



静水皮艇 200 m 供能特征

黎涌明

摘要: 为探究静水皮艇200 m能量供应特征,文章选取了29名青少年皮艇运动员在测功仪上进行200 m比赛的模拟(40 s)。通过采集受试者气体代谢和血乳酸数据,并按Bencke等人提出的计算方法进行能量代谢的计算。结果表明,静水皮艇200 m三大供能系统的供能比例分别为39.4%(无氧无乳酸)、28.8%(无氧乳酸)和31.8%(有氧)。静水皮艇200 m前10 s能量供应主要来自无氧无乳酸系统,第10~20 s(或30 s)能量供应主要来自无氧乳酸系统,有氧供能对于最后10~20 s的运动能力有重要意义。我国目前对静水皮艇200 m的认识低估了有氧供能的重要性。静水皮艇200 m能量代谢的时序特征可以作为制定训练计划和评价运动能力的重要生物学基础。

关键词: 能量代谢;测功仪;训练

中图分类号: G804.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2014)01-0062-04

Energy Supply Characteristics of 200m Kayak Sprint

LI Yongming

(Faculty of Sport Science, University of Leipzig, Leipzig 04109, Germany, Guangdong International Rowing & Canoeing Center, Guangzhou 510545, China)

Abstract: In order to study the energy supply characteristics of 200m kayak sprint, 29 junior kayakers were selected for a 40s simulation 200m race on ergometers. Parameters of the subjects' gas metabolism and blood lactic acid were collected and calculated for energy metabolism with the calculation method introduced by Bencke et al. The result demonstrates that the energy supply proportion of the three systems of 200m kayak sprint is 39.4% (anaerobic alactic acid), 28.8% (anaerobic lactic acid) and 31.8% (aerobic) respectively. The energy supply of 200m kayak sprint in the first 10s is from anaerobic alactic system. The energy supply in 10-20s (or 30s) comes from anaerobic lactic acid system. And aerobic energy supply plays an important role in the last 10-20s. At present, the contribution of aerobic energy supply is underestimated in China. The timing characteristics of the energy metabolism in 200m kayak sprint can be regarded as an important biological basis for working out training program and evaluating performance ability.

Key words: energy metabolism; ergometer; training

0 引言

静水皮艇200 m自1994年成为世界锦标赛的比赛项目。2009年,国际皮划艇协会通过决议,将200 m纳入奥运会比赛项目。在奥运会历史首秀中(伦敦奥运会),200 m皮艇的3个小项决赛A选手的平均成绩分别为36.8 s(男子单人皮艇)、34.8 s(男子双人皮艇)和45.5 s(女子单人皮艇)^[1]。我国有关200 m静水皮艇的项目特征和训练的探索自2009年开始,但是并未取得实质性进展。在2010年的亚运会上,我国这3个项目均输给日本选手。我国这3个项目也没有取得2012年奥运会的参赛资格。

早期对静水皮艇200 m供能特征的认识主要来自其他相似持续时间的项目的借鉴,或者教科书中有关供能特征的图表(如Astrand等人编的生理学教材^[2])。1997年,Byrnes和Kearney首次对200 m皮艇项目进行供能特征的研究,并得出200 m静水皮艇的有氧供能比例为37%~40%(40 s)^[3]。日本学者2008年也对此项目进行类似研究,

得出的有氧供能比例为29.0%^[4]。此惟一两篇有关静水皮艇200 m供能特征的研究却在有氧供能比例上存在较大差异。

鉴于我国有关静水皮艇200 m项目特征和训练的探索刚刚起步,以及国外对此项目供能特征的研究相对不足,本研究将选取相对大样本量的皮艇运动员进行静水皮艇200 m的模拟比赛,以探求此项目的供能特征,为我国静水皮艇200 m的进一步发展提供生物学依据。

1 研究对象和方法

某省静水皮划艇二队的29名健康青少年皮艇运动员(男15名,女14名,见表1)自愿参加本研究测试。测试内容为皮艇测功仪(Dansprint, I Bergmann A/S, Hvidovre, Denmark)40 s全力。受试者被要求测试前一天不要进行剧烈运动,测试前2 h不要进食。所有测试均在1月份进行,测试环境为气温19℃,湿度51%,气压1007 mbar,海拔11 m。

