



周期性耐力项目的训练量与强度

Training Volume and Intensity in Cyclic Endurance Sports

黎涌明

LI Yong-ming

摘要:周期性耐力项目训练负荷的生物学基础是不同运动方式的能量供应和能量利用特征。随着对能量代谢特征认识的深入,有氧训练对周期性耐力项目的重要性逐渐达成共识,无氧训练在周期性耐力项目中的受关注度逐渐增加。有氧训练以低强度持续训练为主,无氧训练更加关注高强度间歇训练。

关键词:负荷;生物学基础;低强度持续训练;高强度间歇训练

Abstract: The biological basis of cyclic endurance sports is the energy supply and utilization in various exercises. With the expansion of metabolic knowledge in sports, agreement on the importance of aerobic training in cyclic endurance sports is gradually reached, and more emphasis is put on the anaerobic training. Aerobic training is primarily performed in form of low intensity continuous training, while the high intensity interval training attracts more attention in anaerobic training.

Key words: load; biological basis; low intensity continuous training; high intensity interval training

中图分类号:G804.23

文献标识码:A

1 引言

运动训练是一个不断刺激和适应的过程。通过以训练负荷的形式进行刺激,以监控测试的形式了解适应,人体这个“黑箱”才逐步被打开。运动员提高运动能力所需的有效训练负荷是建立在人体生物学适应的基础上,人体在不同运动方式下运动的生物学特征决定着运动员提高运动能力所能承受的有效训练负荷。对于跑步、自行车、游泳、赛艇、皮划艇和速度滑冰这6种周期性运动项目而言,训练负荷的量与强度更易于进行量化记录和分析。然而,在训练实践过程中,不同周期性耐力项目在训练负荷方面存在着较大差异,造成这种差异的原因是主观意志,还是人体的生物学特征?本研究拟从训练量和强度的生物学基础出发,探究周期性耐力项目中与训练量和强度相关问题。

2 训练量与强度的生物学基础

人体运动是一个能量供应和能量利用的过程,运动训练是一个不断提高人体供应能量和利用能量的能力的过程。人体运动所需的能量来自磷酸原、糖酵解和有氧3大供能系统。这3大供能系统有着不同的能量供应功率(单位时间内的能量供应量)和能量供应能力(总能量供应量),磷酸原供能系统的功率最大(3~6 mmol/kg 湿肌/s),但是做功能力最小(20~25 mmol/kg 湿肌),可持续时间最短(<10 s);有氧供能系统的功率最小(0.24~0.75

mmol/kg 湿肌/s),但是做功能力最大(取决于糖和脂肪的储量),可持续时间最长(长达数小时)^[21]。

周期性耐力项目的训练强度一般可表示为运动学强度(如速度和功率)、生理学强度[如心率(HR)、血乳酸和摄氧量($\dot{V}O_2$)]和心理学强度(如自我疲劳感觉度,RPE,图1)。训练强度越高,单位时间内需要的能量就越多,这种强度下可持续的运动时间就越短。按照生理学特征,周期性耐力项目的训练强度可以划分为3个区间,这3个区间的划分依据为乳酸阈、通气阈或最大乳酸稳态(图1)。这3个区间分别对应为有氧强度(或低强度)区间、有氧-无氧混合强度(或中等强度)区间和无氧强度(或高强度)区间。区间1强度运动时的能量供应主要来自有氧供能系统,能源物质为糖和脂肪;区间2强度运动时能量供应主要来自有氧供能系统和糖酵解供能系统,能源物质主要为糖;区间3强度运动时能量供应主要来自糖酵解供能系统和磷酸原供能系统,能源物质主要为糖。

生理学强度随着运动学强度的提高而提高,但是,不

收稿日期:2014-11-15; 修订日期:2015-01-23

基金项目:国家社会科学基金资助项目(13BTY049);上海市体育局科技综合计划项目(14ZH030)。

作者简介:黎涌明(1985-),男,湖南汨罗人,副教授,博士,研究方向为运动训练和运动生理学, Tel: (021) 51253201, E-mail: 59058729@163.com。

作者单位:上海体育学院 体育教育训练学院,上海 200438

Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China.

