# 拧螺丝作业力学负荷与肌电特征的相关性

王未来[1]，姚三巧[1]，李玉珍[2]，贾宁[2]，张雪艳[2]，李明艳[1]，王忠旭[2]

（1. 河北联合大学公共卫生学院劳动与环境卫生教研室，河北 唐山 063000；2. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所，北京 100050）

**摘要：目的** 通过模拟不同力学负荷下的拧螺丝作业，探讨力学负荷与局部肌肉肌电特征的相关性。**方法** 选择 7 名男性青年志愿者，采用表面肌电描记（surface electromyography，sEMG）技术，测试在不同力学负荷下用扭矩扳手模拟拧螺丝作业时局部肌肉的 sEMG，并对其标化后进行统计分析。**结果** 拧螺丝作业的力学负荷分别与肱三头肌（triceps brachii，TB）、肱桡肌（brachioradialis，BR）和肱二头肌（biceps brachii，BB）的三项 sEMG 指标包括均方根值（root mean square，RMS）、积分肌电值（intergrate EMG，IEMG）和最大振幅（maximum amplitude，MA）均呈正相关（$P$ 均 $< 0.05$）。其中，力学负荷与 TB 的 RMS、IEMG 和 MA 关联（相关系数分别为 0.994、0.997 和 0.998）较强，且 $P$ 值均 $< 0.01$。**结论** 在拧螺丝作业活动中，TB、BR 和 BB 三块肌肉的三项 sEMG 指标（包括 RMS、IEMG 和 MA）的变化可反映力学负荷大小，其中 TB 更具有代表性。

**关键词：力学负荷；表面肌电描记（sEMG）；相关性**

**中图分类号：** R135 **文献标识码：** A **文章编号：** 1002 - 221X(2014)03 - 0166 - 04 **DOI:** 10.13631/j.cnki.zggyyx.2014.03.002

## Study on the correlation between mechanical load and characteristics of EMG by simulating screw work

WANG Wei-lai*, YAO San-qiao, LI Yu-zhen, JIA Ning, ZHANG Xue-yan, LI Ming-yan, WANG Zhong-xv

(*. *Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Hebei United University, Tangshan* 063000, *China*)

**Abstract: Objective** To study the correlation between mechanical load and local myloelectric activity by simulating screw work. **Methods** Seven young male volunteers were selected to simulate the screw works with different loads by torque wrench. Their the local activities were detected separately by surface electromyography (sEMG) and analyzed after normalizing by SSPS18.0 software. **Results** There were some positive correlations between mechanical loads and sEMG indices such as root mean square (RMS), intergrate EMG (IEMG) and maximum amplitude (MA) of local muscles whether the triceps brachii (TB), the brachioradialis (BR) or the biceps brachii (BB) ($P < 0.05$), especially TB, the correlation coefficients of mechanical loads with root mean square (RMS), intergrate (IEMG) or maximum amplitude (MA) reached 0.994, 0.997 and 0.998, respectively. **Conclusion** During screw work there are three valuable sEMG indicators: RMS, IEMG and MA may reflect the mechanical load, especially the TB which is more representative.

**Key words:** mechanical load; surface electromyography (sEMG); correlation

工作相关肌肉骨骼损伤（work-related musculoskeletal disorders，WMSDs）已成为职业安全和健康亟待解决的重要问题[1]。随着科技发展，低负荷、高重复性作业不断增加，由此导致 WMSDs 发生率也越来越高，在国外已成为职业性危害索赔中的主要因素[2]。研究显示，局部肌肉的力学负荷过大、持续时间过长、重复频率过高是造成 WMSDs 的 3 个基本因素[3]。随着表面肌电信号（surface electromyography signal，sEMG）技术的发展，采用 sEMG 作为肌肉力学内负荷的测量指标已得到广泛应用。研究表明，sEMG 的时域指标与肌肉收缩力存在较为一致的关系，即随着肌肉收缩力的增加而呈线性递增，动态运动方式时，两者呈现曲线关系[4-6]。但 sEMG 与肌肉收缩力之间究竟是什么关系尚无定论。本文旨在通过模拟不同力学负荷的拧螺丝作业活动，动态检测相关肌肉 sEMG，来探讨拧螺丝作业力学负荷与局部肌肉肌电特征之间的相关性，为客观评定作业人员肌肉内负荷提供科学依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选择年龄、身高、体重和皮质厚度相近、无肌肉骨骼疾病史、惯用右手的 7 名健康男性青年志愿者为研究对象。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 拧螺丝作业活动** 拧螺丝作业的力学负荷由