在调试好测功仪脚踏板与座位的距离后,受试者在测

收稿日期: 2013-11-24

基金项目: 广东省体育局2012-2013奥运全运专项科研项目(2012ONS014)。

作者简介: 黎涌明,男,湖南,博士研究生在读,助理研究员,清华大学体育部硕士毕业。主要研究方向:运动生理学和训练学。

作者单位: 德国莱比锡大学体育科学学院,莱比锡04109;广东省船艇训练中心,广州510545



表 1 受试者基本信息

Table I General Information of the Subjects

N=29	身高 /cm	体重 /kg	年龄 / 年	训练经年限 / 月
M	178.5	70.6	15.0	16.1
SD	7.4	7.5	1.4	9.8

功仪(阻力系数为3)上以自选强度进行10 min的准备活动。休息5 min后,受试者进行40 s的全力划,以进行200 m比赛的模拟。采集准备活动前、休息过程中第1 min和第5 min、全力划后第1、3、5、7和10 min的耳血20 μ L。运用便携式气体代谢仪(MetaMax 3B, Cortex Biophysic GmbH, Leipzig, Germany)进行全程气体测试。测试前按照厂家要求进行标准气压、气体和气量的校准,标准气体浓度为O₂-15.00%和CO₂-5.00%,气筒容积为3 L。运用血乳酸分析仪(BIOSEN S line, EKF Diagnostic, Barleben, Germany)对采取的血样进行分析,心率监测采用Polar心率表(Polar Accurex Plus, Polar Electro Oy, Kempele, Finland)。运用测功仪配套软件可以对功率、速度和桨频进行实时显示和记录。全力划过程中,实验人员对受试者进行口头鼓励,以保证受试者尽量全力完成。

运用Beneke等人首提的能量代谢计算方法对受试者40 s全力划过程中的能量代谢进行计算^[5,6]。有氧供能部分(WAER)来自全力划过程中的累积净摄氧量(VO₂) [WAER = 累积净摄氧量(ml) × 能量当量(J·ml⁻¹)], 无氧无乳酸供能部分(WPCR)来自全力划后氧亏的快速部分(VO₂PCR) [WPCR = VO₂PCR(ml) × 能量当量(J·ml⁻¹)], 无氧乳酸供能部分(WBLC)来自全力划过程中的净累积血乳酸 [WBLC = 净累积血乳酸(mmol·l⁻¹) × 氧气-乳酸换算系数(ml·kg⁻¹·mmol⁻¹·l) × 体重(kg) × 能量当量(J·ml⁻¹)]。全力划过程中的实际累积VO₂减去安静值(本研究采用男子4.0 ml·kg⁻¹·min⁻¹, 女子3.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹的固定安静值^[7])即累积净摄氧量。运动后前3 min(氧亏快速部分)和后7 min(氧亏慢速部分)的摄氧量的指数趋势线在前3 min内进行相减即VO₂PCR^[8-10]。净累积血乳酸为全力运动后最高血乳酸与全力运动前即刻的血乳酸之差。氧气-乳酸换算系数采用3.0 ml·kg⁻¹·mmol⁻¹·l^[11]。当呼吸商>1.0时,1 ml氧气所产生的热量对应为21.131 J^[12]。

本研究的所有数据均以平均值(M)和标准差(SD)的形式呈现。

2 结果

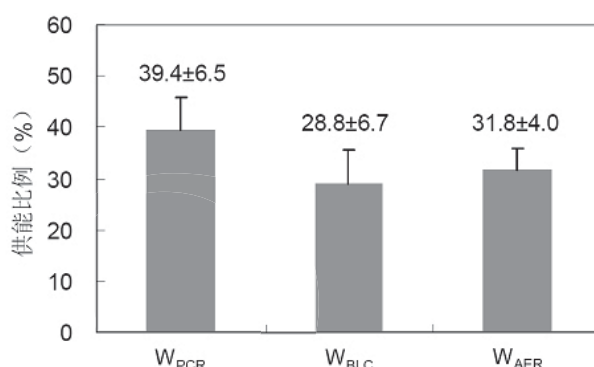
测功仪40 s全力划的功率和能量代谢情况见表2, 三大供能系统(无氧无乳酸供能、无氧乳酸供能和有氧供能)的供能比例见图1。

将29名受试者在40 s全力划过程中的功率、VO₂、心率、速度和桨频进行平均后,得到40 s全力划各指标的时序特征(图2)。功率在开始运动后5 s左右达到最大值,然后缓慢下降,到运动结束时约降为最大值的75%。速度和桨频在第5~10 s间达到最大值,之后也缓慢下降至最大值的90%。VO₂经过5 s延迟后迅速增加至第20 s(约达最大值的80%),之后进行缓慢增长区。心率则最大值的70%缓慢增加至100%。

表 2 40 s 全力划功率和能量代谢情况 (N = 29)

