

· 临床研究 ·

C₅ 和 C₆ 水平脊髓损伤患者在伸肘活动中 上肢和躯干肌肉的肌电活动分析

刘颖 李建军 华桂茹

【摘要】目的 探讨 C₅₋₆ 水平脊髓损伤 (SCI) 患者上肢和躯干的残存肌对伸肘功能的代偿方式。方法 采用表面电极记录 15 例 C₅₋₆ 水平 SCI 患者 (SCI 组) 和 15 例正常人 (对照组) 在抓取杯子、触摸开关、前驱轮椅和利用上肢支撑体重 4 项伸肘活动中三角肌前部、中部、后部以及肱三头肌、肱二头肌、胸大肌上部、前锯肌及背阔肌的肌电活动情况,并以最大用力收缩的百分比来表示肌肉的相对肌电图 (EMG) 强度。**结果** 2 组受试者完成每项动作都是多种肌肉共同参与的结果;但在同一项动作中的主要作用肌有所不同,且 SCI 组的主要作用肌较对照组多;SCI 患者的残存肌对不同动作的代偿方式亦有不同。**结论** C₅₋₆ 水平 SCI 患者采用与正常人不同的神经肌肉募集方式完成伸肘活动,并通过改变代偿方式完成不同的运动任务。

【关键词】 脊髓损伤; 伸肘; 表面肌电图; 肱三头肌

Electromyographic analysis of upper limbs and trunk during elbow extension activities in C₅ and C₆ SCI patients LIU Ying*, LI Jian-jun, HUA Gui-ru. * Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Peking Union Medical College Hospital, Beijing 100730, China

【Abstract】Objective To explore how the spared muscles in upper limbs and trunk compensated for elbow extension movements in patients with SCI at the level of C₅ and C₆. **Methods** Fifteen patients with SCI at the level of C₅ and C₆ and fifteen healthy subjects were divided into an SCI group and a control group respectively. The surface EMG recorded from the anterior deltoid, middle deltoid, posterior deltoid, triceps brachii muscle, biceps brachii muscle, upper pectoralis, serratus anterior and latissimus dorsi during four elbow extension activities including grasping cup, reaching for light-switch, wheelchair ambulation and upper limb weight-bearing. The relative EMG intensities of muscles were expressed as a percentage of maximal voluntary contraction. **Results** Several muscles participated in the activity simultaneously when both groups of subjects performed every motor task. But the primary muscles involved in the movements were different between the two groups. Furthermore, the SCI group tended to employ more muscles than the controls to perform a activity. The compensatory strategies used in various motor tasks by the spared muscles were different. **Conclusion** The motoneuron recruitment patterns used by the C₅₋₆ SCI patients in performing elbow extension activities could be different from those by the healthy subjects. The patients accomplished performing different motor tasks by changing their compensatory strategies.

【Key words】 Spinal cord injury; Elbow extension; Surface electromyogram (SEMG); Triceps brachii muscle

在脊髓损伤 (spinal cord injury, SCI) 中四肢瘫所占的比例约为 55%, 其中一半是 C₅ 和 C₆ 水平的损伤^[1], 此水平损伤后由于肱三头肌瘫痪会出现主动伸肘困难, 因此 C₅₋₆ SCI 患者的上肢功能重建问题一直是康复医学的研究重点。Moberg^[2] 尝试通过腱移植手术将三角肌后部纤维转移到肱三头肌腱上来改善伸肘功能。Miller 等^[3] 应用功能性神经肌肉电刺激治疗使 C₅₋₆ 水平 SCI 患者重新获得伸肘能力。但对于如何更好地利用残存肌来代偿伸肘动作, 目前的研究尚不充分。

