



有氧耐力的测试指标和训练方法研究新进展

邱 俊^{1, 2}, 陈文鹤¹

摘 要: 有氧耐力是人体从事耐力性运动的重要能力, 最大摄氧量是客观评价人体心肺功能的一项综合生理指标, 本文对有氧耐力的重要测试指标最大摄氧量和无氧阈在有氧耐力评价中的作用及其影响因素进行了综合分析, 并梳理了有氧耐力训练的新方法。耐力性项目的运动成绩与最大摄氧量关系紧密, 而无氧阈在评定有氧耐力水平、制订有氧耐力训练强度等许多方面亦具有较强的指导意义。有氧耐力训练在很多项目训练中占有重要地位, 掌握科学的有氧耐力训练方法对提高运动员的专项竞技水平起着关键性作用。

关键词: 有氧耐力; 最大摄氧量; 影响因素; 训练方法

中图分类号: G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2009)01-0057-05

Aerobic Endurance Test Indicators and New Research Progress of Training Methods

QIU Jun^{1, 2}, CHEN Wen-he¹

(Shanghai University of Sports Science, Shanghai 200438, China)

Abstract: Aerobic endurance refers to the important ability of human body in the exercise of endurance. VO_{2max} is a comprehensive physiological index for evaluating cardiopulmonary function. The paper analyzes the functions of the important test indices of VO_{2max} and anaerobic threshold in the evaluation of aerobic endurance and the influence factors. It also sorts out the new training methods of aerobic endurance. The results of endurance sports are closely connected with VO_{2max} . Anaerobic threshold has great guiding significance in evaluating aerobic endurance and determining aerobic endurance training intensity. Aerobic endurance training plays an important role in the training of many sports. Mastering the scientific aerobic endurance training is of vital importance in improving athletes' specific performance.

Key words: aerobic endurance; VO_{2max} ; influence factor; training method

耐力作为体能的基本成分之一, 对以耐力为主的运动项目的运动成绩起着决定性作用, 在绝大多数运动项目中也起着直接和间接作用, 是其他非耐力性项目训练和比赛的身体基础之一^[1]。耐力训练的内容根据专项的要求一般分为有氧耐力和无氧耐力^[2]。本文对有氧耐力的重要测试指标最大摄氧量和无氧阈在有氧耐力评价中的作用及其影响因素进行了综合分析, 并梳理了有氧耐力训练的新方法。

1 有氧耐力的测试和评价

1.1 有氧耐力的影响因素

有氧耐力是指长时间进行有氧工作(该工作是靠肌糖元、脂肪等有氧分解供能)的能力, 是体能类运动项目的素质基础。筛选能准确、灵敏反映有氧耐力的生理指标、测试评价方法, 以及这些指标的生理机制, 是目前体育科学界共同关注的问题。

心肺功能和骨骼肌的有氧代谢能力是影响有氧耐力的最重要因素, 进行心肺功能和骨骼肌的有氧代谢能力测试也是有氧耐力测试和评价的关键指标。评价心肺功能的主要指标有心率、最大摄氧量、肺活量、肺通气量、血氧饱和度、血红蛋白含量等, 这些指标检测方便, 结果可靠科学。评价骨骼肌有氧代谢能力的常用指标有最大摄氧量(VO_{2max})、最

大摄氧量平台期持续时间(VO_{2maxPD})、无氧阈等等, 这些指标研究进展较快, 其科学可靠性存在不同学术观点。本文重点讨论的是与有氧耐力密切相关的最大摄氧量和无氧阈指标。运动员最大摄氧量是评价人体的心肺机能和有氧能力的综合指标, 近年来, 关于对最大摄氧量的概念和测试的准确性以及影响最大摄氧量的因素等问题存在着争议^[3]。无氧阈被作为评定耐力水平的重要指标和发展耐力的训练强度方法之一, 在优秀的耐力运动员多年训练后, 最大吸氧量(VO_{2max})可能并无增进, 而无氧阈则明显推迟, 并与耐力运动成绩的提高相关, 无氧阈也是运动选材的重要指标。