Table II Power and Energetic Metabolism in 40s All-out Paddling (N = 29)

指标	单位	M	SD
功率	watt	220	56
最大血乳酸	mM	7.9	1.8
最高心率	bpm	175	10
累积VO ₂	l	1.568	0.391
WPCR	kJ	36.2	9.5
WBLC	kJ	26.9	10.0
WAER	kJ	29.4	7.9
WTOT	kJ	92.4	21.6



注: WPCR = 无氧无乳酸供能, WBLC = 无氧乳酸供能, WAER = 有氧供能, WTOT = 总供能

图 1 40 s 全力划能量供能比例 (N = 29)

Figure 1 Energy Supply Proportion in 40s All-out Paddling (N = 29)

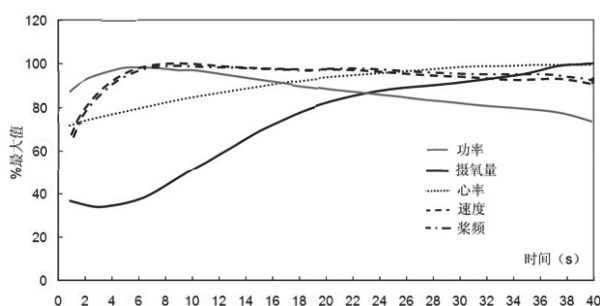


图 2 40 s 全力划各指标时序特征 (N = 29)

Figure 2 Timing Characteristics of the Different Indicators in 40s All-out Paddling (N = 29)

3 讨论

本研究选取29名青少年运动员在测功仪上进行静水皮艇200 m比赛的模拟,以探究该项目的供能特征。结果表明,静水皮艇200 m为无氧供能为主的项目(68.2%),其中无氧非乳酸供能比例最高(39.4%),但是有氧供能的比例(31.8%)却比以往Astrand等人给予的数值要高^[2],也高于国内目前对此项目的认识(20%)^[13],但是与国外研究的结果相似。Byrnes和Kearney首次对200 m皮艇项目进行供能特征的研究,并得出的有氧供能比例为37~40%(40 s)^[3]。日本学



者2008年也对此项目进行类似研究,得出的有氧供能比例为29.0%^[4]。黎涌明等对40 s静水划艇水上测试的结果表明有氧供能比例为34.5%^[14]。Byrnes和Kearney,以及日本学者在计算能量代谢量运用的是最大累积氧亏法,此方法自1988年被Medbo等人提出后一直受到争议^[15-17],并且在计算短时间(如40 s)高强度运动时存在对有氧供能比例的高估(黎涌明,未公开发表)。本研究所采用的能量代谢计算方法为Beneke等人在综合Rodolfo Margaria^[18]、P.E. di Prampero^[11]、Juergen Stegemann^[19]等人研究的基础上于2002年提出来的^[5,6],目前已被用于空手道、花样滑冰等项目^[6,20-23]。相比于最大累积氧亏法,本研究所采用的方法能够进一步将无氧供能部分细分为无乳酸供能和乳酸供能,这对于短时间高强度运动的意义更大。人体三大供能系统中,无氧无乳酸和无氧乳酸总供能量是与人体的肌肉量相关的,每公斤湿肌的无氧无乳酸供能量为20~25 mmol ATP,无氧乳酸供能量为50 mmol ATP^[24]。因此,发展肌肉横断面和增加肌肉质量对于静水皮艇200 m的意义尤为重要,因为肌肉质量的增加可以带来无氧供能量的增加(68.2%的供能部分),尤其是无氧无乳酸的供能(39.4%的供能部分)。对伦敦奥运会决赛A选手的体重统计表明,男子200 m选手平均体重高于1 000 m选手2.0 kg,而女子200 m选手反而低于500 m选手1.0 kg。这是因为静水皮艇200 m项目中,男子有3个项目,而女子只有1个项目,并且供能特征方面200 m和1 000 m差异比较大(有氧供能比例分别约为30%和75%),而200 m和500 m差异相对小(有氧供能比例分别约为30%和60%)^[1],因此女子200 m项目的选手多为500 m的兼项选手,而男子200 m项目的选手则已从1 000 m项目的选手中分离出来执行单独的训练计划,并且他们的训练内容增加了力量训练的比例,并由此带有肌肉质量(和体重)的增加。

