

自行车运动员固定功率车测试中的肌电分析

郭红生¹, 王乐军², 龚铭新², 司虎克¹

摘要: 通过实验测试方法, 对优秀中长距离自行车运动员进行功率车测试及肌电研究, 了解运动员在原地起动车阶段的踏频及功率变化情况, 以及在原地起动车阶段和固定功率车进行踏蹬时, 下肢各主要肌肉的激活时间与用力情况, 以便掌握运动员骑行过程中主要的用力肌肉, 加强训练的针对性和有效性。研究发现, 股内侧肌和股外侧肌肌电信号表现明显, 提示这两块肌肉可能为踏蹬主要发力肌肉。在踏蹬过程中, 运动员的肌肉用力情况存在一定的差异, 全能运动员与公路运动员相比, 肌肉用力比较平均, 肌力也相对要大。

关键词: 自行车; 优秀运动员; 肌电; 测试

中图分类号: G804.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2013)01-0071-04

Electromyographic Analysis of Power Bicycle Test for Cyclists

GUO Hong-sheng¹, WANG Le-jun², GONG Ming-xin³ et al

(Shanghai University of sport, Shanghai 200438, china)

Abstract: By the method of experiment, the author made a power bicycle test and electromyographic study for some elite long distance cyclists. The aim is to know the pedaling frequency and the changes of power at the starting phase and the activation time of the main lower limb muscles and the pedaling status so as to program the training purposely and effectively for the main working muscles in cycling. The result shows that the electromyographic signals from vastus medialis and vastus lateralis are obvious. This indicates the two muscles might be the main working muscles in pedaling. In the course of pedaling, there is a certain difference between the working status of the muscles of the different cyclists. Compared to highway cyclists, the muscles of all-around cyclists work evenly and the muscle power is stronger.

Key words: bicycle; elite athlete; electromyography; test

自行车运动是一项古老的体育项目, 是现代竞技体育的一个重要组成部分, 在奥运会比赛中占有重要的位置。在2000年悉尼奥运会上, 姜翠华在女子500 m计时赛中获得了铜牌, 实现了我国自行车项目在奥运会上奖牌“零”的突破。2004年雅典奥运会上, 江永华以34.12 s的成绩夺得500 m计时赛的银牌。2008年北京奥运会上, 郭爽获得争先赛铜牌。2012年伦敦奥运会上, 郭爽、宫金杰获得团体竞速银牌, 并两次打破该项目世界纪录。中国的自行车运动水平正在不断发展, 这离不开科研工作的功劳。因此, 为专业自行车运动员进行科研测试和分析, 有着充实自行车训练理论积极的推动作用。

笔者通过了解高水平专业自行车运动员原地起动车过程中下肢主要用力肌肉的激活次序、不同肌肉的参与情况、协同配合规律等信息, 分析自行车运动员踏蹬过程中表面肌电信号(sEMG)、功率、频率等指标的差异, 确定参与工作的主要肌肉及全能运动员与一般长距离公路运动员肌肉参与工作的区别和联系, 以便为训练提供更为详尽的理论指导。

1 对象与方法

1.1 对象

上海市自行车队中长距离组男运动员5名, 运动等级均为国际健将。测试时间2012年3月5日, 地点在上海体育科

学研究所实验室。当天运动员身体健康状况良好, 无高血压、糖尿病、慢性感染及其他严重疾病病史; 实验前24 h未从事剧烈运动, 无肌肉疲劳症状, 精神状态良好, 无睡眠不足、精神萎靡等不良状态。

1.2 方法

1.2.1 测试指标

(1) 15 s踏蹬的频率、功率、各主要肌肉各阶段肌电信号反映, 以了解下肢主要肌肉的发力顺序。

(2) 4 min主要肌肉的肌电信号反映, 以了解4 min踏蹬过程中运动员主要肌肉参与运动的情况。

1.2.2 测试方法

采用瑞典MONARK894型功率测试车进行负荷实验。每位受试者需进行2部分实验。第一部分实验为固定负荷的15 s原地起动车踏蹬模拟实验, 每位受试者踏蹬阻力设置为自身体重的8%, 踏蹬起始位置为运动员平时原地起动车最适宜的姿势。第二部分为固定功率的4 min踏蹬实验, 功率设置为每位受试者进行最大摄氧量测定时所能达到最大功率的8%。