1.2 最大摄氧量

1.2.1 最大摄氧量是否存在的争议

“最大摄氧量(VO_{2max})”一词是在1920年由Hill和Hebrst创造并定义的, 并被世界各地的运动生理实验室广泛应用, 从而推动了运动生理学和体育科学的发展。Hill等观察到, 随着奔跑速度加快, 人体对氧的摄取量增加, 但当奔跑速度 $>260\text{ m/min}$ 后, 尽管继续提高奔跑速度, 人体对氧的摄取不能再有所增加, 由此提出了 VO_{2max} 的概念。 VO_{2max} 也称做为最大吸氧量(Maximal Oxygen Intake)或最大耗氧量(Maximal Oxygen Consumption), 由于运动的强度加大, 人体每分钟的摄氧量不能逾越这一界限, 所以也有人

收稿日期: 2008-12-21

基金项目: 上海市科委重大科技攻关项目(072712023)

第一作者简介: 邱 俊(1971-), 女, 汉, 上海体育学院06级博士生, 上海体育科学研究所副研究员, 主要研究方向: 运动员机能监控。

E-mail: qiujiang@hotmail.com, Tel: 64880712

作者单位: 1. 上海体育学院 上海 200438; 2. 上海体育科学研究所 上海 2000037



将 $VO_2\max$ 称“氧极限”。传统认为,最大摄氧量是运动时每分钟能够吸入体内并被身体利用的氧的数量。最大摄氧量上限可定义为在递增运动实验中,受试者在运动最后阶段,竭尽全力,循环和呼吸系统发挥最大作用时每分钟所能摄取的氧量^[4]。此时,随着功率的增加, VO_2 不再增加而形成一次平台,相邻两次(1 min内) VO_2 差值 $<150\text{ ml/min}$ 称为 $VO_2\max$,也可用公斤摄氧量表示即 $<2\text{ ml/(kg}\cdot\text{min)}$,消除了体重影响。

事实上,在一系列最大恒定功率运动实验或递增负荷运动实验中,受试者在运动中达到筋疲力尽和呼吸困难时,仅有一半的正常人能尽最大努力达到最大摄氧量平台。由于一些受试者在递增负荷实验时,摄氧量平台不明显或者没有持续性,因而南非生理学家Timothy D. Noakes质疑 $VO_2\max$ 的概念是不可靠的。在其发表的一系列文章中断言: Hill等人既未寻找到也未确认平台现象和个人最大摄氧量^[5]; Hill和Lupton没有证明他们同时测量了氧债和乳酸的产生^[5]。结合上述观点,他提出新模式理论“中枢控制模式”: 中枢神经系统在递增负荷运动达到极限时中止了人体运动从而避免了“自稳态失调”。因而在递增负荷模式测试 $VO_2\max$ 时,测试所得到的 $VO_2\max$ 值并没有真正反映肌肉运输氧和利用ATP进行工作的最大能力^[7、8]。这一理论提出后,一些著名的运动生理学者们强烈辩论认为: 决定 $VO_2\max$ 的生理机制有①最大心输出量; ②血液的载氧能力; ③肺的扩散能力; ④骨骼肌特征。前三个被称为“中枢”机制,第四个因素被称为“外周”机制^[9、10]。

Benjamin D. Levine用“上行因素”和“下行因素”概念阐释上述关于决定 $VO_2\max$ 的生理机制问题的争论^[11]。运动时有上行的和下行的因素共同作用给骨骼肌供氧和利用氧进行工作。上行的因素包括动用所有的生理途径将氧气运送到血液,分布到外周供给肌肉细胞,下行的因素包括细胞内的 O_2 分子转换产生ATP的过程以及神经冲动导致钙离子内流和肌肉收缩的过程。Noakes所提出的观点大部分都是取决于下行因素,主要在于肌肉的能量恢复,而驱动 $VO_2\max$ 和 $VO_2\max$ 的限制因素是不依赖于肌肉的能源补充的。最近的两项研究通过心肺功能参数测量^[12]和心肌工作能力评价方法^[13]也确认了最大摄氧量概念的可靠性。