静水皮艇200 m为奥运会的新设项目,对于此项目的研究也相对不足。本研究对象为29名青少年运动员,其平均功率为220 watt,为Nakagaki等人对日本大学生运动员的研究结果的下限(217~377 watt);本研究的累积 VO_2 为1.568 l,处于日本大学生运动员的范围(1.110~1.819 l)^[4]。本研究的最大血乳酸为7.9 mM,高于van Someren对英国成年运动员的研究结果(6.7 mM);本研究的最大心率为175 bpm,同样高于英国成年运动员的研究结果(169 bpm)^[25]。但是由于本研究所选取的研究对象和Nakagaki、van Someren等人所选取的研究对象一样未经过200 m项目的系统训练,因此在肌肉质量和能量代谢方面可能呈现耐力型特征,即无氧供能总量少、有氧供能调动慢^[26]。静水皮艇200 m世界比赛奖牌选手的最高血乳酸可以高达13~15 mM,与500 m和1 000 m的最高血乳酸一样^[27]。但是鉴于系统的200 m训练不仅能够提高短时间无氧供能的能力,也能够提高有氧供能的调动能力,因此训练水平对供能比例没有影响(黎涌明,未公开发表),本研究选用青少年运动员得出的有关供能比例的结果同样可以代表成年运动员。

40 s测功仪全力划各指标的时序特征反映了此项目能量代谢的过程。功率在运动后5 s左右达到最大值,速度和桨频在第10 s左右达到最大值,此过程的能量供应主要来自磷酸原,因为 VO_2 在此过程中还未调动起来,并且只有无

氧无乳酸供能的功率才能满足起航5~10 s期间高的输出功率要求^[28],功率、速度和桨频在起航阶段的时序特征与赛艇项目相似^[29]。此 VO_2 在经过5 s延迟后迅速增加,到第20 s左右进入缓慢增长期,此阶段之前磷酸原大量被消耗,而有氧供能还未被充分调动起来,此能量供应的空缺由无氧乳酸供能完成。尽管40 s全力划过程中有氧供能比例只占31.8%,但是有氧供能在40 s全力划的后程(第20~40 s,尤其是最后10 s)占据重要作用,即占31.8%的有氧供能主要在后半程发挥作用。

40 s全力划的这些供能特征是制定200 m训练计划和评价运动能力的重要生物学基础。首先,静水皮艇200 m有氧供能比例为31.8%,以往对此项目的认识,以及国内目前对此项目的认识,都低估了有氧供能的重要性。在冬训过程中,静水皮艇200 m项目除了发展力量外,同样需要加强有氧能力的训练。德国教练员甚至认为,200 m运动员在冬训中可以实施和500 m、1 000 m运动员一样的训练计划(个人交流)。其次,静水皮艇200 m项目的运动员在年度训练中需要加大力量训练的负荷,进一步发展肌肉质量,以储备无氧供能的物质基础。再次,10 s和20 s(或30 s)可以作为评价全程(40 s)供能能力的时间点,前10 s主要反映无氧无乳酸供能,第10~20 s(或30 s)主要反映无氧乳酸供能,第20 s(或30 s)~40 s主要反映有氧供能。日本选手在2010年亚运上的取得静水皮艇200 m 3个项目的金牌可能也与Nakagaki等人于2008年开展的200 m供能特征的研究有关。

4 结论

4.1 静水皮艇200 m三大供能系统的供能比例分别为39.4%(无氧无乳酸)、28.8%(无氧乳酸)和31.8%(有氧),我国目前对此项目的认识低估了有氧供能的重要性。

4.2 静水皮艇200 m能量代谢的时序特征可以作为制定训练计划和评价运动能力重要生物学基础。前10 s能量供应主要来自无氧无乳酸系统,第10~20 s(或30 s)能量供应主要来自无氧乳酸系统,有氧供能对于最后10~20 s的运动能力有重要意义。

参考文献:

- [1] 黎涌明. 伦敦奥运会静水皮划艇比赛格局分析[J]. 中国体育教练员, 2012, 4:57-59.
- [2] Astrand, P. O. and Rodahl, K. (1970). Textbook of Work Physiology[M]. New York: McGraw-Hill.
- [3] Byrnes, W. C. and Kearney, J. T. (1997). Aerobic and Anaerobic Contributions During Simulated Canoe/Kayak Sprint Events 1256[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(5): 220.
- [4] Nakagaki, K.;Yoshioka, T. and Nabekura, Y. (2008). The Relative Contribution of Anaerobic and Aerobic Energy Systems During Flat-Water Kayak Paddling[J]. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* 57:261-270.
- [5] Beneke, R.;Pollmann, C.;Bleif, I., et al. (2002). How Anaerobic Is