收稿日期：2013 - 07 - 24；修回日期：2013 - 12 - 31

基金项目：国家自然科学基金面上项目（81172643）

作者简介：王未来（1986—），男，在读研究生。

通讯作者：姚三巧，E-mail：sanqiaoyao@qq.com；王忠旭，E-mail：wangzhongxu2003@163.com。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

模拟活动时的作用力和活动周期构成。作用力通过 BTE Primus 模拟机预先设定，按作用力大小分为 10 N、20 N、30 N、40 N 和 50 N 五组，阻力方向为顺时针，练习头中心高度为 150 cm。每组分别进行每周期 2 s（由逆时针和顺时针两个方向构成，活动范围为水平位置 ±30°）共 15 个周期的测试，测试的间隔为 10 min，以便研究对象的肌肉状态得到有效恢复。研究对象实验前 24 h 内无剧烈运动，且保证实验顺利完成。

1.2.2 sEMG 采集与分析

1.2.2.1 sEMG 采集 选择参与拧螺丝作业的肱三头肌（triceps brachii，TB）、肱桡肌（brachioradialis，BR）、肱二头肌（biceps brachii，BB）及三角肌（deltoid muscle，DM）作为研究的目标肌肉群，应用德国 Biovision 型便携式表面肌电仪，采用双电极引导法[7]，采集上述实验对象右上肢上述肌肉的 sEMG。

电极片粘贴：使用 Ag-AgCl 一次性电极片，每个部位 2 片，间隔 20 mm，顺肌纤维走向平行放置在肌肉肌腹的皮肤表面，参考电极粘贴于鹰嘴平滑处。放置前，刮除毛发、死皮，细砂纸打磨皮肤，再用 75% 酒精棉球擦拭，注意避开皮肤破损或瘢痕。

1.2.2.2 sEMG 的分析与标化 为了选取更具规律性和稳定性的 sEMG，并观察其变化特征、分析力与肌电关系，选取第 5 至第 9 周期中每个周期顺时针 0.08 s 后的 0.3 s 肌电信号，截取较大且稳定的 sEMG，采用 DASY Lab 10.0 软件对其进行分析。sEMG 分析指标包括：中位频率（median frequency，MF）、均方根值（root mean square，RMS）、积分肌电值（intergrate EMG，IEMG）和最大振幅（maximum amplitude，MA），取各时段同一肌电指标的均值。

应用不同力学负荷工况状态下测试的 sEMG 的实测值与最大力量（指每个研究对象按照指定方式测出该姿势下的力量最大值）时同一部位肌肉 sEMG 实测值的比值对其 sEMG（RMS、IEMG 和 MA）进行标化。采用 BTE Primus 最大力量测试模式，采集研究对象最大力量时各肌肉的 sEMG，连续测 3 次，取最大 1 次进行标化[8]。

1.2.3 仪器与材料 BTE Primus 系统是美国 BTE（Baltimore Thenpeutic Equipment）仪器公司生产的新近开发的一代由计算机控制的职业模拟系统，可以对手功能进行系统评估，它整合了等长、等张、等速和被动运动多项功能康复训练技术，在发达国家已普遍用于手外伤等职业伤害后的职业劳动能力评定和康复训练[9]。德国 Biovision 公司 16 导联 Biovision 型便携式表面肌电仪，记录各肌肉做功时的 sEMG。选用 BTE Primus 自带 802#配件即扭矩扳手（长为 50 cm）及限制器 2 个；肌电仪采样频率1024 Hz，输入阻抗 $10^{12}$ Ohms，放大倍数1000倍，共变模阻 120 dB，带通滤波为 20 ~ 500 Hz。

