

·运动人体科学·

皮艇测功仪上运动员不同桨频划桨对技术动作的影响

李梦, 张林

(苏州大学 体育学院, 江苏 苏州 215021)

摘要: 运用表面肌电和肌氧分析技术, 对23名1级以上皮艇运动员以3种不同桨频负荷(70桨/min、90桨/min和最大桨频)分别在测功仪上进行连续划桨训练过程中相关肌肉工作情况进行研究。结果发现: 随桨频负荷的提高, 竖脊肌肌电活动增强并伴随着股直肌肌电活动趋弱; 与70桨/min相比, 最大桨频下肱三头肌氧百分比下降无显著性差异, 而左右背阔肌均呈现显著性降低($P<0.05$)。结果说明提高划桨频率会造成运动员身体发力构成的变化, 随着划桨频率的增大, 下肢贡献有所减少, 腰腹和背部用力增大, 上臂用力增大但不明显。

关键词: 运动生理学; 肌电; 肌氧; 划桨桨频; 皮艇测功仪

中图分类号: G804.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2015)03-0123-04

Effects of paddling at different frequencies by kayakers on a kayak ergometer on technical movements

LI Meng, ZHANG Lin

(School of Physical Education, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: By applying surface myoelectricity and muscle oxygen analysis technology, the authors study the working conditions related muscles of 23 class 1 or higher kayakers in the process of training for continuous paddling on an ergometer at 3 different paddling frequency loads (70 strokes/min, 90 strokes/min and maximum paddling frequency) respectively, and revealed the following findings: with the increase of paddling frequency load, the myoelectricity activity of erector spinae was intensified, accompanied by the gradual weakening of myoelectricity of rectus femoris; as compared with 70 strokes/min, the increase of muscle oxygen percentage of triceps brachii had no significant difference, while the left and right latissimus dorsi showed a significant decrease ($P<0.05$). The said findings indicated the followings: increasing paddling frequency would cause the changing of kayaker's body power generation composition; with the increase of paddling frequency, the contribution of lower limbs decreased somewhat, power generated by waist and abdomen and back increased, power generated by upper arms increased but not significantly.

Key words: sports physiology; myoelectricity; muscle oxygen; stroke rate; kayak ergometer

皮艇运动为水上运动项目之一, 对体能和技术均有较高要求, 是一项以较高的体能输出为依托, 展示运动员平衡能力和技术技巧的竞技项目, 通过进行大强度的划桨功率输出, 推动船艇高速前进。

皮艇测功仪(Kayak Ergometer)通过最大限度的模拟皮艇划桨动作情况^[1], 实现陆地专项训练, 可较为准确地模拟水上短时、高强度皮艇运动对人体生理的刺激^[2-3], 由于其阻力可调, 相对于水上划船, 可在稳定环境中使用, 同时可量化训练负荷, 是训练和科研测试的

理想仪器^[4]。本研究要求运动员在测功仪上以不同桨频负荷进行划桨练习, 并进行相关肌肉的肌电、肌氧指标采集分析, 旨在了解不同桨频对划桨技术动作的影响。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

河北皮划艇队1级以上(含1级)皮艇运动员23人, 男11人, 女12人。年龄(19.86 ± 2.71)岁, 身高(181.27 ± 6.97) cm, 体重(73.97 ± 10.74) kg。训练年限($5.77 \pm$

收稿日期: 2014-02-20

作者简介: 李梦(1981-), 女, 博士研究生, 研究方向: 运动训练的生理生化监控。通讯作者: 张林教授。E-mail: limeng_1222@163.com

2.21)年。由于本实验设计主要对运动员技术动作进行考察,根据相关文献,在重要的技术参数上(如桨频、划桨时间构成、动作对称性、关节活动幅度等)男女运动员不存在差异^[5],故不进行性别分组。测试期间所有运动员排除疾病、服用药物和促力营养品、抽烟饮酒等因素影响,集体规律作息,饮食保持一致。

