



皮划艇项目有氧能力的评价方法

王玺, 高炳宏

摘要: 有氧能力是皮划艇项目运动能力的基础, 作为高强度、高乳酸的无氧糖酵解和有氧氧化供能的项目, 皮划艇运动员的有氧耐力水平对运动成绩有着决定性的影响。结合皮划艇项目特征及供能特点, 分析皮划艇有氧能力测试过程中多种评价方法(3 000 m耐力跑测试、最大摄氧量测试、高强度负荷后血乳酸测试和无氧阈测试等)。在诸多有氧能力评价方法中无氧阈测试有着广泛而有效地使用历史, 其中以4 mmol/L乳酸阈(AT4)与个体乳酸阈(IAT)应用最为广泛, 而心率无氧阈或可成为皮划艇项目无氧阈研究的新热点。

关键词: 皮划艇; 有氧能力; 无氧阈

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2014)03-0044-04

Evaluation Methods of Canoeist's Aerobic Capacity

WANG Xi, GAO Binghong

(Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China)

Abstract: Aerobic capacity is the basis of canoeing. As a sport which needs high strength, high lactate anaerobic glycolysis and aerobic oxidation energy supply, canoeist's aerobic endurance level has a decisive impact on his performance. Based on the characteristics of the sport and the feature of energy supply, the article analyzes some evaluation methods in aerobic capacity measurement, i.e., 3000m endurance running test, maximum oxygen uptake test, blood lactic acid and anaerobic threshold measurement after high intensity load. Of all the aerobic capacity evaluation methods, anaerobic threshold measurement has been widely and effectively used, especially AT4 and IAT. And HRAT (heart rate anaerobic threshold) may become a new hot spot in anaerobic threshold research of canoeing.

Key words: canoeing; aerobic capacity; anaerobic threshold

1 皮划艇项目特征及供能特点

皮划艇最早起源于英国, 分为皮艇和划艇两个项目, 因为二者规则、场地、距离和裁判方法基本相同, 所以统称为皮划艇项目。在奥运会皮划艇项目比赛中, 又分为200 m、500 m和1 000 m, 比赛距离的长短导致机体供能的不同。

前苏联有研究表明皮划艇运动是负荷强度较高的速度耐力性项目, 运动的前期是糖的无氧酵解提供能量, 而中后期则是由糖的有氧氧化提供能量^[1]。国际划联 Szanto 深入研究了皮划艇项目不同时间的能量供应及比例后认为, 在皮划艇运动中 ATP-CP 供能约为 10 s, 之后主要是无氧糖酵解供能约为 40 s, 随着运动时间的持续增长, 糖的有氧氧化供能比重开始增大。但是王卫星^[2]却认为, 皮划艇运动与跑步等项目不同, 它并不依靠大肌肉群作用于地面从而获得加速度, 所以皮划艇起航速度不可能很快, 他认为 ATP-CP 供能约 20 s, 之后开始糖酵解供能, 20~60 s 产生一定量的乳酸, 60~120 s 乳酸在体内持续堆积。无论是以上哪种观点, 我们可以看出, 在皮划艇运动中, 并没有单一的供能系统, 只是各个供能系统在供能的比例与时间的长短上存在一定的差异。从表 1 中我们也可以看出不同距离的皮划艇比赛因时间长短不同, 有氧代谢和无氧代谢

表 1 不同距离皮划艇比赛氧气需求和有氧代谢的供能比例
Table 1 Proportions of Oxygen Demand and Aerobic Metabolic Energy Supply in Different Distance Canoeing Races

距离 /m	氧气消耗量 /L	无氧代谢 /%	有氧代谢 /%
200	25	80	20
500	35	50	50
1000	50	35	65
2000	80	30	70
5000	180	10	90
10000	280	5	95

的比例差异也较大。

皮划艇不同距离比赛持续时间不同, ATP 合成的途径不同, 随着距离的增加, 持续时间的增长, 有氧代谢所占的比例增大, 但这并不是说明短距离项目(尤其是 200 m)是以无氧能力为主的。现在仍有不少教练认为, 对于像 200 m 这样的短距离项目, 大量、高强度的速度训练能够提高耐乳酸能力, 进而提高成绩, 从而忽略了长距离的有氧耐力训练。在皮划艇比赛中, 高水平的比赛总是在最后几十米才

