.25 ^a	0.50±0.21	0.87±0.21 ^a

与治疗前比较, ^a $P < 0.01$; 与对照组比较, ^b $P < 0.01$

表2 2组 iEMG 治疗前后比较

 $\mu\text{V}, \bar{x} \pm s$

组别	n	BF-iEMG		RF-iEMG	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	27	58.48±23.46	174.74±51.53 ^{ab}	87.48±29.24	246.67±59.33 ^{ab}
对照组	28	58.21±26.44	132.64±55.56 ^a	79.85±39.10	180.11±70.82 ^a

与治疗前比较,^a $P<0.01$;与对照组比较,^b $P<0.01$

表3 2组 RO 治疗前后比较

%, $\bar{x} \pm s$

组别	n	H-RO		Q-RO	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	27	66.75±17.16	86.73±13.79 ^{ac}	66.85±11.89	89.13±8.93 ^{ab}
对照组	28	67.41±16.87	77.12±16.29 ^a	65.56±12.90	76.87±13.09 ^a

与治疗前比较,^a $P<0.01$;与对照组比较,^b $P<0.01$,^c $P<0.05$

表4 2组 MPF 治疗前后比较

Hz, $\bar{x} \pm s$

组别	n	BF-MPF		RF-MPF	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	27	76.07±13.58	56.96±11.47 ^{ab}	74.59±12.76	57.07±10.10 ^{ab}
对照组	28	75.32±12.56	52.89±11.71 ^a	74.11±12.06	51.71±9.76 ^a

与治疗前比较,^a $P<0.01$;与对照组比较,^b $P<0.05$

表5 2组 MMT 治疗前后比较

级, $\bar{x} \pm s$

组别	n	H-MMT		Q-MMT	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
观察组	27	3.56±0.51	4.63±0.49 ^a	3.52±0.48	4.63±0.49 ^a
对照组	28	3.54±0.51	4.43±0.57 ^a	3.54±0.51	4.39±0.63 ^a

与治疗前比较,^a $P<0.01$

3 讨论

脊髓损伤后,损伤平面以下的肌肉将很快发生明显的肌肉萎缩^[12],损失程度可达18%~46%^[13],对肌力和肌耐力均产生不良影响。不完全脊髓损伤患者经过康复治疗提高下肢运动功能,进而提高整体步行功能是康复治疗的重点。下肢关键肌的肌力和肌耐力是反映下肢运动功能的重要指标。准确可靠的评估结果可帮助进行康复功能诊断、制定康复计划和了解康复进展。美国脊髓损伤协会推荐利用徒手肌力测试进行SCI患者肌力的评估^[14]。MMT将肌肉力量分为正常、良好、尚可、差、微弱、无收缩6个等级,具有无需设备、操作简单的优点,广泛用于肌肉骨骼系统疾病和神经系统疾病的肌力评估。该检查的缺点是易受被检查者的合作程度、疲劳程度、检查程序的规范程度和个人经验影响,国外学者认为将力量谱量化为肌肉等级是一种相对不灵敏的测量力量变化的方法^[15]。除此之外,MMT不能反映耐力。Noreau^[16]研究显示在不完全脊髓损伤患者肌力评定方法的选择上,徒手肌力评定具有明显的天花板效应,灵敏度欠佳,评分者间信度较低,在肌力分级3级以上时尤为明显。Ansersen等^[17]研究发现,MMT较等速肌力测试而言,不能敏感地发现患者肌力的减弱。本研究纳入的患者均为ASIA分级C级和D级的患者,下肢关键肌肌力在治

疗前多在3级及以上。2组患者治疗后表面肌电测试和等速肌力测试结果均较治疗前改善,观察组改善更佳;而徒手肌力评定结果在数值上观察组较对照组增加,但差异无统计学意义,与Noreau^[16]的研究一致。Galen等^[18]运用峰力矩测定下肢机器人治疗不完全脊髓损伤后的下肢肌力,显示峰力矩较徒手肌力评估和ASIA运动功能评估更敏感,尤其是4级及以上的肌力。本研究两组患者治疗3个月后下肢膝关节屈伸肌群等主要肌群肌力多已达到4级及以上,股四头肌和腓绳肌峰力矩体重比和肌电积分值均显示明显改善,提示表面肌电测试和等速肌力评估更能敏感地体现康复治疗后肌力的变化,与Galen等^[18]的研究结论一致。