1.2 研究方法

运动员以 3 种不同桨频负荷 70 桨/min、90 桨/min 和最大桨频分别在测功仪上进行连续划桨训练,其中最大桨频是个人尽其所能达到的最大划桨频率,其数值视个人能力不同而定,并非某一固定数值。阻力设定为个体感觉最适、可充分稳定发挥个人技术的档位(后经统计基本上所有女性运动员均选择 5 档阻力,男性运动员选择 8 档阻力)。专人负责实时播报桨频,以便运动员进行控制。

采用 BIOVISION 多导遥测肌电仪,和 Moxy 肌肉氧监测仪以及西班牙产 WIMU 全无线运动监控追踪系统(世纪天鸿公司提供)对特定选取的相关肌群进行肌电和肌氧代谢监测。肌电测试前对被测部位表皮进行刮毛、磨皮处理,酒精涂拭,于被测肌腹中点处纵行于肌纤维贴置表面电极,两电极间距 20 mm,参考电极置于无肌电信号部位,所有导线使用绷带固定,以免产生运动干扰。肌氧模块由透明薄膜包裹,红外光一侧紧贴被测肌肉表面皮肤,两光点纵行于肌纤维,并用不透光的绷带包裹固定以防模块发生位移和脱落。Moxy 肌肉氧监测仪可测量肌肉中氧合血红蛋白浓度占总血红蛋白的比例,并将结果使用百分比纪录输出。使用 DasyLab10.0 对肌电信号数据进行分析;肌氧数据由 WIMU 整合后通过 Quiko 数据分析软件进行分析。

通过查阅相关文献资料并参考教练员意见,依据皮艇运动特点,确定测试肌肉:双侧股直肌和竖脊肌进行肌电测试,双侧肱三头肌和背阔肌进行肌氧测试。

具体定位如下:股直肌(rectus femoris, RF):髌前上棘到髌骨上缘连线长度的 1/2;竖脊肌(erector spinae, ES):脊柱腰段两侧棘突旁宽厚的纵行隆起,平第三腰椎(vertebrae lumbales 3, L3、vertebrae lumbales 4, L4)节段;背阔肌(latissimus dorsi, LD):背的中部外侧扇形隆起部位,平第九胸椎(vertebrae thoracicae 9, T9)节段;肱三头肌(triceps brachii, TB):臂后侧三角肌后缘下方,对抗阻力伸肘时最为隆起处。

选取以上肌肉(群)进行测试的主要原因:竖脊肌作为脊柱主动回旋肌群,在皮艇运动中主导坐位转体,同时与脊柱各肌群协同作用,以获得稳固的支撑,进而提高回旋肌群的收缩力量,根据已有研究报道,竖脊肌是皮艇技术动作的重要核心肌群;股直肌工作情

况可反映腿部运动状况,皮艇运动的转体动作与下肢活动密切相关,通过下肢交替蹬-勾经由髋部协调转动实现转体,并且下肢参与构成人体坐姿支撑平面,维持坐姿稳定,根据核心肌群的概念,股直肌属于起点在核心的核心肌群^[6]。故而选取双侧股直肌和竖脊肌作为肌电测试组织。背阔肌和肱三头肌是拉桨动作的主动肌,以往肌电测试证实在拉桨过程中,背阔肌和肱三头肌表现出较高的动员度,是主要工作肌,故而选取双侧背阔肌和肱三头肌作为肌氧测试组织。同时,背阔肌作为起点在核心的核心肌群,对躯干和肩部姿态稳定有重要作用。

每种桨频负荷下,当运动员进入稳定动作和稳定节奏划桨时,使用苏州大学体育学院自行研制的同步信号触发装置对肌电信号进行时刻点标记,使用 WIMU 对同时刻肌氧数据进行打点标记。自同步信号标记开始,对连续 50 桨动作进行取样记录,取数据标记 10 个完整动作周期,进行肌电数据分析,组间休息 2 min。

使用 SPSS19.0 统计分析软件对所得数据进行相关性分析。所有数据用平均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,取 $P < 0.05$ 为具有显著性差异, $P < 0.01$ 为有非常显著性差异。