收稿日期: 2014-04-11

基金项目: 上海市科委科研攻关项目(12231203000)。

第一作者简介: 王玺, 女, 硕士研究生, 研究实习员。研究方向: 运动员身体机能评定。

作者单位: 上海体育科学研究所, 上海 200030



分出胜负,而此时,大量的乳酸在体内堆积。有氧能力越好,乳酸消除得越快,同样在大强度运动后血乳酸的消除速度可以反映运动员的有氧能力^[3]。氧化供能是运动后主要消除乳酸的途径,乳酸主要在II型快肌纤维内生成,约50%通过血液运输至骨骼肌、心肌等氧化代谢,而另外50%则通过“乳酸穿梭”进入I型肌纤维和IIa型快肌纤维被氧化利用^[4]。因此乳酸的消除和骨骼肌、心肌等氧化代谢能力高度相关^[5]。作为高强度、高乳酸的无氧糖酵解和有氧氧化供能的项目,皮划艇运动员的有氧耐力水平对运动成绩有着决定性的影响。

2 皮划艇运动员有氧能力的评定

2.1 3 000 m 耐力跑测试

国际上通常采用3 000 m耐力跑测试作为评定皮划艇运动员一般耐力水平的方法,并结合血红蛋白和血乳酸等测试^[6]。有研究^[7]表明皮划艇运动员的3 000 m跑成绩与其专项成绩呈正相关。现在我国国家皮划艇队依然将3 000 m跑作为皮划艇运动员测试的重要指标之一。

2.2 最大摄氧量(VO_{2max})

VO_{2max} 体现机体有氧代谢的潜力,同时也反映了机体对氧气的利用能力。尚文元等^[8]通过跑台递增负荷测试皮划艇运动员的 VO_{2max} 发现,我国优秀皮划艇运动员的 VO_{2max} 均低于国际优秀赛艇运动员,与Tesch研究报道的瑞典优秀皮划艇运动员用跑台测得 VO_{2max} 相比也稍差。考虑到皮划艇项目是以上肢做功发力带动船艇前进的运动,上肢的运动方式和幅度远多于躯干和下肢,故运动员上肢做功能力更为发达,而用跑台的形式测得的 VO_{2max} 的数值并不能真正意义上反应项目的特点,测得的结果对专项能力的评价有所欠缺。但是皮划艇测功仪可以模拟水上专项训练,能够基本反映运动员的体能情况。Bishop等^[9]通过皮划艇测功仪测试女子皮艇运动员 VO_{2max} ,发现, VO_{2max} 与500 m成绩呈显著正相关,间接说明 VO_{2max} 对皮划艇成绩的重要性。但是大量研究表明 VO_{2max} 可塑性较差,受遗传因素影响较大,在成年后变化幅度不大。因此正如田中所言, VO_{2max} 可以作为反映运动员有氧能力的敏感指标,但是却不能反映有氧能力的动态变化^[5]。

2.3 高强度负荷后血乳酸值

研究表明运动后乳酸的扩散、转移、消除与心肌和骨骼肌的氧化代谢能力高度相关,这也正是乳酸消除速度反应有氧能力的理论支持。

有分析表明,在皮划艇比赛中,运动员的血乳酸可达到15 mmol/L,其所需要的正是高强度的有氧能力。有人曾采用递增负荷的方式以最大强度65%,75%,85%,90%测试男子皮划艇运动员的血乳酸值,发现血乳酸阈值同有氧耐力水平高度相关,且训练水平高者,耐乳酸能力越强。运动后所产生的大量乳酸需要尽快消除,尚文元等通过测定国家队优秀皮划艇运动员力竭运动后恢复10 min的血乳酸(9~15 mmol/L)发现,血乳酸的高峰期普遍延迟,乳酸清除缓慢,肌肉代谢乳酸的能力较差。这说明我国皮划艇运动员肌肉代谢乳酸清除能力较差,我们常说的速度耐力

不足,正是由于乳酸清除能力差而导致的乳酸耐受能力较差和高功率做功的持续时间较短,进而说明我国皮划艇运动员的有氧代谢能力有待提高。

2.4 无氧阈

VO_{2max} 是决定有氧耐力的生理基础,但是通常情况下运动员是在低于 VO_{2max} 的亚极限下完成运动负荷,且 VO_{2max} 后天改变几率较低。同 VO_{2max} 相比,无氧阈表现出了更好的可塑性, VO_{2max} 相似的运动员,成绩的好坏往往取决于无氧阈。无氧阈是指人体在进行体力性负荷时,体内的能量代谢类型以有氧代谢供能为主逐渐转向无氧代谢供能为主的临界点,由Wasserman等人于1964年首次提出^[10]。经过多年的实验研究证明,相比 VO_{2max} ,无氧阈与皮划艇项目运动成绩相关性更为密切^[9],且随着运动成绩的增长,无氧阈仍可继续增高。所以用无氧阈来评价皮划艇有氧能力的变化和运动成绩更加客观与准确。