1.3 统计分析

应用 SPSS18.0 软件，采用 Pearson 相关性分析对力学负荷与 sEMG 指标之间的相关性进行分析。

## 2 结果

2.1 基本情况

7 名研究对象年龄（27.0 ± 1.5）岁，身高（174.9 ±4.7）cm，体重（69.6 ±9.5）kg，皮脂厚度（6.8 ±1.8）mm。

2.2 力学负荷与 sEMG 的关系

2.2.1 TB 肌电特征 表 1 显示，RMS、IEMG 和 MA 的标化值呈现随力学负荷增大而增加的趋势，相关系数分别为 0.994、0.997 和 0.998（$P$ 均 < 0.01），MF 有随力学负荷增加而降低的趋势，但差异无统计学意义。

表 1 力学负荷与 TB 的 sEMG 的相关性分析

| 力(N) | RMS（%） | IEMG（%） | MA（%） | MF（Hz） |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 9.99 ±6.41 | 9.58 ±7.98 | 10.29 ±7.91 | 60.10 ±11.96 |
| 20 | 21.15 ±7.28 | 18.95 ±8.91 | 25.81 ±12.86 | 47.43 ±7.41 |
| 30 | 34.94 ±11.30 | 28.96 ±12.94 | 36.34 ±23.00 | 46.43 ±2.82 |
| 40 | 47.04 ±16.90 | 43.98 ±21.15 | 48.05 ±23.38 | 49.67 ±3.68 |
| 50 | 67.00 ±21.26 | 53.81 ±23.42 | 62.12 ±30.04 | 51.17 ±4.39 |
| $r$ 值 | 0.994** | 0.997** | 0.998** | −0.275 |

注：** $P$ < 0.01。

2.2.2 BR 肌电特征 表 2 显示，sEMG 的各项指标与力学负荷均具有显著相关，其中 RMS、IEMG 和 MA 有随力学负荷增加的趋势，而 MF 呈递减趋势，相关系数分别为 0.975（$P$ < 0.001）、0.967（$P$ < 0.01）、0.955（$P$ < 0.05）和 −0.915（$P$ < 0.05）。

表 2 力学负荷与 BR 的 sEMG 的相关性分析

| 力(N) | RMS（%） | IEMG（%） | MA（%） | MF（Hz） |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 28.66 ±20.47 | 26.90 ±20.13 | 39.92 ±30.81 | 97.71 ±20.08 |
| 20 | 34.74 ±24.34 | 31.58 ±25.89 | 43.76 ±39.89 | 95.59 ±11.51 |
| 30 | 37.11 ±25.81 | 34.96 ±22.50 | 46.95 ±36.55 | 93.42 ±13.01 |
| 40 | 44.93 ±30.29 | 41.77 ±25.77 | 50.83 ±28.29 | 93.64 ±9.80 |
| 50 | 55.63 ±38.46 | 53.91 ±33.36 | 62.35 ±29.49 | 92.97 ±11.72 |
| $r$ 值 | 0.975** | 0.967** | 0.955* | −0.126 |

注：** $P$ < 0.01，* $P$ < 0.05。

2.2.3 BB 肌电特征 表 3 显示，RMS、IEMG 和 MA 有随力学负荷显著增加的趋势，相关系数分别为 0.930、0.906 和 0.905（$P$ 均 < 0.05），MF 有随力学负荷呈现递减趋势，但差异无统计学意义。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3 力学负荷与 BB 的 sEMG 的相关性分析

| 力(N) | RMS (%) | IEMG (%) | MA (%) | MF (Hz) |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 35.66 ± 20.91 | 23.46 ± 9.47 | 31.08 ± 14.08 | 55.08 ± 8.47 |
| 20 | 35.28 ± 30.01 | 22.60 ± 21.75 | 26.79 ± 34.29 | 51.28 ± 6.50 |
| 30 | 37.53 ± 31.72 | 24.26 ± 17.31 | 38.73 ± 41.67 | 51.62 ± 5.00 |
| 40 | 45.76 ± 35.95 | 36.83 ± 30.97 | 40.27 ± 39.50 | 53.91 ± 7.27 |
| 50 | 51.02 ± 37.29 | 43.60 ± 31.93 | 50.85 ± 43.57 | 51.73 ± 4.95 |
| *r* 值 | 0.93* | 0.906* | 0.905* | −0.092 |