在进行固定负荷的原地起动车踏蹬模拟实验开始时, 受试者在测试车上保持准备姿势, 受试者采用平时使用的踏蹬角度, 并嘱咐受试者保持放松。利用TJ-Motion2.0同步触发器同步触发MONARK894功率测试车软件系统和肌电测试仪。当确认肌电测试仪和MONARK894功率测试车软件系

收稿日期: 2012-12-20

第一作者简介: 郭红生, 男, 在读博士, 上海体育职业学院自行车击剑运动中心副主任, 主要研究方向: 运动心理学。

作者单位: 1. 上海体育学院, 上海, 200438; 2. 同济大学, 上海, 200092



统同步触发成功后，记录受试者在肌肉完全放松情况下的表面肌电信号 5 s，之后指示受试者开始蹬踏，在此过程中通过言语鼓励等方式使得受试者一直以最快的速度进行蹬踏。计算机每 1 s 记录一次功率自行车的输出功率和蹬踏频率。

在进行固定功率的 4 min 蹬踏实验开始时，嘱咐受试者保持放松。利用 TJ-Motion2.0 同步触发器同步触发 MONARK894 功率测试车软件系统和肌电测试仪。当确认肌电测试仪和 MONARK894 功率测试车软件系统同步触发成功后，指示受试者以较为恒定的蹬踏频率直至蹬踏结束。

sEMG 的采集使用 ME 3000P4 肌电信号记录和分析系统（芬兰 Mega 公司产品），采样频率 1 000（1 024）Hz，采集到的 sEMG 信号另存为 ASCII 文件后作为后期分析的数据源。实验后对 MONARK894 功率测试车软件系统记录到的数据与表面肌电测试仪记录到的数据做同步处理。

采用双电极引导法记录 sEMG。一对探测电极间距 2 cm 置于右侧股直肌肌腹部，与肌纤维走向平行，参照电极置于内侧 3 cm 处。放置电极前用 75% 酒精棉球清理皮肤表面，以减小阻抗。表面肌电测试仪各导联与各测试肌肉的对应关系及表面电极片的粘贴部位见表 1、图 1。

表 1 表面肌电测试仪各导联与各测试肌肉的对应关系

Table 1 Correspondence between the Different Leads of Electromyography Tester and the Muscles Tested

导联名称	肌肉
一导	右侧臀大肌
二导	右侧股直肌
三导	右侧股内侧肌
四导	右侧股外侧肌
五导	右侧股二头肌
六导	右侧胫骨前肌
七导	右侧腓肠肌外侧头
八导	右侧比目鱼肌

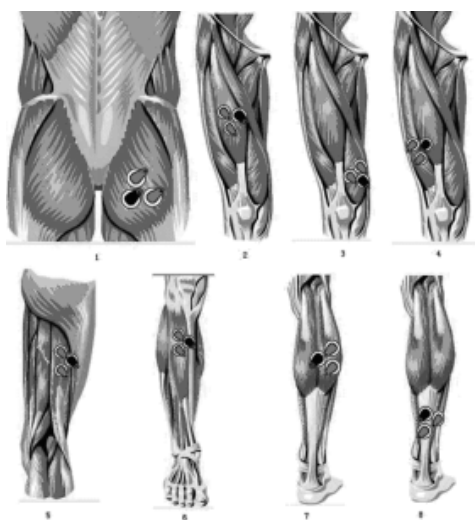


图 1 表面电极片的粘贴部位

Figure 1 Paste Parts of the Surface Electrode Plates

1.2.3 数据处理

1.2.3.1 15 s 固定负荷原地起蹬踏实验

计算 15 s 固定负荷原地启动蹬踏实验不同肌肉的激活顺

序，此外，根据每位受试者蹬踏频率数据将 15 s 蹬踏阶段划分为加速阶段和高速保持阶段，并将 15 s 蹬踏运动过程中记录的 sEMG 划分为加速阶段和全速蹬踏阶段两段表面肌电信号。