1.2.2 最大摄氧量和运动员有氧能力的关系

关于最大摄氧量概念等有争议的问题一直被运动生理学领域的研究人员所关注,而对于教练员和运动员来说最关心的是最大摄氧量和运动员运动能力的关系以及如何提高他们的耐力竞技水平。虽然最大摄氧量不能等同于运动能力,但它是决定着耐力性运动能力的主要因素之一^[14]。一般很难确定那些有相似 $VO_2\max$ 水平的优秀运动员其 $VO_2\max$ 和比赛时竞技能力的相关性,但是 $VO_2\max$ 有 80 ml/kg/min 的优秀运动员跑5 000 m的成绩肯定是要好于 $VO_2\max$ 有只 40 ml/kg/min 运动员。当然,长距离的比赛决定着运动员采用何种速度即动用合理的能量合成和生成ATP的底物,从而影响 $VO_2\max$ 在竞技能力的比例。

近来研究提示最大摄氧量有一定程度的遗传性^[15],基因决定着血管紧张素转化酶(ACE),拥有ACE-I基因的运动员能够在消耗同样多的能量时作出更多的有效功^[16]。当身体素质提高后, $VO_2\max$ 的可训练水平从低水平到中等

水平增长明显,但是到了中等水平后再往高水平发展则难度很大。在那些以秒论英雄的世界一流中长跑运动员,则不是以 $VO_2\max$ 为单一因素决定运动员在比赛中跑得速度多快,其他如无氧代谢能力,运动中能量的利用和最大稳态时氧的摄取能力都是影响最终成绩的因素^[17]。因为最大摄氧量对这些因素起不到什么作用,所以运动员可以在 $VO_2\max$ 以上功率维持短暂的时间也不足为奇。每个运动员都知道这个事实,但是没有动力储备可以让一个马拉松运动员保持 10 m/s 速度跑完全程。为什么?因为运动员没有动力去维持肌肉在如此高的频率下收缩超过 10 s ?因为“中枢控制系统”知道高频率运动超过 100 m 后的危险性?或者因为人体骨骼肌在高强度下不能持续供给足够的ATP而支持这一类型的外部工作?很清楚的是肌肉(不是大脑)在短暂高强度功率爆发后很容易疲劳,尽管这些局部信号可以传达到大脑而影响运动员的感觉处理决定他们接下来能持续跑多快。

为什么运动员在达到 $VO_2\max$ 后停止运动? McKenna & Hargreaves等发表了系列回顾文章总结这一领域的研究成果^[18]强调多重因素导致局部肌肉疲劳,包括肌浆网钙释放的不足,受损的钠钾泵能力,横桥运动的减慢^[19]。同时这些肌肉因素刺激了许多神经通路最终导致中枢神经冲动和神经激活减弱,在一些如急性严重缺氧状况下,中枢疲劳可能显得非常突出和导致运动能力在周围疲劳发展之前就衰退,或多或少的在不同环境下导致运动停止^[20]。因而,运动员在最大摄氧量时停止运动是由于氧运输因素受到限制导致局部肌肉功能严重改变,刺激中枢对肌肉运动的传导停止。

1.3 无氧阈

自从1964年Wasserman首次提出无氧阈并用通气量变化方法测定无氧阈值之后^[21],引起了许多专家学者的关注并相继进行了大量研究。无氧阈是指人体在递增负荷强度时,由有氧代谢开始向无氧代谢转变的临界点。通常以血乳酸浓度达到 4 mmol/L 时所对应的强度,用通气量和心率来表示。无氧阈用乳酸浓度来表示叫乳酸阈,用通气和气体交换改变来表示称为通气无氧阈,用心率和心搏量的上升斜率变化,引出的心率拐点来表示称为心率无氧阈,也有应用肌电图积分测定无氧阈的,其中以乳酸阈应用最为广泛,重复性最高。“无氧阈”概念建立的基础,就是在亚极量负荷运动时肌肉组织由于缺氧而产生了乳酸;它把乳酸的堆积仅仅归结为缺氧所致,是有较大片面性的;虽然缺氧是产生乳酸的一个很重要的因素,但许多研究事实表明,产生乳酸的原因是多方面的,如训练水平的提高,机体在同样的负荷强度下所产生的乳酸就要少一些;或者在同样的强度下男女运动员所产生的乳酸量就不同。1980年,Kindermann提出了个体无氧阈(IAT)的概念^[22]。“个体乳酸阈”主要反映了不同个体在不同状态的增负荷运动中,由有氧代谢为主向无氧代谢为主转变的临界点。“个体乳酸阈”作为表述较为准确的概念,它不仅是以“无氧阈”为基础,包含着“无氧阈”一词中较为积极的因素,但同时它又排斥“无氧阈”的一些消极因素。首先,“个体乳酸阈”这一术语消除了人们由于对“无氧阈”的字面意义的理解,而把乳酸的堆积误归结为仅仅是“无氧”所致的片面性。其次,它打破了“无氧阈”概念的笼统性,提出了个体阈值的差异性。