注：* $P < 0.05$。

2.2.4 DM 肌电特征 表 4 显示，sEMG 的各项指标有随力学负荷递减的趋势，但均无统计学意义。

表 4 力学负荷与 DM 的 sEMG 的相关性分析

| 力(N) | RMS (%) | IEMG (%) | MA (%) | MF (Hz) |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 79.57 ± 47.44 | 47.02 ± 22.08 | 88.39 ± 54.82 | 67.91 ± 7.42 |
| 20 | 72.56 ± 67.02 | 44.41 ± 42.28 | 67.96 ± 64.94 | 60.21 ± 4.59 |
| 30 | 64.20 ± 47.50 | 31.32 ± 18.48 | 43.21 ± 34.80 | 50.78 ± 6.39 |
| 40 | 75.13 ± 47.88 | 49.31 ± 39.65 | 43.93 ± 28.52 | 55.36 ± 6.92 |
| 50 | 72.39 ± 29.65 | 43.24 ± 22.14 | 46.25 ± 28.09 | 53.63 ± 5.91 |
| *r* 值 | −0.333 | −0.06 | −0.862 | −0.564 |

### 2.3 力学负荷与 sEMG 的相关性分析

综合表 1 ~ 4 结果显示，参与拧螺丝作业的四个部位的局部肌肉中，DM 的 sEMG 各项指标虽然呈现出随力学负荷增加而递减的趋势，但均未显示统计学差异；而 TB、BR 和 BB 三个部位局部肌肉 RMS、IEMG 和 MA 三项指标均呈现随肌肉力学负荷而增加的趋势，且均具有统计学相关性；MF 指标在四块肌肉均呈现随力学负荷而递减的趋势，其相关性除 BR 外差异均无统计学意义。不同力学负荷呈现显著正相关的三块肌肉中，sEMG 除 MF 外的其他各项指标的相关系数均以 TB 为最高，BB 为最低；三项指标的相关系数在三块肌肉中未呈现规律性改变，TB 以 MA 的相关性为最高，而 BR 和 BB 以 RMS 为最高。

## 3 讨论

自 20 世纪 50 年代起，力与肌电之间的关系逐渐成为人们关注的焦点。至今仍然缺少一个基于 sEMG 可广泛用于量化肌肉力量的精确方法。由于 sEMG 可对肌力进行无创的定量测量，且生物信号具有复杂性和内在可变性。尤其是动态作业情况，所以使用 sEMG 作为估算肌力的方法具有优越性和挑战性[6]。根据相关研究结果，应用 sEMG 精确估算力学负荷，可能涉及特征肌肉、特征 sEMG 指标、活动方式、关节角度、角加速度和频谱范围等有关因素[6,10~12]。本研究试图采用实验室模拟动态作业来探讨肌力与肌电之间的内在联系，探讨拧螺丝作业的特征肌肉和特征 sEMG 指标，为科学、客观评估肌肉内外负荷提供科学依据。

本研究结果显示，力学负荷与 BR、BB 和 TB 三块肌肉的 RMS、IEMG 和 MA 均呈正相关，而与 DM 的 sEMG 的各项指标均无关联性。这一结果显示，参与拧螺丝活动的局部肌肉 sEMG 多表现出与力学负荷的正相关的关系，即随肌肉力学负荷增加而增加的趋势，这一结论与以往研究结果存在一致性[6]。从相关系数水平来看，sEMG 与力学负荷的相关性水平在不同肌肉或 sEMG 的不同指标各有差异，具有统计学显著差异的三项 sEMG（包括 RMS、IEMG 和 MA）均以 TB 的相关系数为最高，提示 TB 标化后的 sEMG 较其他两块肌肉（BB 和 TB）更能反映拧螺丝作业活动的力学负荷，sEMG 三项指标的相关系数大小并未表现出有代表性的特征性改变。