为确定每个蹬踏周期各肌肉的激活时刻，首先，对蹬踏前 5 s 肌肉保持完全放松阶段内的 sEMG 进行全波整流和平均化处理，平均化处理的时间宽度设置为 0.01 s，计算处理后 sEMG 的平均值和标准差，并以计算的平均值作为肌肉安静时的基准线，定义肌肉激活与失活的标准为 sEMG 的幅值高于肌肉安静时肌电水平标准差的 3 倍且持续 50 ms 时间以上^[1,2]，据此计算所测定肌肉的激活顺序。

1.2.3.2 4 min 固定功率蹬踏实验

以 20 s 为计算周期，将记录的 4 min 蹬踏实验过程中的 sEMG 按等时间间隔划分为若干段，分别计算每段 sEMG 的平均肌电振幅（AEMG）和中值频率（MF），并计算不同肌肉放电比例。此外，分别计算蹬踏自行车运动过程中每隔 20 s 内的平均输出功率和蹬踏频率。

2 结果与讨论

2.1 15 s 固定负荷原地起蹬踏实验

从图 2 和图 3 可以看出，各受试者蹬踏频率和输出功率随运动持续时间表现出先增大后减小的变化趋势。不同受试者达到最大蹬踏频率和输出功率的时间以及最大蹬踏频率和输出功率的数值是不同的，这种情况与运动员个人能力强弱密切相关。

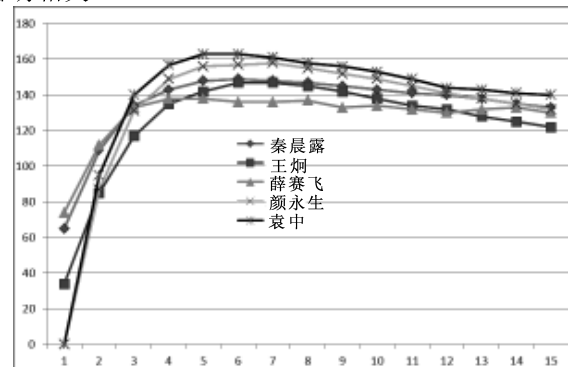


图 2 15 s 固定负荷全力蹬踏自行车运动过程中各位受试者蹬踏频率

Figure 2 Pedaling Frequency of the Subjects in 15s Fixed Load Pedaling with Full Power

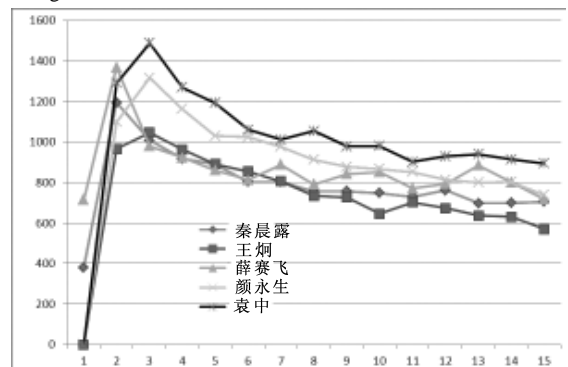


图 3 15 s 固定负荷全力蹬踏自行车运动过程中各位受试者输出功率

Figure 3 Output Power of the Subjects in 15s Fixed Load Pedaling with Full Power



在所测试的受试者中，全能运动员袁×的最大蹬踏频率和最大输出功率是最大的，而薛××和王×所达到的最大蹬踏频率和最大输出功率在所有受试者中是最小的。从开始蹬踏至达到最大蹬踏速度的时间来看，各位受试者基本都在启动后的第5~7 s达到最大蹬踏频率，其中，袁×的加速能力是最强的，在第一秒蹬踏速度为零的条件下，在第5 s即达到了最大蹬踏频率，薛××的加速能力也很好，在第4 s即达到最大蹬踏频率，而其他4位受试者加速能力相差不大。