本研究通过记录 C₅₋₆ 水平 SCI 患者在伸肘活动中上肢和躯干的肌电活动, 探讨此类患者在肱三头肌瘫

痪的情况下, 上肢和躯干的残存肌对伸肘动作的代偿机制以及在不同运动任务中代偿方式的差异, 以期康复医师制定康复治疗方提供有益的帮助。

资料与方法

一、临床资料

研究对象分为 SCI 组与对照组, 每组 15 例。SCI 组为中国康复研究中心脊柱脊髓外科和 SCI 后期康复科收治的 C₅ 或 C₆ 水平的 SCI 患者, 其中男 14 例, 女 1 例; 损伤水平为 C₅ 者 5 例, C₆ 者 10 例; 肱三头肌徒手肌力检查 (manual muscle test, MMT) 评分为Ⅲ级者 7 例, Ⅱ级 8 例; Frankel 分级^[4] 为 A 级者 7 例, B 级 3 例, C 级 4 例, D 级 1 例。对照组受试者为患者的陪护人员或在北京博爱医院实习的大学生, 入组条件为无

作者单位: 100730 北京, 中国医学科学院中国协和医科大学北京协和医院物理医学康复科 (刘颖、华桂茹); 中国康复研究中心北京博爱医院脊柱脊髓外科 (李建军)

上肢关节、肌肉疾患的正常人,其中男 14 例,女 1 例。2 组受试者基本情况见表 1,其年龄、身高、体重相比,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。测试前对所有受试者右侧肩、肘、腕、手关节进行检查,均排除关节病变,并除外任何可能影响测试结果的身体和心理异常。

表 1 SCI 组与对照组的一般情况比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)
SCI 组	15	38.13 $\pm$ 11.28	173.93 $\pm$ 3.65	69.07 $\pm$ 8.25
对照组	15	33.73 $\pm$ 8.88	171.87 $\pm$ 4.36	67.97 $\pm$ 7.88

二、动作设计

参照四肢瘫功能指数量表^[4],设计出 4 项包含伸肘活动的动作,即抓取杯子、触摸开关、前驱轮椅、支撑体重。完成每项动作的具体要求如下。

1. 抓取杯子:于受试者正前方放一张高度可调的作业治疗桌,其右上肢的初始位置为肩关节保持中立位,肘关节屈曲 80°,右手自然伸展、掌心向下置于桌面上,躯干及左上肢固定于轮椅靠背上。将一直径约 6 cm 的圆柱形塑料口杯放在桌面上,其与肩峰正前方的水平距离为右上肢长度 - 5 cm。测试时要求受试者尽可能快速、准确地伸直肘关节用手抓取杯子,但不要将杯子拿起。

2. 触摸开关:受试者右侧肢体及轮椅扶手平行靠近墙壁,开关位于墙壁上,距离受试者右侧肩峰前方 56 cm、侧方 13 cm 处,距地面的垂直高度为 142 cm。受试者初始位置为右手自然伸展、掌心向下置于轮椅扶手上,右肘关节屈曲约 70°,右肩关节保持中立位,躯干及左上肢的位置同抓取杯子动作。测试时要求受试者尽可能快速、准确地伸手触摸开关。

3. 前驱轮椅:受试者初始位置为双肩关节后伸约 10°,双手握标准轮椅的手轮圈。测试时要求其在水平面上尽力向前驱动轮椅。

4. 支撑体重:受试者初始位置为双肩关节保持中立位,双手握轮椅手轮圈。测试时要求其利用双上肢支撑体重将臀部抬离座椅,尽量抬高并保持 2 s。

三、测试方法

1. 电极安放:受试者坐于轮椅上,根据表面肌电图仪(美国 Noraxon 公司)所指定的电极安放位置结合 MMT 技术或体表解剖知识确定 8 种待测肌肉(包括右侧背阔肌、前锯肌、胸大肌上部、三角肌前部、三角肌中部、三角肌后部、肱二头肌及肱三头肌)的电极安放部位。先后用 75% 酒精和干纱布擦拭预置电极部位的皮肤,再将直径 11 mm 的圆盘形自粘性银/氯化银电极双极放在每一待测肌肉的肌腹隆起处,并在肘部安放一直径约 26 mm 的参考电极。