2.4.1 通气无氧阈(VT)

有氧运动过程中主要有氧代谢强度是无氧阈强度。所谓无氧阈强度是指在递增负荷时,达到代谢性酸中毒和随之而来的气体交换前的耗氧水平。判断通气无氧阈点的首选标准即是在 VO_{2max} 测试中找到呼出 CO_2 急剧升高的拐点。无氧阈强度的评价是根据 VO_2-AT 占 VO_{2max} 的比例,比例越高,有氧能力越强。尚文元^[8]通过跑台递增负荷测试发现我国优秀皮划艇运动员 $VT\%VO_{2max}$ 达到78%~80%[女皮(80.7±2.5)%,男皮(78.2±1.8)%,男划(78.9±3.7)%],接近优秀马拉松运动员水平。

2.4.2 乳酸无氧阈(AT)

血乳酸是体育科研历史中应用最长也最为广泛的一个指标,建立在血乳酸理论之上的乳酸阈常用来衡量机体乳酸能系统能力,在耐力性为主的项目中,常用在训练过程中对训练强度的控制、评价身体对训练的适应和测定运动训练的效果上。

2.4.2.1 4mmol/L 乳酸阈(AT4)

AT4的概念首先由Mader在1976年首次提出,他之处乳酸达到4mmol/L时所对应的运动强度是能够维持长时间运动的最大负荷强度^[11]。AT4一直被认为是在运动时间中应用最为广泛的指标,但是它是否能够有效代指代无氧阈也是颇有争议。从表2中我们可以看出,AT4作为无氧阈评价的指标,一直应用于对于皮划艇项目有氧评价当中。同时我们从表格中也可看出,随着研究的深入,评价皮划艇运动员的负荷方式也逐渐由一般性器材(功率自行车)逐渐转变为专项器材(皮划艇测功仪),近几年更是深入到实践当中。

事实上,随着多年的研究,以及在实际操作,无论使用功率自行车或者皮划艇测功仪,都不能更好地模拟水上实际情况,所以更多的学者开始专注于水上实践的应用。田中等在近1年的训练周期中,对国家皮艇队利用1 000 m水上专项距离对乳酸无氧阈进行4级递增负荷测试,取AT4对应的船速为乳酸无氧阈,测试结果表明随着不同的训练周期,AT呈现较大波动,田中认为这种变化时由于训练结构和效果的综合反映。但是有认为1 000 m距离过长,测得的血乳酸已



表2 皮划艇运动员乳酸无氧阈(AT4)测试方式
Table II AT4 for the Measurement of Canoeist's Lactic Acid Anaerobic Threshold

	负荷方式	作者	时间
男皮艇	上肢转动曲柄	Tesch等	1984
皮划艇	功率自行车	Nickelson	1984
男皮艇	功率自行车	乔居庠等	1986
男皮艇	皮艇测功仪	徐菊生	1993
女皮艇	皮艇测功仪	Bishop.D	2000
男皮艇	皮艇测功仪	Van等	2002
皮划艇	水上1000m	田中等	2008
皮划艇	水上250m	申霖等	2010

经不是最高值, 100 m 距离过短, 运动员完成后血液中的血乳酸尚未达到最高值。在此基础上, 申霖采用水上 250 m 递增负荷测试乳酸阈。他选取广东省皮划艇队 15 名重点运动员, 按照五级递增强度(以技术划为第一级强度, 到第四级强度达到最大, 第五级回归技术划), 在水上划 250 m, 在每级结束后的 2~3 min 内完成采血。为了得到更准确的数值, 他将运动成绩按照温度、风速、风向换算表进行换算, 并且将每次的测试结果都换算成统一标准(水温 30°C), 取 AT4 所对应的 250 m 专项成绩为乳酸无氧阈, 结果表明在一个中周期(大约 4 周)的训练后, 运动员的该乳酸阈曲线右移, 说明运动员有氧能力有显著提高, 他还发现乳酸阈成绩与专项成绩显著正相关。同时, 对比田中与申霖的研究结果可以看出, 训练周期的长短同样对乳酸阈的影响不同, 在不同的训练周期当中应该密切关注乳酸阈的变化。