从表2发现，不同受试者15 s固定负荷蹬踏自行车启动阶段各肌肉激活时间是不同的，虽然运动员发力腿设置为

右腿，但由于运动员肌肉力量不同，蹬踏开始时，曲柄与水平面的夹角是有区别的，力量大的喜欢夹角大些，力量小的喜欢夹角小些，每个人都有自己的最适宜的蹬踏起始位置。受蹬踏角度影响，不同受试者在启动阶段各肌肉的激活顺序是有区别的。测试说明启动阶段不同肌肉激活顺序的不同跟启动阶段内的技术动作是紧密联系在一起的。其中，秦××、王×、薛××都是最先激活股外侧肌、股内侧肌和小腿屈肌，全能选手袁×在启动开始则先激活股二头肌和腓肠肌外侧头，之后依次为胫骨前肌、比目鱼肌、股直肌、股内侧肌和臀大肌。

表2 15 s 原地启动阶段各肌肉激活时间 (s)
Table II Activation Time of the Muscles at 15s Starting Phase (s)

肌肉	右侧臀大肌	右侧股直肌	右侧股内侧肌	右侧股外侧肌	右侧股二头肌	右侧胫骨前肌	右侧腓肠肌外侧头	右侧比目鱼肌
秦××	0.02	0.01	0	0.03	0.01	0.64	0.07	0.03
王×	0.67	0.15	0.01	0	0.08	1.17	0.27	0.12
薛××	0.37	0.12	0	0.03	0.41	0.82	0.08	0
颜××	0.35	0.16	0.01	0.4	0.44	0.85	0.36	0
袁×	0.81	0.78	0.78	0.79	0	0.37	0.09	0.56
张×	0.06	0	0.34	0.24	0.75	1.07	0.49	0.35

图4~6反映的是受试者15 s固定负荷蹬踏自行车加速阶段、全速蹬踏阶段和整个阶段内平均肌电水平柱状图，不同受试者各肌肉放电比例差异较大。但从各肌肉的放电情况看，股内侧肌、股外侧肌、腓肠肌外侧头等肌肉无论在加速阶段、全速蹬踏阶段还是整个过程都表现出较高的放电水平，这提示在自行车蹬踏启动阶段这些肌肉是主要的用力肌肉。

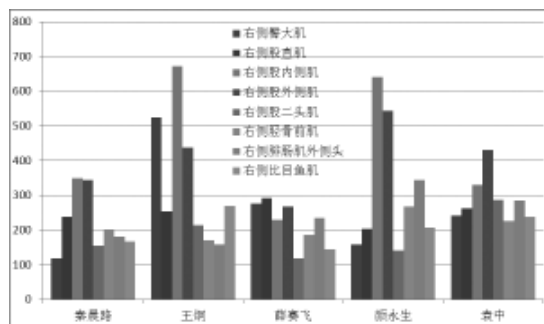


图4 不同受试者15 s 固定负荷蹬踏自行车加速阶段平均肌电水平 (uV)

Figure 4 Average Electromyography Level of the Subjects in 15s Fixed Load Acceleration Pedaling Period (uV)

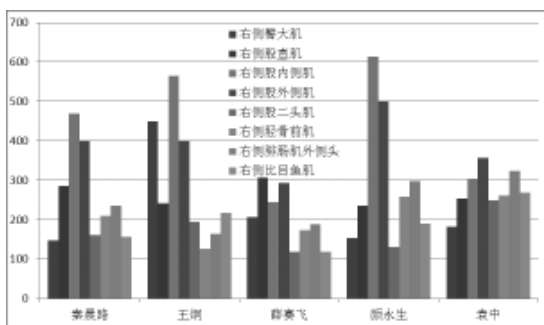


图5 不同受试者15 s 固定负荷蹬踏自行车全速蹬踏阶段平均肌电水平 (uV)

Figure 5 Average Electromyography Level of the Subjects in 15s Fixed Load Full-speed Pedaling Period (uV)

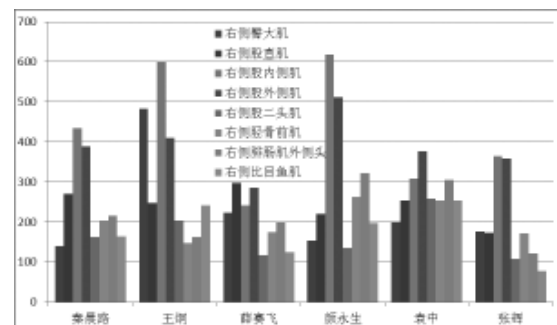


图6 不同受试者15 s 固定负荷蹬踏自行车整个过程平均肌电水平 (uV)