本研究所显示的 RMS、IEMG 和 MA 三项指标均为时域指标[13]，各项指标相关系数之间差别不大，具有良好方向一致性。由于 RMS 和 IEMG 可在时间维度上反映 sEMG 振幅变化特征，而 RMS 又取决于肌肉负荷因素和肌肉本身生理、生化过程之间的内在联系[14]，由此可说明在拧螺丝作业重复性等张运动过程中，每块肌肉的力量输出，及其所募集的肌纤维数量和放电量均有一定规律性。而在测试的四块肌肉中，力学负荷仅与 BR 的 MF 呈递减趋势，且差异具有统计学意义，这与以往的研究[15,16]结果有所不同，可能与活动方式有关，本试验属等张运动，而非等长运动。DM 的四个 sEMG 指标与力学负荷均呈负相关，但差异无统计学意义，这可能与本实验力学负荷的方向有关，使得 DM 在拧螺丝作业中未起到主要作用。总体来看各肌肉参与拧螺丝时表现出不同的肌电特征，这与拧螺丝作业活动时肌肉的解剖力学作用有关。该作业活动是顺时针方向下压动作，这时 TB 是主要发力肌肉，而 BR 和 BB 次之。DM 主要是使肩关节外展，与本活动关系不大。本次试验属动态作业，尽管在各肌肉表现不同，但在参与作业活动的主要肌肉的 sEMG 表现出力学负荷与 sEMG 时域指标呈线性递增趋势。

本研究结果提示可通过对动态作业筛选肌肉和肌电指标来进行肌肉功能状态的观察。本次试验仅对部分力学负荷进行测试，需扩大其测试范围开展今后研究工作。

参考文献：

[1] Whysalla Z J, Haslama R A, Haslam C. Processes, braaiers, and outcomes described by ergonomics consultants in preventing work-related musculoskeletal discorders [J]. Applied Ergonomics, 2004, 35: 343-351.

(下转第 215 页)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

落实并不重视，制度并未得到有效贯彻和落实。

### 2.5 维修车间职业卫生防护设施及个人防护用品发放状况

10 家汽车 4S 店职业卫生防护设施安装率 60% ~100%，其中安装率最低是打磨车间的吸音设备。见表 1。

表 1 4S 店维修车间职业卫生防护设施安装情况

| 项 目 | 安装 | 企业数 |
|---|---|---|
| 调漆间安装通风排毒设备 | 10 | 100 |
| 喷漆烤漆车间安装通风排毒设备 | 10 | 100 |
| 打磨车间安装通风排毒设备 | 10 | 100 |
| 打磨车间安装吸音设备 | 6 | 60 |
| 钣金车间安装吸音设备 | 7 | 70 |
| 钣金车间安装焊烟净化器 | 9 | 90 |
| 喷漆烤漆间安装降温设备 | 8 | 80 |

10 家 4S 店均发放了工作服、手套、防毒面具，9 家（90%）发放了防尘口罩，7 家（70%）发放了防护眼镜。

### 2.6 职业健康体检

10 家汽车 4S 店岗前、在岗以及离岗时进行职业健康监护的企业分别占 70%、60% 及 20%。而所有员工中在岗检查的比率较低，只有 229 人，在岗体检率为 35.6%，尚未发现疑似职业病病例。提示员工在岗期间的职业健康体检工作，应引起相关部门的高度重视，离岗员工的职业健康体检工作也不容忽视。

## 3 建议及对策

### 3.1 高度重视职业卫生工作

汽车 4S 店应进一步完善维修车间的布局，如对钣金、机电等岗位进行有效分隔，避免对无噪声干扰岗位的伤害。切实做好作业场所通风设备的维护和保养工作，尽量选择无毒、低毒的原材料及辅助材料，定期监测作业场所有毒有害因素，确保作业场所的甲苯、苯等有毒有害物质的浓度不超标[2]。进一步加强汽车 4S 店打磨车间吸音设备的安装工作，防止噪声等对员工职业健康的危害；加强员工职业健康知识宣传、培训工作，不断提高员工的自我保护意识，确保员工防护用品发放到位，作业过程中正确穿戴好劳保用品，定期更换破损的防护用品。