同生理学指标却呈现出不同的特征。当运动学强度低于最大乳酸稳态强度时,HR 和 $\dot{V}O_2$ 随运动学强度的提高而成线性提高,血乳酸随运动学强度的提高不变或缓慢提高;当运动学强度高于最大乳酸稳态强度时,HR 的提高进入一个对数曲线状的缓慢提高期,直至达到 HR_{max} (图 1 曲线 I), $\dot{V}O_2$ 的提高则由于运动效率的下降,进入一个指数曲线状的快速提高期,直至达到 $\dot{V}O_{2max}$ (图 1 曲线 II),血乳酸随运动学强度的提高也呈指数型快速提高,直至达到最大血乳酸^[12,31,35](图 1 曲线 III)。不同周期性耐力项目训练强度划分的依据一样,但是,不同周期性耐力项目对应的乳酸阈、通气阈和最大乳酸稳态却可能不一样,如跑步、游泳、自行车、赛艇、皮划艇和速度滑冰的最大乳酸稳态分别为 3.44 mM、3.25 mM、4.92 mM、3.05 mM、5.40 mM 和 6.60 mM^[1]。周期性耐力项目普遍采用从多级测试中得到的 4 mM 乳酸阈来评定有氧能力和制定训练强度,而 4 mM 乳酸阈的生理学基础却是从跑步运动中得到的最大乳酸稳态。因此,4 mM 乳酸阈在应用于不同周期性耐力项目之前,需要对多级测试方法或者乳酸阈的固定值进行修正,以制定特定周期性耐力项目的正确训练强度区间^[1],如跑步项目的 3 个强度区间划分的血乳酸标准分别为 2 mM 和 4 mM,而皮划艇项目却需要对应为 3 mM 和 5 mM^[28]。

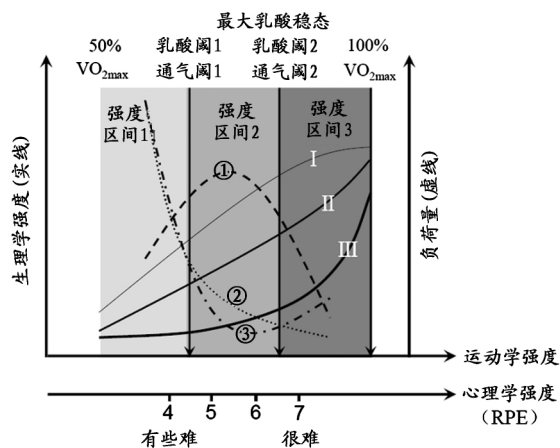


图 1 本研究训练强度划分标准与训练负荷分布模型示意图(据 Seiler 等^[38]修改)

Figure 1. Division of Intensity and Models of Load Distributions
注: I、II 和 III 对应为心率、摄氧量和血乳酸;①、②和③对应为阈值、金字塔式和两极化式负荷分布。

周期性耐力项目的训练量一般可表示为训练时间(如小时)或训练距离(如公里),常见的几个训练量指标为课训练量、天训练量、周训练量、年训练量,以及总训练量和专项训练量等。不同周期性耐力项目由于运动方式的不同,年训练时间和训练距离不一样(图 2)。在年训练时间方面,自行车和游泳属于在运动过程中有器材(如自行车)或运动介质(如水)支撑的运动项目,在克服自身体重方面做功小,运动中对支撑关节的冲击小。因此,在不导致运动损伤的前提下的可训练时间最长($>1\,000\text{ h/年}$ ^[38]);皮