随着对无氧阈研究的不断深入和在运动训练中的应用,目



前在耐力训练上,运动训练界存在两种截然不同的观点:一种是强调运用有氧-无氧阈强度(血乳酸值 $2\sim 4\text{ mmol/L}$)的训练模式,一种是强调避开有氧-无氧阈区域,大部分训练强度集中在低强度区域(血乳酸 $<2\text{ mmol/L}$),同时,少部分训练集中在无氧阈以上的训练^[23]。前者被称为“乳酸阈模式(Lactate Threshold Training Model)”,后者被称作“两极化模式(Polarized Training Model)”。乳酸阈模式训练强度维持在乳酸适应区间,特别是无氧阈附近的训练之后,耐力水平出现显著提高,但实验对象多为未受过专门训练的人群;对于训练有素的运动员来说,以乳酸阈强度进行训练在获得能力上并不是最佳的刺激^[24]。

2 有氧耐力的训练方法

发展有氧耐力的训练方法一般分为持续负荷法、间断负荷法及高原和低氧训练法。

2.1 持续负荷法

持续负荷法是发展有氧耐力地主要方法。其特点是负荷量大,没有间歇。持续负荷法根据速度是否变化又分为匀速训练和变速训练两种。监控有氧耐力训练强度应用的简易指标主要为血乳酸和心率。

Kindermann等用个体乳酸阈作为持续性耐力强化训练的标准来指导训练。在长跑或超长距离跑时,3名前西德国家女子中长跑运动员以两种强度在跑台上进行47周训练,前30周用 4.5 mmol/L 对应速度训练,竞技能力未能提高,后来把强度降至 3.5 mmol/L 对应速度训练,结果乳酸阈值和比赛成绩大幅度提高^[25]。

Midgley认为最大摄氧量是决定中长跑运动员竞技能力的重要决定因素,因而用 VO_2max 对应的心率作为训练强度控制标准,训练强度在 $40\%\sim 50\%\text{VO}_2\text{max}$ 可以提高非职业人群的有氧耐力水平,最小的运动强度提升最大摄氧量很大程度上取决于个体的 VO_2max 水平;尽管如此,高水平的耐力运动员需要高百分比强度的 VO_2max 持续训练去进一步提高其耐力水平。从机制上解释是因为大强度负荷训练引起心肌形态变化导致每搏输出量增加,肌肉毛细血管增加,肌球蛋白浓度增加,II型肌纤维氧化能力增强伴随着最大摄氧量增加^[26]。

近年来,Sceiler等针对高水平耐力运动员采取两极化训练模式:高水平耐力运动员的训练应该以低强度和多样化的训练为主,同时配合以少量的高强度(高于有氧-无氧区域)训练,这样,可能会确保对相关基因的高度诱导,增加机体线粒体(以及其它相关组织等)蛋白质的合成,同时,还能提高能量的供给并减少对机体的刺激压力^[27]。

2.2 间断负荷法

间断负荷法又分为间歇训练法和重复训练法,其主要特征如下。间歇训练法,采用各种强度的重复刺激,并在练习之间按预定计划安排间歇时间,不完全休息的训练方法。重复训练法:重复训练法在发展有氧耐力的同时,还能发展专项或比赛耐力。练习距离可长于或短于比赛距离。负荷强度比间歇训练法大。