2.4.2.2 个体乳酸阈(IAT)

在运动训练实践中, 运动员在无氧阈负荷下, 血乳酸变化个体差异很大, 并非每个运动员的乳酸无氧阈是 4mmol/L。所以, 越来越多的人认为确定每一个运动员的个体无氧阈, 才能评价他的有氧代谢能力。

张林^[13]研究发现, 让皮划艇运动员在测功仪上进行递增负荷(强度 30%, 60%, 75% 和 100%), 男女皮运动员的 IAT 浓度均值皆小于 4 mmol/L, 且不同运动员之间个体乳酸阈差异较大。IAT 功率值也低于 AT 功率值。说明训练中对所有运动员均采用血乳酸 4 mmol/L 为无氧阈缺乏针对性, 只有控制训练在运动员自己的 IAT 值的负荷强度, 才能使运动员的有氧代谢能力有所提高。当然, 在训练实践中, 要做到对每一个运动员进行个体乳酸阈训练是相当有难度的。所以笔者认为, IAT 训练适合个别优秀运动员。

2.4.2.3 最大乳酸稳态(MLSS)

理论上 MLSS 能够准确反映无氧阈的水平, 它指恒定负荷运动时不引起乳酸持续堆积的最高乳酸浓度和最大负荷量^[14]。MLSS 广泛应用于许多项目无氧阈测试方案的判别^[15]。用 MLSS 判定皮划艇运动员 AT 和 IAT 测试有效性的报导尚未见到, 赛艇运动员的评价也并不多见。准确获取 MLSS 需要至少 3~6 次不低于 30 min 的恒定负荷测试, 且每次间隔 2 d 以上, 也许这也是它为什么在较难在实践

中开展的原因。但是还是有一些文献可以给我们提供参考, Beneke 研究发现赛艇运动员 AT4 与 IAT 功率显著高于 MLSS 功率, 且两两间高度相关。郜卫峰^[16]结合了赛艇专项运动特点, 利用赛艇专用测功仪 Concept II 对 10 名公开级运动员进行 1 次递增负荷获取 AT4 和 IAT, 分别以 AT4 和 IAT 作为初级负荷, 以 2.5%IAT 作为最小调整负荷进行 2~4 次 30 min 恒定负荷测试, 以运动中第 10~30 min 乳酸上升小于 1 mmol/L 作为判定标准获取 MLSS。结果发现, 10 人中仅 2 人完成 30 min AT4 强度的恒定负荷, 只有 1 人达到 MLSS, 同时 10 人均能以 IAT 完成 30 min 恒定负荷测试, 且有 5 人达到 MLSS。所以他认为 AT4 高估了赛艇运动员的无氧阈水平, 而 IAT 可以作为赛艇运动员无氧阈训练空间的有效负荷区间。

2.4.3 肌电无氧阈

研究发现在进行递增负荷练习时, 随着运动强度的增大, 活动肌肉的肌电值呈直线增加, 达到一定负荷时, IEMG 值的增大出现非线性偏离, 这一偏离成为积分肌电阈^[17]。

2.4.4 心率无氧阈

1982 年, Conconi 研究发现, 在跑步时心率与跑速呈线性增加, 但当跑速增加到一定速度后, 随着速度的增加, 心率增加下降, 呈非线性偏离。Conconi 称其为“偏转率”, 将心率拐点称为“心率偏离点”(HADP)。之后, Conconi 又证明了偏转率和无氧阈相关, 并且他得出结论, 认为心率-跑速关系可以作为无创性评价跑步运动员无氧阈的方法。多年来有许多研究人员证明了 Conconi 同样适用于其他运动项目。