划艇和赛艇同样属于运动过程中有器材(如船)支撑的运动项目。但是,运动过程中腰部需要反复屈伸或旋转,在不导致运动损伤的前提下的可训练时间较自行车和游泳小(约 800 h/年^[11,26],也可见 $>1\,000\text{ h/年}$ 的案例^[38]);越野滑雪尽管在运动过程中重心起伏小,但需要以站姿支撑自身体重,膝和踝关节需要承受一定的冲击。因此,年可训练时间也较自行车和游泳小(约 800 h/年^[38]);长跑和定项越野属于跑步类项目,运动过程中重心起伏最大,下肢关节承受的冲击力最大,年可训练时间最少(约 600 h/年^[34])(图 2)。在年训练距离方面,公路自行车的年训练公里数最大(约 30 000~35 000 km^[16]),而中距离和长距离游泳的年训练量最小(约 3 000 km^[33]),长跑、皮划艇和赛艇的年训练量则居中(约 4 500~6 000 km^[19,26,34]),决定年训练距离的原因除了年训练时间外,主要是不同运动方式的能量消耗(即前进单位距离所消耗的能量^[13],kJ/m,图 3),如相同强度下游泳前进 1 m 所消耗的能量约为自行车的 10 倍(如 4 mM 乳酸阈速度时对应为 0.95 kJ/m vs. 0.10 kJ/m)。因此,在年训练时间相似(约 1 000 h)的前提下,游泳的年训练量约为自行车的 1/10(3 000 km vs. 30 000 km)。

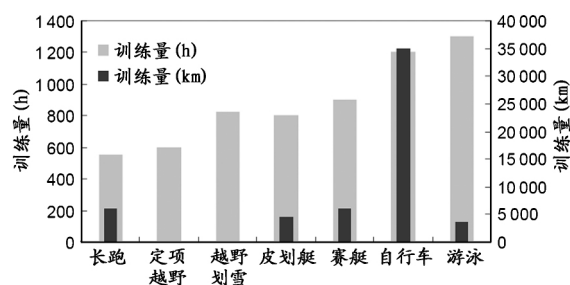


图 2 本研究不同周期性耐力项目年训练量示意图(据 Seiler 等^[38]修改)

Figure 2. Training Volumes of Selected Cyclic Endurance Sports

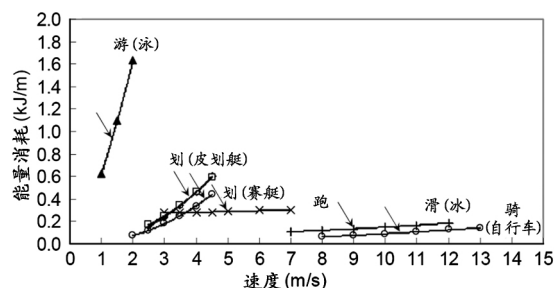


图 3 本研究不同运动方式的能量消耗示意图^[1]

Figure 3. Energy Cost in Different Exercises

注:跑(跑步) $C=0.27+0.00072V^2$ ^[13],骑(自行车) $C=0.013+0.00077V^2$ ^[13],滑(滑冰) $C=0.07+0.00079V^2$ ^[13],游(游泳) $C=0.626V^{1.38}$ ^[10],划(皮划艇) $C=0.02V^{2.26}$ ^[40],划(划艇) $C=0.0183V^{2.364}$ ^[1],划(赛艇) $C=0.016V^{2.20}$ ^[14], C =能量消耗(kJ/m), V =速度(m/s),箭头代表 4 mM 乳酸阈。