耐力项目的教练和运动员长期以来一直认为高强度间歇训练可以提高耐力水平。尽管如此,对于那些已经是高水平的耐力运动员如何大幅提高他们的耐力水平而采取的最优化间歇

训练法则很少有研究(例如:最佳的强度,持续时间和恢复)^[28]。一些研究用递增负荷测试最大摄氧量时这些优秀运动员的基本跑速作为训练强度,把递增负荷测试时疲劳清除率时间的百分比($50\%\sim 70\%$)作为间歇时间^[29]。Paul等观察了间歇高强度训练对38名高水平自行车运动员耐力的影响^[30],根据 VO_2max 、最大摄氧量输出功率(PPO)、最大摄氧量持续时间(Tmax)将38名运动员分为4组,第1组8名运动员,8次训练强度达到60%的Tmax,训练和恢复时间比为1:2;第2组9名,8次训练强度也达到60%的Tmax,但在达到最大心率的65%即进行恢复;第3组10名,间隔4.5 min的30 s强度达到175% PPO训练12次,对照组11名运动员,前三组运动员每周训练2次,所有运动员在试验周期内均保持常规低强度训练。与对照组相比,所有试验组运动员40 km成绩从4.4%提高到5.8%,PPO从3.0%提高到6.2%,第1组和第2组的 VO_2max 分别提高5.4%、8.1%,明显由于对照组。研究结果提示,训练强度达到60%的Tmax的间歇高强度训练可以明显提高优秀自行车运动员的40 km成绩,也进一步证实最大限度的间歇高强度训练可提高运动成绩。

2.3 高原和低氧训练法

高原训练是人体在高原低压、缺氧环境下训练,利用高原缺氧和运动双重刺激,使运动员产生强烈的应激反应,以调动体内的机能潜力,从而产生一系列有利于提高运动能力的抗缺氧生理反应。低氧训练是在高原训练的研究和应用基础上发展起来的。它利用人工低氧环境进行训练,以提高运动员体能。

高原训练也许可以解释缺氧对最大摄氧量的影响,从而证实 VO_2max 和运动能力之间的紧密关系。高原训练本身也存在不利于恢复、难以掌握适宜的训练强度等至今仍需进一步研究和解决的问题和难题。长久以来,一直认为高原暴露和缺氧会导致 VO_2max 下降^[31],运动员在海拔几百米的高度这种下降情况就很明显^[32],这种下降的机制可能与肺动脉压增高阻碍了肺泡氧向血液内弥散有关^[33]。高原上不仅 VO_2max 下降,而且距离长于800 m(运动时间超过2 min)的有氧运动能力也下降^[34]。高原训练是否影响最大摄氧量的变化存在争议。冯连世研究20名中长跑运动员在海拔1 895 m高度进行4周高原训练后,与条件相当的平原训练组7人相比,其最大摄氧量明显提高,但是高原训练的优越性大约不超过10%。提出最大摄氧量一般是在高原训练初期下降,中后期回升,后期及返回平原后呈超量恢复,并超过平原值^[35]。在这里需要强调的是在高原期间,由于运动员个体差异不同、肺通气量、血液输氧能力和肌肉氧化能力不同则会有较大的差异,在高原期间 VO_2max 的反应不会简单的先后高,也有可能始终低于高原训练前水平。

低氧训练的形式有高住低训、高住高练低训、低住高练等形式。在适宜的低氧环境下训练,可提高加强脑组织和肌肉对氧的利用组织利用氧能力。目前,对组织利用氧的研究主要集中在肌肉组织,低氧训练对改善骨骼肌的代谢变化能产生有利的影响,诸如肌红蛋白浓度升高,单位面积毛细血管数量的增加或每块肌肉周围毛细血管数量的增加。Green^[36]研究在低氧环境下训练(13.5%低氧,每周3次,持续8周)后,发现柠檬酸合成酶的活性提高70%。同时2,3-二磷酸甘油酸的增加,促进氧合血红蛋白的分离而显著增加氧气的释放量,有



利于氧在组织中的释放。改善造血系统功能低氧可以刺激人体的造血系统,是引起红细胞产生增多的主要因素。研究表明,低氧适应后,红细胞、血红蛋白等出现明显的适应性的变化^[37]。另外,血液体积也有所增大,通常增大20%~30%,导致循环血红蛋白总量增大50%~90%。红细胞可以从肺中携带更多的氧气到肌肉中,额外的氧气会令肌肉工作得更久,更有力。因此,低氧运动可显著地提高氧运输到脑和外周组织的能力。低氧训练在理论上可以部分弥补传统高原训练的不足,在研究和应用中较容易设立相应对照组,从而更具有科学性,适合科学研究。但在运动实践中,此类方法由于低氧持续刺激时间较短,对机体心肺功能刺激和机能状态的改善方面不如高原训练明显,尤其是在提高血液运氧及肌肉利用氧能力等方面,与传统高原训练相比还是有一定差距。另外,在整个低氧训练实施过程中,低氧训练与专项训练尚难有机融合。