关于 Conconi 法在皮划艇中应用尚未发现, 在同属于划船类的赛艇项目的应用较多。Droghetti 最早将 Conconi 法运用于赛艇项目, 通过测功仪测试发现心率拐点和乳酸拐点二者相关, 林家仕等^[18]利用赛艇测功仪结合赛艇专项运动特点对 Conconi 法进行修改。通过 12 名赛艇运动员在测功仪上进行递增负荷测试(1' 55, 1' 50, 1' 45, 1' 40, 1' 35 所对应功率), 每级持续 3 min, 每级负荷结束时测试血乳酸, 全程佩戴心率表。研究发现, HRPD 的出现率为 83.3%, 同时发现 HRDP 时的功率、心率与 IAT 时的功率、心率具有一定的相关性, 说明 Conconi 法应用于赛艇项目具有一定的重复性和稳定性, 而且它可以作为一种无创性测定无氧阈的方法, 为赛艇专项训练提供方便。但是也有相当一部分学者对于 Conconi 测试中 HRDP 出现率的稳定性和 HRDP 时功率和心率的有效性都提出了质疑。主要是由于测试方案的不同而引起的, 不同学者的实验方案存在一定的差异, 受试对象、测试仪器、负荷强度的不同都会影响到实验的效果。Vachon 研究发现, 在室外田径场和室内跑台进行 Conconi 测试, HRDP 的出现率(100%)大于室内跑台(50%)。而且经证实, 赛艇测功仪模拟赛艇 2 km, 平均功率标准误 2%, 两次重复测试相关系数较高(0.87 和 0.96)。从另一个方面也可以间接证明心率无氧阈替代乳酸无氧阈的可靠性增强。心率无氧阈在以长跑为主的有氧耐力项目中已有诸多研究, 但在皮划艇项目研究还相当缺乏, 究竟皮划艇项目心率无氧阈是否如赛艇一般具有一定



的重复性和稳定性还不得而知。

3 小结

皮划艇是一项以高有氧耐力基础的速度型项目,皮划艇运动员有氧能力不容忽视。作为有氧能力评价的诸多指标中的无氧阈指标有着广泛而有效的使用历史,其中,AT4与IAT应用最为广泛。心率无氧阈或可成为皮划艇运动员无氧阈研究的新热点。

参考文献:

- [1] 宋应华,董小卫.皮划艇专项力量训练内容、方法及调控的研究[J].体育科学,1999,19(5):15-18.
- [2] 王卫星.2004年中国皮划艇运动员的体能训练特点与实践[J].山东体育学院学报,2005,21(2):5-8.
- [3] Li JX,So RCH,Yuan YW,et al. (1999). Muscle strain and cardiovascular stress in fencing competition[C].*Proceedings of the 5th IOC World Congress on Sports Sciences*,31(5):222.
- [4] Anna S,Valery S, (2006). Aerobic and Anareobic Capacities of Different Age and Performance Female Fencers[J].*Medsportpress*,12(2):214.
- [5] 田中,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.
- [6] 李宗涛.优秀皮划艇运动员机能评定的研究现状和思考[J].山东体育科技,2007,29(2):88-90.
- [7] 李宗涛.不同训练水平男子皮划艇运动员训练评价中某些生化指标的应用研究[D].山东,山东体育学院,2007.
- [8] 尚文元,常芸,刘爱杰等.中国优秀皮划艇运动员有氧能力测试分析[J].中国运动医学杂志,2006,25(4):443-446.
- [9] Bishop D. (2000). Physiological predictors of at-water kayak performance in women[J].*Eur J Appl Physiol*,82:91-97
- [10] 陈建宁.不同无氧阈评价方法的比较研究[J].体育科学研究,2011,15(1):1-4.
- [11] 徐桂霞.场地3600m跑测试预测AT4跑速的实验性研究[J].南京体育学院学报(自然科学版),2010,9(4):32-34.
- [12] 申霖,吴玉彪.250m递增乳酸阈测试在广东省皮划艇队十一运会周期中的应用研究[J].体育科学,2010,46(3):57-60.
- [13] 张林,黄汝从.个体无氧阈在皮划艇运动训练中的应用研究[J].中国体育科技,1997,33(6):30-33.
- [14] Billat V,Sirvent P,PY G,et al. (2003). The concept of maximal lactate steady state:a bridge between biochemistry,physiology and sport science[J].*Sports Med*,33(6):407-426.
- [15] Faude O,Kindermann W,Meyer T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they?[J].*Sports Med*,39(6):469-490.
- [16] 郇卫峰,莫少强,陈征,等.利用最大乳酸稳态测试判定赛艇运动员4mmol/L乳酸阈与个体乳酸阈有效性的研究[J].体育科学,2010,30(8):85-96.
- [17] 秦宇飞,魏宏文,曹建民.赛艇运动员有氧能力测试与评价方法研究进展[J].中国运动医学,2003,22(2):160-165.
- [18] 林家仕,刘明俊,高云清,等. Conconi测试心率偏离点评定赛艇运动员无氧阈的有效性研究[J].体育科学,2010,30(5):67-74.

(责任编辑:何聪)