3 有氧训练 VS 无氧训练

周期性耐力项目训练量和强度制定的一个重要生物学基础是这个项目的有氧供能百分比。周期性耐力项目

的有氧供能百分比是指在特定项目比赛过程中来自有氧供能系统的能量占来自3大供能系统总能量的百分比。有关有氧供能百分比这一特征的描述是众多生理学教科书和专项论著的必有内容,这些特征是教练员认识和理解周期性耐力项目的重要理论来源^[1]。然而,目前大多数生理学教科书和专项论著中有关有氧供能百分比的信息大都来自 Astrand 等人在 20 世纪 70 年代的研究数据^[5],而后期有研究数据表明,Astrand 等人有关有氧供能百分比的数据低估了有氧供能的重要性(图 4)^[4]。Astrand 等人的数据显示,有氧供能主导和无氧供能主导的时间分界点为 2 min,而对后期大量研究数据的统计表明,这一时间分界点约为 75 s^[1,20],即长于 75 s 的周期性耐力项目都属于有氧供能主导的运动项目,有氧能力是决定这些周期性耐力项目运动能力最主要的生理学能力。

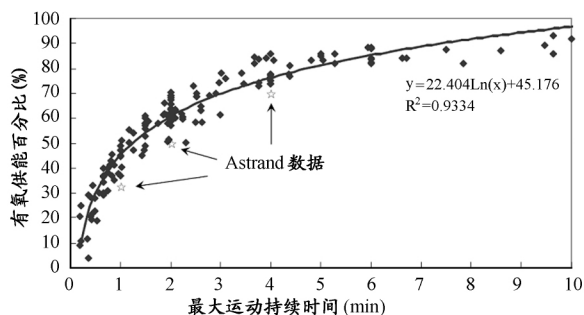


图 4 本研究周期性耐力项目有氧供能百分比示意图^[1]

Figure 4. Relative Aerobic Energy Contributions in Cycle Endurance Sports with Maximal Exertion

注:不同周期性耐力项目可将各自比赛持续时间代入图示公式,得到相应有氧供能百分比。如 2012 年 8 月,国际泳联长道的自由泳 200 m 世界纪录为 01:42,则这一持续时间所对应的有氧供能百分比为 57.1%。

随着对周期性耐力项目有氧能力重要性认识的提高,有氧训练在训练中所占的比重也逐步增加。对挪威赛艇队 30 年的训练负荷研究表明,尽管年训练负荷在 1970—1990 年期间逐步增加,但增加的训练负荷主要是有氧训练负荷,而强度训练负荷却逐渐下降^[18]。原西德国家赛艇队在 20 世纪 60 年代引进了当时田径项目盛行的间歇训练法,导致训练强度整体偏高。自 20 世纪 70 年代开始,以 Alois Mader 为代表的生理学家通过对赛艇专项供能特征的研究,揭示了有氧能力和有氧训练对于赛艇项目的重要性,并于 80 年代直接参与德国国家赛艇队的备战训练,最终成功将赛艇训练负荷从中、高强度主导拉回低强度主导^[2]。肯尼亚的中长跑运动员以高强度训练的传说而闻名,但是,对这些运动员的研究表明,这些运动员约 85% 以上的训练负荷处于乳酸阈(4 mM)强度以下^[7]。对于持续时间为 6~8 min,有氧供能百分比为 80%~85% 的项目,赛艇全年水上训练负荷的 70%~94% 为有氧训练负荷^[23,29]。对于持续时间约为 2 min,有氧供能百分比约为

60% 的项目^[8],静水皮划艇 500 m 全年水上训练负荷约 85%~88% 为有氧训练负荷^[15,19]。进入 21 世纪,有氧能力对于周期性耐力项目的重要性已基本达成共识,有氧训练也成为周期性耐力项目的主要训练内容。但是,随着国际比赛竞争的日趋激烈,目前,周期性耐力项目关注的是如何在确保有氧训练的基础上,提高无氧训练的质量。在此背景下,高强度间歇训练再次受到青睐。

4 低强度持续训练 VS 高强度间歇训练

低强度持续训练和高强度间歇训练是周期性耐力项目最常用的 2 种训练方法,在过去半个多世纪里,有关这两种方法的运用一直是周期性耐力项目争议的热点。周期性耐力项目的训练量和强度也随着人们对这两种方法训练效果的认识而发生改变。