2. 最大用力收缩:对所有待测肌肉进行 MMT 评

分,嘱受试者持续最大用力 3 s 分别完成上述肌肉的主动收缩,记录相关肌肉的 MMT 分级,同时以表面肌电图(surface electromyography, SEMG)仪记录这些肌肉在最大用力收缩(maximal voluntary contraction, MVC)时的肌电活动强度。每一肌肉重复测试 3 次,每次之间间歇 1 min。以每种待测肌肉 3 次用力收缩时产生的平均 EMG 信号强度最大的 1 次作为该肌最大用力收缩时的 EMG 信号强度。

3. 动作测试:受试者按照从抓取杯子→触摸开关→前驱轮椅→支撑体重的顺序完成上述 4 项日常生活活动动作,同时以 SEMG 仪记录被测肌肉的肌电活动情况,每项动作重复 3 次,选择最符合动作要求的 1 次进行分析,以每项动作起点和终点之间的一段时间内肌肉平均 EMG 信号强度占该肌最大用力收缩时 EMG 信号强度的百分比(% MVC)来表示肌肉在动作完成过程中的相对 EMG 强度,即肌肉的活动水平^[5]。

4. 肌电图分析:利用软件 Myoviedo1.5 对肌电信号进行分析处理。

四、统计学分析

采用 SPSS 11.5 版统计软件包对数据进行统计学处理,采用单因素方差分析比较每组中各肌肉的相对 EMG 强度, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

比较每组受试者完成各项动作时各被测肌的相对 EMG 强度,结果显示:

在抓取杯子的动作中,对照组肱三头肌的相对 EMG 强度较其它 7 种被测肌显著增大($P < 0.01$);三角肌前部的相对 EMG 强度显著大于三角肌后部、肱二头肌、前锯肌和胸大肌($P < 0.01$);背阔肌的相对 EMG 强度显著大于肱二头肌、三角肌中部、三角肌后部、胸大肌和前锯肌($P < 0.01$);胸大肌和肱二头肌的活动水平相对较低,两者与三角肌中部、前锯肌、背阔肌、肱三头肌和三角肌前部相比均显著减小,差异有统计学意义($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$)。SCI 组肱三头肌的相对 EMG 强度显著大于三角肌、肱二头肌、前锯肌和背阔肌($P < 0.01$),与胸大肌相比差异无统计学意义($P > 0.05$);肱二头肌的相对 EMG 强度明显小于其它肌肉($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$);胸大肌的相对 EMG 强度显著大于前锯肌($P < 0.05$)。见表 2。

在触摸开关的动作中,对照组肱三头肌的相对 EMG 强度明显大于三角肌后部、肱二头肌、前锯肌、背阔肌和胸大肌($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$);三角肌中部的相对 EMG 强度明显大于三角肌后部、肱二头肌、前锯肌和胸大肌($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$);三角肌前部和背阔肌的相对 EMG 强度亦明显大于三角肌后部、肱二头

表 2 2 组在各项伸肘活动中各被测肌肉相对 EMG 强度比较(%, $\bar{x} \pm s$)