Figure 6 Average Electromyography Level of the Subjects in the Full Course of 15s Fixed Load Pedaling (uV)

从同一受试者所测试8块肌肉的放电比例来看，在加速阶段颜××和王×股内侧肌和股外侧肌放电非常高，各肌肉放电比例相差较大，而袁×、薛××和秦××各肌肉放电比例相对要小，特别是全能运动员袁×，其所测8块肌肉放电比例比较接近。在全速蹬踏阶段，全能袁×所测8块肌肉放电比例也非常接近，与颜××、王×形成鲜明对比。

2.2 4 min 固定功率蹬踏实验

为了解运动员正常骑行中的肌肉用力情况，要求运动员在设定的固定功率进行骑行。从4 min 蹬踏自行车运动过程中各位受试者蹬踏频率和输出功率情况看，在整个蹬踏过程中，除颜××在最后阶段有明显的冲刺外，其他受试者的蹬踏频率基本保持恒定。从输出功率情况看，每位受试者蹬踏输出功率在最开始阶段因加速蹬踏的原因而增加，增加到一定水平后开始保持较为恒定的输出功率直至蹬踏结束。从不同受试者输出功率稳定后的数值看，全能运动员袁×和颜××的输出功率要高于其他受试者，而在所有的测试人员之中，王×的输出功率比其他人员的输出功率要小得多（见图7、8）。

实验发现，各受试者在4 min 固定功率蹬踏自行车不同

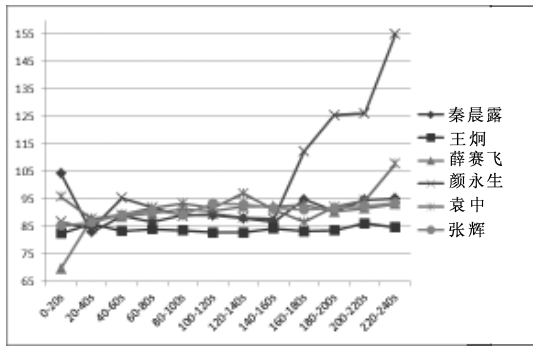


图7 4 min 蹬踏自行车运动过程中各受试者蹬踏频率
Figure 7 Pedaling Frequency of the Subjects in 4min Pedaling

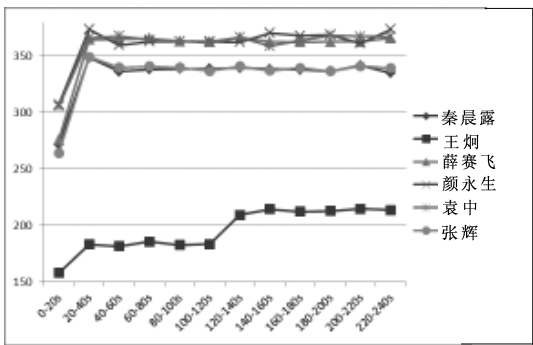


图8 4 min 蹬踏自行车运动过程中各受试者输出功率
Figure 8 Output Power of the Subjects in 4min Pedaling

阶段内各肌肉 AEMG 变化情况看, 所有受试者普遍的特征是在整个蹬踏阶段内, 股内侧肌和股外侧肌 AEMG 幅值一直都是所有肌肉当中最高的, 提示在 4 min 固定功率蹬踏运动中, 股内侧肌和股外侧肌是为最重要的力量提供肌肉。在股内侧肌和股外侧肌 AEMG 大小关系上, 秦××、王××、颜××、张××的股内侧肌肌电幅值要高于股外侧肌, 而袁×和薛××则是股外侧肌 AEMG 幅值高于股内侧肌。

从 4 min 固定功率蹬踏各肌肉不同阶段 MF 变化情况看, 不同受试者随蹬踏运动持续时间表现出下降趋势的肌肉是不同的, 其中秦××为腓肠肌外侧和股直肌, 王××为臀大肌, 薛××为股内侧肌, 颜××为股直肌, 张××为腓肠肌外侧, 而袁×则为股内侧肌和股外侧肌。