间歇训练(Interval Training)是指,以等于或高于最大乳酸稳态的强度进行多次,次间穿插休息的,短时到中长时(10 s~5 min)的训练方法^[6,27],其最早由德国生理学家 Hans Reindell 于 20 世纪 30 年代提出,一些欧洲国家的教练员和运动员运用间歇训练于 20 世纪 50 年代在中跑和长跑项目中取得了巨大的成功^[6]。此后,间歇训练被周期性耐力项目陆续采用,并大幅提升了这些项目的运动成绩^[6]。

根据以上研究对运动强度的划分标准,间歇训练的强度属于高强度。因此,间歇训练也被称为高强度间歇训练(High-Intensity Interval Training,以下简称 HIT)。但是,一个不容忽视的事实是,40 年前,周期性耐力项目的运动员不能够保证全年系统训练,运动水平相对较低,运用 HIT 确实比单独的低强度持续训练更能提高这类运动员的耐力水平。

20 世纪 70~80 年代 Alois Mader 为代表的生理学家通过对运动过程中能量代谢过程的研究^[32],以及在赛艇等项目中的成功应用^[24],证实了低强度持续训练对于发展有氧能力的重要性,低强度持续训练也自此成为周期性耐力项目最为主要的训练方法。进入 21 世纪以来,有研究证明,高强度的间歇训练可以提高有氧能力和/或专项能力,但是,这些研究的受试者大都为未经过训练的普通人群^[9,25],或训练水平较低的运动员^[30,39]。另外,这些研究的持续时间较短^[9,25,30,39],短期内可以提高运动能力,如果长年(特别是对于高水平运动员)进行,可以大胆猜测,20 世纪中叶的训练局面(即年训练负荷整体提高,对应图 1 的阔式负荷分布)将会再次出现。对周期性耐力项目训练负荷(包括高水平运动员)的长期研究发现,约 80% 的专项训练负荷属于低强度的持续训练^[7,15,19,23,29,41]。

5 低强度训练为主

有研究发现,周期性耐力项目(尤其是高水平运动员)

的训练负荷以低强度训练(对应为图 1 中区间 1)为主,中等强度和高强度(对应为图 1 的区间 2 和区间 3)所占比例小^[37]。只是由于对负荷统计方法的不同,不同研究对应的中等强度和高强度的具体比例不同。常用的负荷统计方法包括强度区间累积时间法(Time-in-zone)、课次目标心率法(Session-goal)、跟踪记录法(Documentation)、训练日记分析法(Diary)、课次主观疲劳法(Session RPE)等^[8]。强度区间累积时间法是对训练过程中的原始 HR 数据按强度区间进行时间统计^[36],课次目标 HR 法是对训练课次的平均 HR 按强度区间进行统计^[36],跟踪记录法是跟踪记录训练过程并按强度区间进行时间统计^[15,19,23,29],训练日记分析法是对运动员的训练日记进行统计分析^[7],课次主观疲劳法是对整堂训练课次主观疲劳度的评分(不同疲劳程度分别对应 0~10)与课次持续时间的乘积进行统计分析^[17]。强度区间累积时间法和跟踪记录法对间歇训练课次中的强度训练和间歇进行了区分,而课次目标 HR 法和课次主观疲劳法将间歇训练课次中的强度训练和间歇作为一个整体进行统计。因此,前两种方法统计出来的训练负荷呈现“金字塔式”(高强度比例低于中等强度),后两种方法统计出来的训练负荷呈现“两极化式”(高强度比例高于中等强度,图 5)。但是,无论采用何种负荷统计方法,周期性耐力项目的训练负荷都以低强度为主^[7,15,19,23,29,41]。有学者试图给出一个具体的比例,如 Seiler 等人提出“80-20 定律”,即专项训练负荷(如水上项目的水上训练)约 80% 为低强度,20% 为中等强度和高强度^[37]。但是,周期性耐力项目的时间跨度从数分钟到数小时,试图给出一个适用于众多项目的负荷分布规律似乎有失妥当。