- the Wingate Anaerobic Test for Humans?[J]. *Eur J Appl Physiol*, 87(4-5): 388-392.
- [6] Beneke, R.;Beyer, T.;Jachner, C., et al. (2004). Energetics of Karate Kumite[J]. *Eur J Appl Physiol*, 92(4): 518-523.
- [7] Ciba-Geigy. (1985). Wissenschaftliche Tabellen Geigy[M]. Basel: Ciba-Geigy.
- [8] Margaria, R.;Edwards, H. T. and Dill, D. B. (1933). The Possible Mechanism of Contracting and Paying the Oxygen Debt and the Role of Lactic Acid in Muscular Contraction[J]. *American Journal of Physiology*, 106:689-714.
- [9] Knuttgen, H. G. (1970). Oxygen Debt after Submaximal Physical Exercise[J]. *J Appl Physiol*, 29(5): 651-657.
- [10] Roberts, A. D. and Morton, A. R. (1978). Total and Alactic Oxygen Debts after Supramaximal Work[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 38(4): 281-289.
- [11] Di Prampero, P. E. (1981). Energetics of Muscular Exercise[J]. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*, 89:143-222.
- [12] Stegmann, J. (1991). Leistungsphysiologie: Physiologische Grundlagen Der Arbeit Und Des Sports[M]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 56-59.
- [13] 田中和,陈贵岐. 皮划艇项目的训练监控[J]. 沈阳体育学院学报, 2011, 30(5): 87-90.
- [14] Abenavoli, A.;Montagna, M. and Malgaroli, A. (2001). Calcium: The Common Theme in Vesicular Cycling[J]. *Nat Neurosci*, 4(2): 117-118.
- [15] Bangsbo, J. (1992). Is the O₂ Deficit an Accurate Quantitative Measure of the Anaerobic Energy Production During Intense Exercise?[J]. *J Appl Physiol*, 73(3): 1207-1209.
- [16] Bangsbo, J. (1998). Quantification of Anaerobic Energy Production During Intense Exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 30(1): 47-52.
- [17] Duffield, R.;Dawson, B. and Goodman, C. (2004). Energy System Contribution to 100-M and 200-M Track Running Events[J]. *J Sci Med Sport*, 7(3): 302-313.
- [18] Margaria, R.;Edwards, H. T. and Dill, D. B. (1933). The Possible Mechanisms of Contracting and Paying the Oxygen Debt and the Role of Lactic Acid in Muscular Contraction[J]. *American Journal of Physiology -- Legacy Content*, 106(3): 689-715.
- [19] Stegmann, J. (1977). Leistungsphysiologie: Physiologische Grundlagen Der Arbeit Und Des Sports[M]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 66-76.
- [20] Bernardi, M.;Quattrini, F. M.;Rodio, A., et al. (2007). Physiological Characteristics of America's Cup Sailors[J]. *J Sports Sci*, 25(10): 1141-1152.
- [21] Bertuzzi, R. C.;Franchini, E.;Kokubun, E., et al. (2007). Energy System Contributions in Indoor Rock Climbing[J]. *Eur J Appl Physiol*, 101(3): 293-300.
- [22] Bussweiler, J. and Hartmann, U. (2012). Energetics of Basic Karate Kata[J]. *Eur J Appl Physiol*.
- [23] Hermsdorf, M.;Spiegel, S.;Knoll, K., et al. (2011). Entwicklung Eines Energetisch Orientierten Anforderungsprofils Im Eiskunstlaufen[M]. Bonn: Bundesinstitut fuer Sportwissenschaft, 165-170.
- [24] Greenhaff, P. L.;Hultmann, E. and Harris, R. C. (2004). Carbohydrate Metabolism[M]. Basel: Karger, 109-151.
- [25] Van Someren, K. A. (2000). Physiological Factors Associated with 200 M Sprint Kayak Racing[D]. London: University of Surrey.
- [26] Gastin, P. B. (2001). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise[J]. *Sports Med*, 31(10): 725-741.
- [27] Nikonorov, A. Coaching Strategy for 200m Racing[R]. Catoira, Spain: 2012.
- [28] Mader, A. (2003). Glycolysis and Oxidative Phosphorylation as a Function of Cytosolic Phosphorylation State and Power Output of the Muscle Cell[J]. *European journal of applied physiology*, 88(4): 317-338.
- [29] Hartmann, U.;Mader, A.;Wasser, K., et al. (1993). Peak Force, Velocity and Power During Five and Ten Maximal Rowing Ergometer Strokes by World Class Female and Male Rowers[J]. *Int. J. Sports Med.*, 14(Supplement 1): 42-44.

(责任编辑: 何聪)