### 3.2 加强健康监护工作

组织员工进行职业健康体检，包括员工上岗前的体检，同时定期对接触有毒有害的员工进行在岗职业健康体检，对于职业健康损害，尽量做到早发现、早诊断、早治疗。建立并健全员工的职业健康档案，做好员工离岗时的职业健康体检，并将检查结果如实告知员工，切实保障员工的职业健康权益。

### 3.3 贯彻落实《职业病防治法》

职业病防治机构应进一步加强对汽车 4S 店的监督、管理、指导以及服务工作，定期开展作业场所职业卫生的监督检查；加强职业健康知识的教育与培训工作，切实提高企业管理者和员工的职业健康意识，促进汽车 4S 店企业职业卫生工作的健康有序开展。

**参考文献：**


[1] 李秋荣，魏云芳，聂玲，等. 4S 店汽修车间职业卫生现状分析[J]. 中国卫生监督，2008，15（3）：207-310.

[2] GBZ2.2—2007，工作场所有害因素职业接触限值第 2 部分：物理因素[S].


（上接第 168 页）


[2] Hansson G A，Balogh I，Ohlsson K，*et al*. Impact of physical exposure on neck and upper limb disorders in female workers[J]. Appl Ergon，2000，31：301-310.

[3] Hoogendoorn W E，Bongers P M. Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain：Results of a prospective cohort study[J]. Epidemiology，2000，25（23）：3087-3092.

[4] 宋超，王健，王洪祥，等. 非疲劳状态下肌肉活动的力-电关系[J]. 中国运动医学杂志，2004，23（3）：348-351.

[5] Perry S R，Housh T J，Weir J P，*et al*. Mean power frequency and amplitude of the mechanomyographic and electromyographic signals during incremental cycle ergometry[J]. J Electromyogr Kinesiol，2001，11（4）：299-305.

[6] Mark Schwartz. EMG Methods for Evaluating Muscle and Nerve Function[M]. In Tech，2012：31-54.

[7] Criswell ElAnor，Jeffrey R Cram. Cram's introduction to Surface Electromyography，Second Edition[M]. USA：Jones and Bartlett Publishers，Inc，2008：268-314.

[8] Mathiassen S，Winkel J，Hgg G. Normalization of surface EMG amplitude from the upper trapezius muscle in ergonomic studies-A Review[J]. Electromyogr Kinesiol，1995，5（4）：197-226.

[9] 欧阳亚涛，徐艳文. BTE Primus 多功能康复系统握力器信度和效度研究[J]. 中国康复理论与实践，2007，13（8）：766-767.

[10] 侯文生，许蓉，郑小林，等. 握力大小与前臂肌肉表面肌电活动模式的相关性研究[J]. 航天医学与医学工程[J]，2007，20（4）：264-268.

[11] 郭峰，基于表面肌电信号高通滤波处理后对指屈肌肌力估算的研究[J]. 体育科学，2012，32（12）：35-41.

[12] Moasser F，Hashtrudi-Zaad K. Hand force estimation using electromyography signals[C]. Proceeding of the 2005 IEEE，2005：2631-2636.

[13] Li Zhuo. Signal analysis of electromyogram and its application in sport scientific research[J]. Bulletin of Sport Science and Technology，2006，14（3）：31-34.

[14] Wang Jian. Some advances in the research of sEMG signal analysis and its application[J]. Sport Science，2000，20（4）：56-60.

[15] Shrawan Kumar，Milan Zedka，Yogesh Narayan. EMG power spectrum of trunk muscles during graded maximal voluntary isometric contraction in flexion-rotation and extension[J]. Eur J Appl Physiol，1999，80（6）：527-541.

[16] Nagata S，Aresenault A B，Gagnon D，*et al*. EMG power spectrum as a measure of muscular fatigue at different levels of contraction[J]. Med Biol Eng Comput，1990，28（4）：374-378.


?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net