2 研究结果及分析

2.1 肌电指标变化

出于对技术动作稳定性和连贯性的考虑,取测功仪上每种桨频负荷划桨连续 10 个完整动作周期进行分析。经 DasyLab10.0 计算处理,数据处理软件编程模块进行计算编程(见图 1),最终得出积分肌电(iEMG)、平均振幅(MA)、振幅均方根(RMS)值(见表 1)。经统计对比发现,与 70 桨/min 负荷相比,90 桨/min 时左股直肌和左竖脊肌 iEMG 显著降低($P < 0.05$),右侧股直肌 RMS 显著降低($P < 0.05$),最高桨频时各部位 iEMG 均呈现出显著性变化($P < 0.05$),但左右股直肌显著降低,而左右竖脊肌则显著升高,同时左侧股直肌 MA 降低($P < 0.05$),右侧竖脊肌 MA 则显著升高($P < 0.05$),与 90 桨/min 相比,最大随着桨频提升至最高,左右竖脊肌 iEMG 和 RMS 均显著升高($P < 0.05$),右侧竖脊肌同时出现 MA 明显升高,同时伴随着右侧股直肌各项肌电指标的显著下降。从肌肉参与的总体变化趋势情况看,随着桨频负荷的提高,双侧股直肌 iEMG 指标持续下降,双侧竖脊肌出现先下降,后大幅度上升,下肢用力逐渐转为下肢和腰部协同用力,竖脊肌肌电活动增强伴随着股直肌肌电活动趋弱,在最大桨频负荷时,竖脊肌肌电活动最强烈。而所有 MA 和 RMS 指标大多出现先下降后上升的变化,但竖脊肌在最大桨频时上升幅度较大,超过最低桨频值。

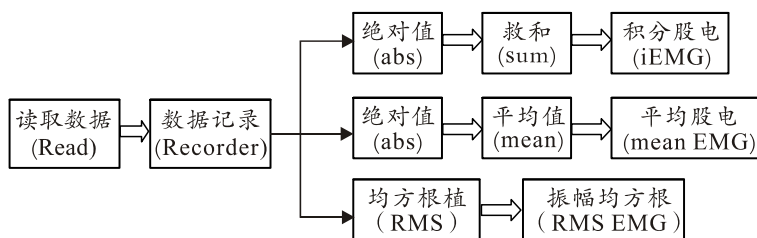


图 1 公式编程流程示意图

表 1 不同桨频划桨各肌群 iEMG、MA 和 RMS 值 ($\bar{x} \pm s$) 的变化

mV

肌群	iEMG			MA			RMS		
	70 桨/min	90 桨/min	最大桨频	70 桨/min	90 桨/min	最大桨频	70 桨/min	90 桨/min	最大桨频
左股直肌	16.47±1.9	11.39±1.5 ¹⁾	8.25±0.92 ¹⁾	0.80±0.28	0.64±0.56	0.64±0.35 ¹⁾	0.98±0.18	0.79±0.19	0.83±0.18
右股直肌	14.37±1.37	9.65±1.57	9.27±0.91 ¹⁾²⁾	0.59±0.18	0.51±0.16	0.61±0.18 ²⁾	0.97±0.38	0.66±0.15 ¹⁾	0.87±0.23 ²⁾
左竖脊肌	3.65±1.0	2.96±0.16 ¹⁾	4.29±1.29 ¹⁾²⁾	0.54±0.18	0.51±0.21	0.56±0.28	0.61±0.28	0.48±0.15	0.66±0.18 ²⁾
右竖脊肌	2.57±0.46	2.50±0.11	4.87±0.70 ¹⁾²⁾	0.21±0.06	0.20±0.11	0.53±0.13 ¹⁾²⁾	0.49±0.05	0.37±0.21	0.55±0.11 ²⁾

1) 与 70 桨/min 比较, $P < 0.05$; 2) 与 90 桨/min 比较, $P < 0.05$

2.2 肌氧指标变化

取每轮划桨运动结束前 15 s 肌氧平均值进行统计, 结果显示: 桨频负荷一定的情况下, 肱三头肌肌氧百分比均明显低于背阔肌($P < 0.01$)。随着桨频的上