3 小结

VO_{2max} 作为有氧耐力的经典评价指标,与年龄、遗传、高原环境等因素相关,在评价运动员有氧耐力从初级水平到较高水平发展过程中是灵敏指标,当有氧耐力发展到高水平诸如优秀耐力运动员, VO_{2max} 指标则难以准确反映有氧耐力的个体差异,需结合个体无氧阈指标综合评价。

在耐力训练中通过各种训练手段促使运动员的耐力水平提高,必需针对不同个体予以其能承受的最大应激状态的运动负荷量及强度。同时必需注意的是负荷强度、负荷量不可超过运动员的可承受范围,否则将导致运动疲劳和运动损伤的发生。因此,准确的有氧耐力评定方法和科学的训练方法、强度和量的安排结合是运动员运动能力提高的关键因素。

参考文献

- [1] 王清. 我国优秀运动员竞技能力状态诊断和监测系统的研究和建立[M]. 北京: 人民体育出版社, 2004.
- [2] 谢敏豪, 冯炜权等. 耐力训练监控与营养[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2007.
- [3] Tudor Hale.(2008).History of developments in sports and exercise physiology: A.V.Hill, maximal oxygen uptake, and oxygen debt. *Journal of Sports Sciences*, 26,(4):365-400.
- [4] 黄思贤. 心肺运动实验的临床应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [5] Noakes T.D.(1998). Maximal oxygen uptake: 'classical' versus 'contemporary' viewpoints: a rebuttal. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 1381-1398.
- [6] Noakes T.D.(1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance. A contemporary perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20,319-330.
- [7] Noakes T.D. J.B.(1997).Wolffe Memorial Lecture Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. *Med Sci Sports Exerc*, 29, 571-590.
- [8] Noakes T.D, Peltonen JE & Rusko HK.(2001). Evidence that a

- central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *J Exp Biol*, 204, 3225-3234.
- [9] Bassett DR Jr & Howley ET.(1997). Maximal oxygen uptake: 'classical' versus contemporary' viewpoints. *Med Sci Sports Exerc*, 29, 591-603.
- [10] Bassett DR Jr & Howley ET.(2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*,32, 70-84.
- [11] Benjamin D.Levine.(2008). VO_{2max} : what do we know, and what do we still need to know? *J Physiol*, 586.1 pp 25-34
- [12] Hawkins MN, Raven PB, Snell PG, Stray-Gundersen J & Levine BD.(2007). Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. *Med Sci Sports Exerc*, 39, 103-107
- [13] Brink-Elfegoun T, Kaijser L, Gustafsson T & Ekblom B.(2007). Maximal oxygen uptake is not limited by a central nervous system governor. *J Appl Physiol*, 102, 781-786.
- [14] Di Prampero PE (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, 90, 20-429.
- [15] Hagberg JM, Moore GE & Ferrell RE.(2001). Specific genetic markers of endurance performance and VO_{2max} . *Exerc Sport Sci Rev*, 29, 15-19.
- [16] Myerson S, Hemingway H, Budget R, Martin J, Humphries S & Montgomery H.(1999). Human angiotensin I-converting enzyme gene and endurance performance. *J Appl Physiol*, 87, 1313-1316.
- [17] JoynerMJ & Coyle EF.(2007). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* Sep 27, Epub ahead of print
- [18] McKenna MJ, Bangsbo J & Renaud JM.(2008). Muscle K^+ , Na^+ , Cl^- disturbances and Na^+ , K^+ -pump inactivation: implications for fatigue. *J Appl Physiol*, 104: 288-295.
- [19] Amann M & Calbet JA .(2008). Convective oxygen transport and fatigue. *J Appl Physiol*,104: 861-870.
- [20] Fitts RH.(2008). Cross bridge mechanisms of fatigue. *J Appl Physiol*,104(2):551-558.
- [21] Karlman Wasserman.(1965). Excess lactate concept and oxygen debt of exercise. *J Appl Physiol*, 20: 1299-1306.
- [22] Stegmann H,W,Kindermann,et al.Lactate kinetics and individual anaerobic threshold Int.*J.Sports Medicine*,1981;2:160-165.
- [23] 陈小平, 资薇, 于洪军. “乳酸阈模式”还是“两极化模式”? 体育科学[J]. 2007 (26) 7: 27
- [24] Londeree, B. R.(1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29, 837-843.
- [25] Kindermann W, Simon G, Keul J .(1979) .The significance of the aerobic anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol*, 42:25-34.
- [26] Midgley, Adrian W; McNaughton, Lars R; Wilkinson.(2006). Michael Is there an Optimal Training Intensity for Enhancing the Maximal Oxygen Uptake of Distance Runners?: Empirical Research Findings, Current Opinions, Physiological Rationale