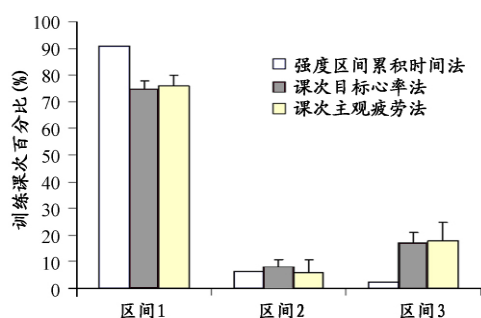


图 5 本研究不同负荷统计方法的区别示意图^[38]

Figure 5. Variation of Load Distribution with Different Methods

研究已表明,持续时间 >75 s 的全力运动中,能量供应以有氧为主(有氧供能比例 $>50\%$),并且持续时间越长,有氧供能比例越高^[1,20]。以有氧供能为主的周期性耐力项目训练负荷的主体是低强度负荷,但是,这个“主体”的比例是否以这一项目专项比赛中有氧供能的实际比例为依据还有待考证。对高水平运动员的专项训练负荷统计表明,赛艇(持续时间为 6~8 min,有氧供能比例为 80%~85%^[22])的低强度负荷比例为 70%~94%^[23,29],静水皮

划艇(500 m 和 1 000 m 持续时间约为 2 min 和 4 min,有氧供能比例分别约为 60% 和 75%)的低强度负荷比例为 85%~88%^[15]。这些事实似乎表明,周期性耐力项目低强度训练负荷的比例不一定严格符合这一项目比赛的有氧供能百分比。需要注意的是,以上这些数据只是对专项训练负荷的统计(如赛艇和皮划艇为划船对应的负荷),而无氧供能比例高的周期性耐力项目陆上力量训练的比例较高(如皮划艇平均约为 2~4 次/周,赛艇约为 2 次/周)。鉴于陆上力量训练一般属于强度负荷,如果有一种方法可以将力量训练负荷和专项训练负荷进行综合统计(如课次主观疲劳法),那么,以上研究对应的各个项目的低强度负荷比例肯定会下降,并且陆上力量训练课次多的周期性耐力项目下降得更多。因此,周期性耐力项目低强度训练负荷的比例似乎又与这一项目比赛过程中的有氧供能百分比相符。周期性耐力项目低强度训练负荷的比例与其对应的有氧供能比例之间的关系还有待从生物学角度进一步解释和认证。目前的认识认为,低强度的训练负荷主要提高机体的外周适应(氧利用能力,如线粒体浓度和毛细血管丰密度),高强度的训练负荷主要提高机体的中枢适应(氧运输能力,如心脏大小和血红蛋白量)^[27]。与氧利用能力相关的结构(肌肉)通过训练的可适应度要远大于与氧运输能力相关的结构(心肺)。另外,大量的低强度持续训练对于周期性运动项目的另一意义在于完善技术,提高运动的效率或经济性。

统计训练负荷和分析文献中训练负荷的相关数据时,需要注意负荷强度划分的依据和负荷统计的内容。如图 1 所示,划分强度区间的生理学标准之一是乳酸阈,乳酸阈 2 对应为这种运动方式下的最大乳酸稳态,乳酸阈 1 对应为比最大乳酸稳态血乳酸值低约 2 mM 所对应的强度。由于不同运动方式所对应的最大乳酸稳态不同^[1],在对不同周期性运动项目进行强度划分时需要参照该运动方式所对应的最大乳酸稳态,而不能机械地运用 2 mM 和 4 mM。

此外,由于很难采用一种统计方法对所有训练内容进行统计,大多数研究在讨论训练负荷时只针对专项训练内容(本研究提及的专项训练是指以项目本身对应的运动方式进行的训练),力量训练内容并未纳入训练负荷的统计范畴,或者力量训练内容按其他统计方法(如公斤数或重复次数)进行统计。以上提及的训练负荷只是对专项训练内容的特征描述。