升, 各肌肉肌氧均呈下降趋势, 与 70 桨/min 相比, 桨频达到最大时肱三头肌肌氧下降无显著性差异, 而左右背阔肌均呈现显著性降低($P < 0.05$)(见表 2)。

表 2 不同桨频划桨各肌群肌氧百分比 ($\bar{x} \pm s$) 比较

%

肌群	70 桨/min	90 桨/min	最大桨频
左肱三头肌	26.77±0.91 ²⁾	25.07±4.09 ²⁾	20.79±7.73 ²⁾
右肱三头肌	32.00±2.84	26.46±2.61	26.32±1.24
左背阔肌	56.72±2.17	55.54±5.46	42.17±3.01 ¹⁾
右背阔肌	47.43±7.99	42.78±6.05	40.31±6.46 ¹⁾

1) 与 70 桨/min 比较, $P < 0.05$; 2) 同等负荷侧肢体不同肌群比较, $P < 0.05$

3 讨论

1) 表面肌电(sEMG)技术广泛应用于有关肌肉反应时的研究、肌肉活动的功能分析、肌肉间的协调性以及肌纤维成分、肌肉收缩速度与肌肉稳定性等方面^[7]。时域分析指标积分肌电值(iEMG)、平均肌电值(AM)和振幅均方根(RMS), 常被用来反映运动单位募集数量的变化, 其数值的变化通常与肌肉收缩力的大小有关。sEMG 信号的变化与肌肉的整体活动状态和功能状态之间存在着较好的关联性, 因而能在一定程度上反映肌肉活动。

3 种时域指标 iEMG、MA、RMS 很好的反映了下肢和下腰部在皮艇划桨动作中的发力和支撑特点。作为一项完全坐位完成的运动, 皮艇划桨动作的支撑平面是由座位-脚踏构成的, 是一狭长的平面, 而躯干需要进行大幅度的左右转动, 同时上肢要进行大幅度的拉桨和回桨动作, 为了维持船体姿态和技术动作稳

定, 运动员需要通过下肢-髋部-腰部-躯干-上肢等一系列力的协调来保持平衡, 同时通过蹬转运动实现大幅度的转体, 从而加大上肢划桨幅度。另外, 肌电图显示, 同侧股直肌和竖脊肌肌电时相基本一致, 说明腰部作为力的传递枢纽, 在实现整体“张力完整”上, 与发力部位有着良好的协调性, 下肢蹬腿的力量不是缓慢的节奏传递至上肢, 而是与蹬腿几乎同时, 核心部位紧张, 形成稳固的传递杠杆。上肢持桨做左右交替划桨的动作, 是前进动力的具体产生方式, 而上肢动力输出的基础是下肢和躯干的稳定支撑, 故而双侧下肢交替蹬-屈和双侧竖脊肌腰段的肌电活动对于整体支撑的平衡和稳定情况具有重要意义。由于肢体左右交替动作, 在高桨频划行时, 左右动作衔接速度和动作速度均大大提高, 运动员为了加强桨频, 势必会损失一部分动作的幅度, 主要是转体幅度和拉桨距离, 蹬转不充分和动作采样时长缩短(每组肌电数据为 10

个完整的动作周期)均可造成下肢股直肌 iEMG 随桨频升高而下降。

2)有研究表明动力性运动过程中,随着运动负荷的增加,骨骼肌组织 HbO₂和 Hb 含量的相对变化较为明显,当负荷较低时,肌氧迅速下降但随后逐渐升高或保持平衡,但以较高负荷运动时,肌氧持续下降,且与 iEMG 高度相关。故而,肌氧指标反映肌肉的运动强度是敏感而可靠的,肌肉运动越剧烈肌氧值越低^[8-10]。