- and Practical Recommendations. *Sports Medicine*, 36(2):117-132.
- [27] SEILER S K, KJERLAND G Q.(2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an "optimal" distribution? [J].*Scand J Med Sci Sports*, 16:49-56.
- [28] LAURSEN, P. B., and D. G.(2002).JENKINS. The scientific basis for high intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*, 32:53-73.
- [29] BILLAT, V. L., J. SLAWINSKI, V. BOCQUET, et al.(2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur. J. Appl. Physiol*, 81:188-196.
- [30] PAUL B. LAURSEN, CECILIA M. SHING. et al.(2002).Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc*, Vol. 34, No. 11, pp. 1801-1807.
- [31] Fulco CS, Rock PB & Cymerman A.(1998). Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med*, 69, 793-801.
- [32] Wehrlin JP & Hallen J.(2006). Linear decrease in VO_{2max} and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*, 96, 404-412.
- [33] Levine BD & Stray-Gundersen J.(1999). Exercise at High Altitude. In *Sports Medicine Secrets*, 2nd edn, ed.Mellon MB, pp. 91-96.
- [34] Peronnet F, Thibault G & Cousineau D (1991). A theoretical analysis of the effect of altitude on running performance. *J Appl Physiol*, 70, 399-404.
- [35] 王清, 冯连世, 翁庆章. 高原训练[M]. 北京: 人民体育出版社, 2007.
- [36] Green H.(1999).Downregulation of Na - K - ATPase pumps in skeletal muscle with training in normobaric hypoxia.*J Appl. Physiol* 86 (5) :1745-1748.
- [37] Stray-Gundersen J,Robert F,Levine BD.(2001)."Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol*,91(3):1113-1120 .

(责任编辑: 何聪)

《体育科研》投稿须知

1. 对稿件的基本要求

(1) 来稿内容必须无政治性错误、不泄露国家机密、不违反国家法律法规, 符合本刊刊登内容范畴; 撰写文体格式符合本刊要求, 执行国家有关标准; 不一稿多投。

(2) 论文要求论点明确、论述严谨、数据可靠、图表设计合理、文字简明通顺, 具有科学性和可读性。

(3) 论文必须要素齐全, 包括中英文题目、作者姓名、中英文作者单位(地址及邮编)、中英文摘要、中英文关键词、正文、参考文献、第一作者简介(姓名、出生年、性别、职称或学位、主要研究方向、E-mail 地址和联系电话)

(4) 来稿用 A4 纸打印, 欢迎通过电子邮件投稿。

2. 来稿的处理

(1) 来稿经编辑部三审, 如符合要求, 由编辑部发出录用通知。若投稿 2 个月后没有收到编辑部通知, 作者可自行处理。

(2) 本编辑部因人手关系, 不录用稿件恕不退稿, 请作者自留底稿。

3. 关于版权、著作权的约定

凡自愿投给本刊的文稿, 作者未作特殊说明的, 本刊将同时获得图书、电子版本与信息网络的使用权。

为适应国家信息化建设的需要, 扩大作者学术交流的渠道, 本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、“中国期刊网”和“万方数据——数字化期刊群”等多家数据库与检索机构, 如作者不同意将自己的文稿编入上述数据库, 请在来稿时说明, 本刊将作适当处理。

凡投本刊的稿件, 若系一稿多投, 一经发现, 本刊将五年内不再刊用其作者稿件。

文责自负。作者应自觉遵守国家有关部门著作权的法律法规, 如发生侵犯他人版权或其他权利的稿件, 本刊将协助侵权人追究责任并保留追究侵权行为给本刊造成的损失责任。