本研究显示两组患者治疗后股四头肌和腓绳肌肌力峰力矩、峰力矩体重比和肌电积分值均较治疗前改善,观察组改善更佳。峰力矩、峰力矩体重比是在30°/s~60°/s的角速度下进行的慢等速测试,由于此时加载于肢体的运动负荷较大,关节运动速度慢,常被用于评估最大动态肌力。前者用于同一受试对象不同时间点的比较,后者可用于不同受试对象之间的横向比较。肌电积分值是一定时间内肌肉中参与活动的运动单位的放电总量,反映运动单位数量的多少和每个运动单位的放电大小,与肌力密切相关^[19-20]。本研究提示观察组在常规康复治疗基础上增加了等速肌力训练,对其下肢肌力的提升优于进行徒手肌力训练的对照组。

在提高肌力的基础上,具备一定的肌肉耐力是完成功能性活动的前提和基础。对于不完全脊髓损伤患者而言,最终训练目标是完成社区功能性步行。本课题前期研究结果显示等速运动训练可显著改善不完全脊髓损伤患者的下肢肌耐力和社区步行能力^[21],因而肌耐力训练也是康复治疗的重要内容之一。本研究中两组患者治疗后肌耐力比值和平均功率频率均较治疗前改善,观察组改善更好。采用180°/s的关节运动角速度下进行的快速等速测试,由于加载于肢体的运动负荷阻力较小,关节运动速度快,常用于评估肌肉耐力。平均功率频率是某个时间点,所有参与活动的肌电信号的快速傅里叶变换结果-功率谱,功率的平均值所对应的频率值,其大小与外周运动单位动作电位传导速度,参与活动的运动单位类型以及同步化程度有关,是判断肌肉疲劳度的常用指标。本研究显示常规康复治疗 and 等速肌力训练均能提高不完全脊髓损伤患者下肢的肌耐力,而等速肌耐力训练的疗效更佳。

精准量化的脊髓损伤评估方法,有利于进一步了解患者的功能状况和帮助制定更有针对性的康复治疗

方案。用于脊髓损伤功能量化评估的工具具有体感诱发电位^[22]、运动诱发电位^[23]、电感觉阈值^[22,24]、肌电图和用于四瘫的肌力、感觉和抓握能力分级重定义评估等^[25-26]。国外研究显示^[2],上述检查用于脊髓损伤量化评估的信度和预测效度的证据仍不充足。针对下肢功能量化评估的工具仍在探索中。

本研究显示,等速肌力测试和表面肌电测试能敏感地反映康复治疗后肌力和肌耐力的变化,能弥补徒手肌力测试具有天花板效应和不能反映肌耐力的不足。同时,上述两种测试能提供反应肌肉状态的精准量化数据,可为指导康复治疗方案的制定提供依据。除本研究中提到的评估项目外,等速肌力测定还可通过屈伸肌力矩比反映主动肌和拮抗肌肌力的平衡情况,反映关节的稳定性。本研究样本量较少,观察周期较短,下一步需扩大样本量,增加观察肌群,利用表面肌电进行功能性活动,观察不完全脊髓损伤患者下肢运动功能在康复治疗过程中的动态变化规律等。