组 别	例数	被测肌肉相对 EMG 强度							
		三角肌前部	三角肌中部	三角肌后部	肱三头肌	肱二头肌	胸大肌	前锯肌	背阔肌
SCI 组	15								
抓取杯子		56.82 ± 16.68	58.20 ± 29.57	59.68 ± 32.43	90.57 ± 15.12	29.62 ± 30.55	72.61 ± 32.28	49.94 ± 19.65	61.82 ± 36.40
触摸开关		83.92 ± 13.48	87.00 ± 13.79	61.51 ± 30.87	93.62 ± 12.63	42.55 ± 34.20	78.94 ± 30.86	81.42 ± 28.28	72.95 ± 37.89
前驱轮椅		47.68 ± 28.12	51.85 ± 35.15	65.50 ± 31.67	89.49 ± 19.14	47.52 ± 36.31	77.22 ± 29.11	65.14 ± 33.97	84.59 ± 26.04
支撑体重		48.99 ± 27.14	53.77 ± 34.28	70.02 ± 34.30	94.05 ± 13.48	41.22 ± 33.86	78.23 ± 32.06	74.35 ± 31.43	81.57 ± 20.63
对照组	15								
抓取杯子		29.27 ± 6.61	22.80 ± 10.05	17.36 ± 8.29	67.08 ± 17.87	12.11 ± 4.64	11.85 ± 5.38	19.38 ± 8.34	35.77 ± 11.75
触摸开关		54.61 ± 17.07	59.85 ± 21.35	33.95 ± 21.61	67.17 ± 18.23	14.34 ± 12.28	28.79 ± 34.03	43.30 ± 19.66	51.38 ± 18.26
前驱轮椅		26.71 ± 23.67	21.47 ± 18.95	37.48 ± 23.07	72.20 ± 22.30	13.28 ± 11.58	23.47 ± 29.92	23.43 ± 13.90	24.15 ± 8.31
支撑体重		21.98 ± 21.34	16.72 ± 16.86	47.11 ± 18.69	86.58 ± 13.00	9.75 ± 5.17	26.03 ± 28.55	25.06 ± 13.60	74.75 ± 12.86

肌和胸大肌($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$); 肱二头肌与前锯肌和三角肌后部相比, 相对 EMG 强度较小, 差异具有统计学意义($P < 0.01$ 或 < 0.05)。SCI 组肱三头肌的相对 EMG 强度显著大于三角肌后部、肱二头肌和背阔肌($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$); 三角肌前部、三角肌中部及前锯肌的相对 EMG 强度显著大于三角肌后部($P < 0.05$); 肱二头肌的相对 EMG 强度与三角肌后部相比差异无统计学意义, 与其它肌肉比较均明显减小($P < 0.01$)。见表 2。

在前驱轮椅的动作中, 对照组肱三头肌的相对 EMG 强度明显大于其它肌肉($P < 0.01$); 三角肌后部与三角肌中部和肱二头肌相比, 其相对 EMG 强度也较大, 差异具有统计学意义($P < 0.05$ 或 < 0.01)。SCI 组肱三头肌的相对 EMG 强度明显大于三角肌、肱二头肌和前锯肌($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$); 胸大肌和背阔肌的相对 EMG 强度显著大于三角肌前部、三角肌中部和肱二头肌($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。见表 2。

在支撑体重的动作中, 对照组肱三头肌和背阔肌的相对 EMG 强度明显高于三角肌、肱二头肌、胸大肌和前锯肌($P < 0.01$); 三角肌后部的相对 EMG 强度显著大于三角肌前部、三角肌中部、肱二头肌、胸大肌和前锯肌($P < 0.01$); 胸大肌和前锯肌的相对 EMG 强度明显大于肱二头肌($P < 0.05$)。SCI 组肱三头肌的相对 EMG 强度显著大于三角肌和肱二头肌($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$); 胸大肌和背阔肌的相对 EMG 强度显著大于三角肌前部、三角肌中部和肱二头肌($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$); 前锯肌的相对 EMG 强度与三角肌前部及肱二头肌相比明显增大($P < 0.05$ 或 < 0.01); 三角肌后部的相对 EMG 强度亦大于肱二头肌, 差异具有统计学意义($P < 0.01$)。其余各肌相比, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

讨 论

由 C_7 支配的肱三头肌被认为是主要的伸肘肌^[3]。肱三头肌瘫痪将导致主动伸肘功能的缺失。尽管如

此, 一些 $C_5 \sim 6$ 水平 SCI 患者仍能够完成一些与伸肘有关的日常生活活动。探讨这些患者如何通过残存肌代偿其残损, 并以此来指导患者进行正确的康复训练是非常重要的。