6 总结

周期性耐力项目训练负荷的生物学基础是不同运动方式的能量供应和能量利用特征。随着对能量代谢特征认识的深入,有氧训练对周期性耐力项目的重要性逐渐达成共识,无氧训练在周期性耐力项目中的受关注度逐渐增加。有氧训练以低强度持续训练为主,无氧训练更加关注

高强度间歇训练。

参考文献:

- [1] 黎涌明. 不同运动方式的能量代谢—共性与区别[J]. 体育科学, 2013, 33(12): 81-86.
- [2] 黎涌明. 世界赛艇科学的德国流[J]. 体育科学, 2013, 33(6): 77-84.
- [3] 黎涌明, 陈小平, 马格特·尼森, 等. 静水皮艇 500 米供能特征[J]. 中国体育科技, 2013, 49(2): 3-7.
- [4] 黎涌明, 毛承. 竞技体育项目的专项供能比例—亟待纠正的错误[J]. 体育科学, 2014, 34(10): 93-96.
- [5] ASTRAND P O, RODAHL K. Textbook of Work Physiology [M]. New York: Mc Graw-Hill, 1970.
- [6] BILLAT L V. Interval training for performance: A scientific and empirical practice special recommendations for middle-and long-distance running. Part I: Aerobic interval training[J]. Sports Med, 2001, 31(1): 13-31.
- [7] BILLAT V, LEPRETRE P M, HEUGAS A M, *et al.* Training and bioenergetic characteristics in elite male and female kenyan runners[J]. Med Sci Sports Exe, 2003, 35(2): 297-304.
- [8] BORRESEN J, LAMBERT M I. The quantification of training load, the training response and the effect on performance[J]. Sports Med, 2009, 39(9): 779-795.
- [9] BURGOMASTER K A, HUGHES S C, HEIGENHAUSER G J, *et al.* Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans[J]. J Appl Physiol, 2005, 98(6): 1985-1990.
- [10] CAPELLI C, PENDERGAST D R, TERMIN B. Energetics of swimming at maximal speeds in humans[J]. Eur J Appl Physiol, 1998, 78(5): 385-393.
- [11] CAPOUSEK J. Control and Planning Training[C]. ICF Coach Symposium. Warsaw, Poland, 2009.
- [12] CONCONI F, FERRARI M, ZIGLIO P G, *et al.* Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners[J]. J Appl Physiol, 1982, 52(4): 869-873.
- [13] DI P P E. The energy cost of human locomotion on land and in water[J]. Int J Sports Med, 1986, 7(2): 55-72.
- [14] DI P P E, CORTILI G, CELENTANO G, *et al.* Physiological aspects of rowing[J]. J Appl Physiol, 1971, 31(6): 853-857.
- [15] ENGLERT M, KIESSLER R. Analysen und erkenntnisse aus der sicht des spitzensports im kanurennsport und kanuslalom[J]. Z Angew Trainingswiss, 2009, 1: 24-39.
- [16] FERNANDEZ-GARCIA B, PEREZ-LANDALUCE J, RODRIGUEZ-ALONSO M, *et al.* Intensity of exercise during road race pro-cycling competition[J]. Med Sci Sports Exe, 2000, 32(5): 1002-1006.
- [17] FOSTER C, FLORHAUG J A, FRANKLIN J, *et al.* A new approach to monitoring exercise training[J]. J Strength Cond Res, 2001, 15(1): 109-115.
- [18] FRISKERSTRAND A, SEILER K S. Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970 - 2001[J]. Scand J Med Sci Sports, 2003, 14: 303-310.
- [19] GARCIA-PALLARES J, SANCHEZ-MEDINA L, PEREZ C E, *et al.* Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers[J]. Med Sci Sports Exe, 2010, 42(6): 1209-1214.
- [20] GASTIN P B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise[J]. Sports Med, 2001, 31(10): 725-741.
- [21] GREENHAFF P L, HULTMANN E, HARRIS R C. Carbohydrate metabolism[M]. Principles of Exe Biochemistry. Basel: Karger, 2004: 109-151.
- [22] HARTMANN U, MADER A. Rowing physiology [M]// NOLTE V. Rowing Faster. United States of America: Human Kinetics, 2005: 9-23.
- [23] HARTMANN U, MADER A, HOLLMANN W. Heart rate and lactate during endurance training programs in rowing and its relation to the duration of exercise by top elite rowers[J]. FISA COACH, 1990, 1(1): 1-4.
- [24] HARTMANN U, MADER A, PETERSMANN G, *et al.* Verhalten von herzfrequenz und laktat waehrend ruderspezifischer trainingsmethoden - untersuchungen bei A- und B-Kaderrudern und deren interpretation für die trainingssteuerung[J]. Dtsch Z Sportmed, 1989, 40(6): 200-212.
- [25] HICKSON R, BOMZE H, HOLLOSZY J. Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise[J]. J Appl Physiol, 1977, 42(3): 372-376.
- [26] LACOUR J R, MESSONNIER L, BOURDIN M. Physiological correlates of performance. Case study of a world-class rower[J]. Eur J Appl Physiol, 2009, 106(3): 407-413.
- [27] LAURSEN P B, JENKINS D G. The scientific basis for high-intensity interval training[J]. Sports Med, 2002, 32(1): 53-73.
- [28] LI Y, NIESSEN M, CHEN X, *et al.* Maximal lactate steady state in kayaking[J]. Int J Sports Med, 2014, 35: 935-942.
- [29] LI Y, ZI W, CAO C, *et al.* Training of a female world-elite rower in pre-Olympic year[J]. Med Sci Sports Exe, 2012, 5(41): 687-688.
- [30] LINDSAY F H, HAWLEY J A, MYBURGH K H, *et al.* Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training[J]. Med Sci Sports Exe, 1996, 28(11): 1427-1434.
- [31] MADER A, HECK H. A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold"[J]. Int J Sports Med, 1986, 7(45-65).
- [32] MADER A, LIESEN H, HECK H, *et al.* Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfaehigkeit im labor[J]. Sportarzt Sportmed, 1976, 27: S80-88 und S109-112.
- [33] MAGLISHO E. Swimming fastest; the essential reference on technique training and program design[J]. Champaign (Illinois): Human Kinetics, 2003.
- [34] NIESSEN M. Determinanten von Belastung und Regeneration