从皮艇运动的技术用力特点来看,划桨力量主要取决于腿、腰、髋、背、肩部充分伸展后的用力程度和上手的支撑能力(或支撑技术要与躯干同步用力),上手的支撑能力决定着桨在水下最佳角度(效果)保持的时间。手臂与躯干同步合力,躯干转至最大幅度,手臂随肩部伸展至身体前方的最远端,桨入水后靠背部的旋转和上手的支撑(实际也是靠腰髋部旋转的力量作用到支撑手上),同时,结合蹬腿送髋向前动作来完成整个向水下(后)用力的过程。在这个过程中肩、背、髋、腿是主动发力的部位,手臂实际上只起了一个杠杆框架的作用,而肘关节基本是不弯曲的,只是在桨出水时才有一点弯曲,但最小角度也不会小于 90°。

由较低桨频划桨开始,随着桨频的提升,肱三头肌和背阔肌肌氧均呈下降趋势,说明主导拉桨动作的肱三头肌和背阔肌体现出较强的肌氧消耗,说明肌肉动员强烈,做功明显,此时的拉桨力量应该比较充分,移植到行船过程中则相应桨下效果较好;但肱三头肌肌氧下降不具有显著意义,而背阔肌则出现显著下降,这说明在提高桨频的过程中,背阔肌运动单位募集增强,更多的参与划桨动力构成,这与皮艇技术动作特点和肌肉组织特性有关,背阔肌是起点位于核心区域的核心肌群,在皮艇划桨动作中既维持躯干稳定,又产生拉桨动力,高速划桨时,转体频率的增大和拉桨功率的提升从更大程度上激活了背阔肌运动单位募集;另外,作为人体最大的扁阔肌,在最大桨频划桨时,在转体惯性作用下,背阔肌在转体末期上肢水平位储存了较大的弹性势能,从而体现出更强的收缩做功能力,这可能是其肌氧消耗加强的又一原因。

综上所述可见:

1)使用肌电和肌氧方法可从肌肉做功的形式、特点对皮艇技术动作进行较为深入的分析。

2)提高划桨频率会造成运动员身体发力构成的变

化,总体来说,随着划桨频率的提高,下肢贡献有所减少,腰腹和背部用力增大,上臂用力增大但不明显。

3)建议在条件允许的情况下,对更多相关肌群进行更为详细的研究,以便深入了解皮艇实际划桨动作过程中肌肉做功情况。

参考文献:

- [1] Neil Fleming, Bernard Donne, David Flether, et al. A biomechanical assessment of ergometer task specificity in elite flatwater kayakers[J]. J Sci Med Sports, 2012, 11: 16-25.
- [2] Mitchell A, Swaine I L. Comparison of cardiorespiratory responses to open-water and simulated kayaking[J]. Biology of Sport, 1998, 15: 229-236.
- [3] Someren K A, Phillips G R W, Palmer G S. Comparison of physiological responses to open water kayaking and kayak ergometry[J]. Int J Sports Med, 2000, 21: 200-204.
- [4] 吴昊,周琦年,郭海英. 优秀皮划艇运动员测功仪测试研究进展与实践[J]. 浙江体育科学, 2004, 26, (1): 1-7.
- [5] John Baker, David Rath, Ross Sanders, et al. A three-dimensional analysis of male and female elite sprint kayak paddlers[C]. 17 International symposium on biomechanics in sports, 1999.
- [6] David G. Behm, Eric J Drinkwater. The use of instability to train the core musculature[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2010, 35: 91-108.
- [7] 曲峰. 运动员表面肌电信号与分形[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2008: 4-11.
- [8] 张力,宋高晴. 划船运动员静力及动力性肌肉运动疲劳时肌氧含量的变化特征及对 EMG 参数的影响[J]. 体育科学, 2006, 26(3): 53-57.
- [9] Miura H, Araki H, Matoba H, et al. Relationship among oxygenation, myoelectric activity and lactic acid accumulation in vastus lateralis muscle during exercise with constant work rate[J]. Int J Sports Med, 2000, 21(3): 180-184.
- [10] 王国祥. 不同运动负荷时肌肉氧含量与表面肌电图的变化特点[J]. 体育学刊, 2006, 13(3): 51-53.