本研究发现, 在完成同一项伸肘动作时, 2 组受试者参与动作的主要肌肉有所不同, SCI 组的主要作用肌比对照组多。在抓取杯子的动作中, 正常人主要的发力肌是肱三头肌、背阔肌和三角肌前部纤维; SCI 患者除了肱三头肌外, 胸大肌亦成为其主要的发力肌, 背阔肌、三角肌和前锯肌也较活跃。在触摸开关的动作中, 正常人肱三头肌的动员水平最高, 其次为三角肌中部, 再次是三角肌前部和背阔肌; SCI 患者除了上述肌肉, 其前锯肌、胸大肌也非常活跃。肱三头肌是正常人前驱轮椅时的主要作用肌, 三角肌后部也相对活跃, 其它几种肌肉的活动水平则较低; SCI 患者在该动作中, 其肱三头肌、背阔肌和胸大肌均非常活跃, 三角肌后部和前锯肌的活动水平也较高。在支撑体重的动作中, 正常人肱三头肌和背阔肌最为活跃, 其次是三角肌后部; 而 SCI 患者除此之外, 还要更多地动员胸大肌和前锯肌。以上结果提示在动作过程中增加起主要作用肌肉的数量是 $C_5 \sim 6$ 水平 SCI 患者代偿其肱三头肌缺失的一个途径。尽管在完成各项伸肘动作的过程中, 2 组受试者肱三头肌的活动水平相比其它被测肌肉来说, 几乎都是最高的, 但实际意义却不尽相同。在对照组中, 肱三头肌的相对 EMG 强度最大, 提示正常情况下该肌在这 4 项伸肘活动中均是最主要的发力肌。而在 SCI 组中, 肱三头肌的相对 EMG 强度最大, 只说明在肱三头肌力弱的情况下, SCI 患者为了努力完成运动任务, 最大限度地动员了该肌。除此之外, 还需依靠增加主要作用肌的数量来代偿其功能缺陷。

本研究中, 无论是正常人还是 SCI 患者, 每项动作的完成都是多种肌肉共同作用的结果, 只是 SCI 患者比正常人动用的肌肉数量更多, 水平更高。这种多种肌群共同参与一项运动任务的现象可以用神经肌肉的冗余

性来解释。或许我们也可以模仿骨骼肌系统的协同肌而提出一种“任务组”的概念,即认为运动单位很可能属于一个冗余的神经肌肉系统内的特殊功能组群,该功能组群的激活是由所要进行的运动任务来决定的。在 C₅₋₆ 水平 SCI 患者中,由于肱三头肌减弱,生物力学优势丧失,神经系统有可能会根据动作任务和运动方向的不同有选择地动员任务组中的一部分肌肉或将这些肌肉联合起来共同完成伸肘动作,即通过增加任务组中主要作用肌的数量来代偿肱三头肌力量的不足。此研究结果的临床意义是应注意加强任务组中其它残存肌的力量训练来代偿某主要肌肉的功能缺失。

另外,SCI 患者的残存肌对不同运动任务的代偿方式也有所不同。其中胸大肌和前锯肌可在 C₅₋₆ 水平 SCI 患者的多项伸肘活动中发挥较大的潜力;背阔肌、三角肌前部、三角肌中部及三角肌后部也分别在不同的伸肘动作中发挥大小不等的代偿作用;肱二头肌的作用相对小一些,但除了抓取杯子的动作,它在其它 3 项动作中也有不小的作用。这些研究发现提示,在 C₅₋₆ 水平 SCI 患者的康复治疗中应特别注意加强这些残存肌尤其是胸大肌和前锯肌的力量训练,而且针对不同的活动障碍要制定不同的治疗方案,以专门提高某些肌肉的力量。例如对前驱轮椅有困难的 C₅₋₆ 水平 SCI 患者,需要加强肱三头肌、背阔肌、胸大肌、三角肌后部和前锯肌的力量训练,而对于抓取杯子有困难的患者,则除了锻炼上述肌肉之外,还要注意加强三角肌前部和中部的力量训练。