- in Training und Wettkampf Leichtathletischer Laufdisziplinen [M]. Technischen Universität München, 2007.
- [35] POOLE D C, JONES A. Oxygen uptake kinetics[J]. Compr Physiol, 2012, 2(2): 933-996.
- [36] SEILER K S, KJERLAND G O. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an "optimal" distribution? [J]. Scand J Med Sci Sports, 2006, 16: 49-56.
- [37] SEILER S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes[J]. Int J Sports Physiol Perform, 2010, 5(3): 276-291.
- [38] SEILER S, NNESSEN E T. Intervals, thresholds, and long slow distance: The role of intensity and duration in endurance training[J]. Sports Sci, 2009, (13): 32-53.
- [39] SMITH T P, MCNAUGHTON L R, MARSHALL K J. Effects of 4-wk training using $V_{\max}/T_{\max}$ on $\dot{V}O_2 \max$ and performance in athletes[J]. Med Sci Sports Exe, 1999, 31(6): 892-896.
- [40] ZAMPARO P, CAPELLI C, GUERRINI G. Energetics of kayaking at submaximal and maximal speeds[J]. Eur J Appl Physiol, 1999, 80(6): 542-548.
- [41] ZAPICO A G, CALDERÓN F J, BENITO P, *et al.* Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: A longitudinal study[J]. J Sport Med Phys Fit, 2007, 47(2): 191.

本刊入选“2014 中国最具国际影响力学术期刊”