在疲劳性负荷实验过程中, 表面肌电信号 MF 指标单调下降作为局部肌肉疲劳逐渐加深的典型性指标, 在局部肌肉疲劳的监测和评价过程中具有良好的应用效果。不同受试者所测肌肉 sEMG 随蹬踏持续时间表现出单调递减规律的不同, 提示整个蹬踏过程中不同受试者各肌肉的疲劳情况是不同的。

3 小结

3.1 15 s 固定负荷原地起蹬踏测试, 可以清楚掌握运动员起蹬的速度和快速做功情况。从肌电测试发现, 由于运动员蹬踏起始位置的差异, 运动员在快速起蹬过程中, 肌肉激活的顺序并不完全相同, 但股外侧肌、股内侧肌最先被

激活的情况比较趋于一致, 即在下蹬开始时, 提示这两块肌肉是最先发力肌肉。

3.2 15 s 固定负荷蹬踏自行车加速阶段、全速蹬踏阶段和整个阶段, 不同受试者各肌肉放电比例差异较大。但从各肌肉的放电情况看, 股内侧肌、股外侧肌、腓肠肌外侧头等肌肉无论在加速阶段、全速蹬踏阶段还是整个过程都表现出较高的放电水平, 提示在自行车蹬踏起蹬阶段, 它们是主要的用力肌肉。

3.3 从 4 min 固定功率蹬踏自行车不同阶段内各肌肉 AEMG 变化情况看, 所有受试者普遍的特征是在整个蹬踏阶段内, 股内侧肌和股外侧肌 AEMG 幅值一直都是所有肌肉当中最高的, 提示这两块肌肉是正常骑行时蹬踏的主要用力肌肉。

3.4 从 4 min 固定功率蹬踏各肌肉不同阶段 MF 变化情况看, 不同受试者随蹬踏运动持续时间表现出下降趋势的肌肉是不同的, 但同一运动员表面肌电信号 MF 指标单调下降与其主要的用力肌肉密切相关, 提示主要用力肌肉在蹬踏过程中疲劳往往也最先出现。

3.5 作为自行车场地全能运动员的袁×在 15 s 起蹬测试中, 其发力时间短、力量大, 与其他主攻公路训练的运动员形成明显的差异; 此外, 在肌电测试中, 发现袁×的肌肉在蹬踏过程中力量最为均衡, 肌电信号相对比较均匀, 提示作为全能运动员在发展下肢肌肉力量时要注意均衡。

参考文献:

- [1] STEPHANE B,RENAUD H,PHILIPPE R, et al. (2009). The vastus lateralis euromuscular activity during all-out cycling exercise[J]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, (19): 922-930
- [2] SUZUKI S,WATANABE S,HOMMA S. (1982). EMG activity and kinematics of human cycling movements at different constant velocities[J]. *Brain Res*,240(2):245-258
- [3] 李卫. 中国自行车运动发展现状与训练学思考[J]. 哈尔滨体育学院学报, 2006, 2: 6-8
- [4] 严金慧, 苟波, 刘英杰, 李之俊等. 不同齿轮比训练时自行车; 运动员肌电图的研究[J]. 体育科研, 2007 (3): 74-77
- [5] 张斌. 功率车在自行车运动员专项能力训练中的应用[J]. 山东体育科技, 2010, 1: 4-5
- [6] 储开晴. 自行车运动踏蹬动作浅析[J]. 南京体育学院学报, 1995, 3: 41-46
- [7] 曹成珠. 场地自行车运动专项踏蹬力量的分析研究[J]. 中国心技术产品, 2009, 14: 234
- [8] 王乐军, 黄勇, 龚铭新, 等. 10 s 全力蹬踏自行车运动过程中股直肌 sEMG 活动特征研究[J]. 体育科学, 2010, 30 (11): 50-55.
- [9] 黄勇, 王乐军, 龚铭新, 马国强. 自行车运动员下肢肌肉 sEMG 特征及与输出功率的相关性[J]. 上海体育学院学报, 2010, 34 (5): 64-67.

(责任编辑: 何聪)