值得一提的是,本研究仅测试了 8 种肌肉,其它如肩胛下肌、喙肱肌等是否也有可能在伸肘活动中发挥积极作用,有待于通过进一步的研究来确定。

综上所述,C₅₋₆ 水平 SCI 患者采用与正常人不同的神经肌肉募集方式来代偿其残损,以完成伸肘活动。并且在不同的动作中所采用的代偿方式也不同。因此我们可以根据 SEMG 检测报告来制定和优化康复治疗方

参 考 文 献

- [1] Allison GT, Singer KP, Marshall RN. Transfer movement strategies of individuals with spinal cord injury. *Disabil Rehabil*, 1996, 18:35-41.
- [2] Moberg E. Surgical treatment for absent single-hand grip and elbow extension in quadriplegics: principles and preliminary experience. *J Bone Joint Surg Am*, 1975, 57: 196-206.
- [3] Miller LJ, Peckham PH, Keith MW. Elbow extension in the C₅ quadriplegic using functional neuromuscular stimulation. *IEEE Trans Biomed Eng*, 1989, 36:771-780.
- [4] 缪鸿石,主编. 康复医学理论与实践. 上海:上海科学技术出版社, 2000:1433,1437-1443.
- [5] Gronley JK, Newsam CJ, Mulroy SJ, et al. Electromyographic and kinematic analysis of the shoulder during four activities of daily living in men with C₆ tetraplegia. *J Rehabil Res Dev*, 2000, 37:423-432.

(修回日期:2007-08-27)

(本文编辑:松 明)

强度-时间曲线在周围神经损伤康复评定中的应用价值

陈银海 姚红华 杨忠

【摘要】目的 探讨强度-时间(I/T)曲线对周围神经损伤康复评定的价值和意义。**方法** 周围神经损伤患者 649 例,采用 PC-88I 型程控神经肌肉诊疗仪测定强度-时间曲线共 1 458 条。**结果** 正常 100 例,部分变性 415 例,完全变性 134 例,阳性率为 84.59%;所检测的 1 458 条 I/T 曲线中,正常曲线 372 条,部分变性 776 条,完全变性 310 条,阳性率为 74.48%;神经干性损伤的电诊断及 I/T 曲线的阳性率明显高于神经根性损伤($P < 0.05$)。**结论** I/T 时间曲线测定对周围神经损伤康复评定具有一定的价值和意义,但神经干性损伤阳性率明显高于神经根性损伤。

【关键词】 周围神经损伤; 强度-时间曲线; 电诊断

周围神经常因外伤、感染、受压、缺血等引起损伤和神经变性,从而导致运动、感觉功能障碍。强度-时间(intensity-time, I/T)曲线是一种无创、客观可靠的电生理检测技术,对周围神经损伤的诊治和康复评定具有一定的价值。近年来,我们对 649 例周围神经损伤患者进行了 I/T 曲线检测,现报道如下。

资料与方法

一、临床资料

根据《临床疾病诊断依据治愈好转标准》^[1]确诊的周围神经损伤患者 649 例,其中男 342 例,女 307 例;年龄 22 ~ 68 岁,平均(39.6 ± 18.7)岁;周围性面瘫 204 例,腰椎间盘突出症所致脊神经损伤 111 例,颈椎病所致脊神经损伤 123 例,尺神经损伤 75 例,桡神经损伤 78 例,腓总神经损伤 58 例。根据神经支配情况每条神经各选择 2 ~ 3 块肌肉进行检查,共测定 I/T 曲线 1 458 条。

二、方法

采用桂林产 PC-88I 型程控神经肌肉诊疗仪,单极法,作用极为点状电极,直径 0.5 cm,辅极置相应部位,选择方波脉冲