【参考文献】

- [1] Ning GZ, Yu TQ, Feng SQ, et al. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Tianjin, China[J]. *Spinal Cord*, 2011,49(3): 386-390.
- [2] Boakye M, Harkema S, Ellaway PH, et al. Quantitative testing in spinal cord injury: overview of reliability and predictive validity [J]. *J Neurosurg Spine*, 2012,17(1):141-150.
- [3] Lexell J, Flansbjer UB, Brogårdh C. Isokinetic assessment of muscle function: Our experience with patients afflicted with selected diseases of the nervous system[J]. *Isokinetics and Exercise Science*, 2012,20(4):267-273.
- [4] Flansbjer UB, Holmbäck AM, Downham D, et al. What change in isokinetic knee muscle strength can be detected in men and women after stroke[J]? *Clin Rehabil*, 2005,19(5):514-522.
- [5] Flansbjer UB, Lexell J. Reliability of knee extensor and flexor muscle strength measurements in persons with late effects of polio [J]. *J Rehabil Med*, 2010,42(6):588-592.
- [6] Tuszynski MH, Steeves JD, Fawcett JW, et al. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: clinical trial design[J]. *Spinal Cord* 2007,45(3): 232-242.
- [7] 吴毅. 等速肌肉功能测试和训练技术的基本原理和方法[J]. *中国康复医学杂志*, 1999,10(1):44-47.
- [8] Callaghan MJ, McCaerthy CJ, Al-Omar A, et al. The reproducibility of multi-joint isokinetic and isometric assessments in a healthy and patient population[J]. *Clinical Biomechanics*, 2000, 15(9):678-683.
- [9] Gür H, Akova B, Küçükoglu S. Continuous versus separate isokinetic test protocol: The effect of estradiol on the reproducibility of concentric and eccentric isokinetic measurements in knee muscles[J]. *Arch of Phys Med Rehabil*, 1999,80(9):1024-1029.
- [10] 吴毅. 等速肌肉功能测试和训练技术的临床应用[J]. *中国康复医学杂志*, 1999,14(2):92-95.
- [11] Herbison GJ, Isaac Z, Cohen ME, et al. Strength post-spinal cord injury: myometer vs manual muscle test[J]. *Spinal Cord*, 1996,34(9):543-548.
- [12] Dudley-Javoroski S, Shields RK. Muscle and bone plasticity after spinal cord injury: Review of adaptations of disuse and to electrical muscle stimulation[J]. *JRRD*, 2008,45(2):283-296.
- [13] Giangregorio L, Mc Cartney N. Bone loss and muscle atrophy in spinal cord injury: epidemiology, fracture prediction, and rehabilitation strategies[J]. *J Spinal Cord Med*, 2006,29(5):489-500.
- [14] Kirshblum SC, Burns SP, Bieringsorensen F, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury, revised 2011[J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2012,34(6):85-99.
- [15] Escolar DM, Henricson EK, Mayhew J, et al. Clinical evaluator reliability for quantitative and manual muscle testing measures of strength in children[J]. *Muscle & Nerve*, 2001,24(6):787-793.
- [16] Noreau L, Vachon J. Comparison of three methods to assess muscular strength in individuals with spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 1988,36(10):716-723.
- [17] Andersen H, Jakobsen J. A comparative study of isokinetic dynamometry and manual muscle testing of ankle dorsal and plantar and knee extensors and flexors[J]. *European Neurology*, 1997,37(4):239-242.
- [18] Galen SS, Clarke CJ, Mclean AN, et al. Isometric hip and knee torque measurements as an outcome measure in robot assisted gait training[J]. *Neurorehabilitation*, 2014,34(2):287-295.
- [19] Klein CS, Peterson LB, Ferrell S, et al. Sensitivity of 24-h EMG duration and intensity in the human vastus lateralis muscle to threshold changes[J]. *J Appl Physiol*, 2010,108(3):655-661.
- [20] Yavuz US, Negro F, Sebik O, et al. Estimating reflex responses in large populations of motor units by decomposition of the high-density surface electromyogram[J]. *J Physiol*, 2015,593(19): 4305-4318.
- [21] 吴霜,刘春风,楚兰,等. 等速运动训练对不完全脊髓损伤患者肌耐力和社区步行的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016,38(12):900-903.
- [22] Kramer JK, Taylor P, Steeves JD, et al. Dermatome somatosensory evoked potentials and electrical perception thresholds during recovery from cervical spinal cord injury[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2010,24(4):309-317.
- [23] Wirth B, Hedel HJ, Curt A. Changes in corticospinal function and ankle motor control during recovery from incomplete spinal cord injury[J]. *J Neurotrauma*, 2008,25(5):467-478.
- [24] Leong GW, Lauschke J, Rutowski SB, et al. Age, gender, and side differences of cutaneous electrical perceptual threshold testing in an able-bodied population[J]. *J Spinal Cord Med*, 2010,33(3):249-255.
- [25] Kalsi-Ryan S, Curt A, Verrier MC, et al. Development of the graded redefined assessment of strength, sensibility and prehension (GRASSP): reviewing measurement specific to the upper limb in tetraplegia[J]. *J Neurosurg Spine*, 2012,17(1):65-76.
- [26] Velstra IM, Curt A, Frotzler A, et al. Changes in strength, sensation, and prehension in acute cervical spinal cord injury: European multicenter responsiveness study of the GRASSP[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2015,29(8):755-766.