

高水平自行车耐力运动员高强度 间歇训练方案优化研究述评

张勇¹, 李之俊²

(1. 浙江师范大学体育学院, 浙江金华 321004; 2. 上海体育科学研究所, 上海 200030)

摘要:就高水平耐力自行车运动员高强度间歇训练方案最优化的研究加以总结和展望。高水平自行车耐力运动员高强度间歇训练方案优化的研究主要涉及训练强度、持续时间、组数, 间歇恢复形式(主动或被动)、间歇恢复时间, 踏车节奏和成绩模型。这些变量需要根据训练时期、训练状态、个体身体反应来进行实践。

关键词:自行车运动员; 间歇训练方案; 有氧运动

中图分类号: G872.3; G808.12 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2005)05-0111-04

A review of research on the optimization of intermittent high intensity training programs for high performance endurance cyclists

ZHANG Yong¹, LI Zhi-jun²

(1. College of Physical Education, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China;

2. Shanghai Sports Science and Research Institute, Shanghai 200030, China)

Abstract: The authors summarized and probed into the development of research on the optimization of intermittent high intensity training programs for high performance endurance cyclists. The research on the optimization of intermittent high intensity training programs for high performance endurance cyclists mainly involves with training intensity, time duration, number of sections, intermittent recovery form (active or passive), intermittent recovery time, riding pace and performance model. These variables need to be tested out in accordance with training period, training conditions and individual cyclist's physical reaction.

Key words: cyclists; intermittent training program; aerobic exercise; literature review

高强度间歇训练(HIT)的定义是, 训练强度大于无氧阈, 每组训练的持续时间比通常采用的中等强度持续训练时间要短, 为10 s~5 min, 间歇期采用低强度运动方式或完全休息方式使机体不完全恢复。它的目的是通过反复刺激, 使运动员相关生理系统获得更高的运动适应。

目前, 关于高水平耐力自行车运动员的HIT方案的研究还不成熟。Stepito等^[1]研究了5种不同的HIT方案, 每周训练2次, 持续3周, 观察20名耐力自行车运动员成绩和最大有氧输出功(P_{peak})的变化, 结果发现, 普通高强度间歇训练方案(8组4 min的85% P_{peak} 强度, 间歇恢复时间为90 s)和高强度间歇训练方法(12组30 s的175% P_{peak} 强度, 间歇恢复时间为4.5 min)都可以提高运动员的40 km计时成绩和 P_{peak} 。先前已经有研究表明前一种训练方法可以提高耐力成绩^[1-4], 但后者提高40 km计时成绩却是令人迷惑, 因为这种方法以前被认为是不能提高耐力成绩的。Lindsay等^[4]

也报道, 8名耐力自行车运动员采用强度为100% P_{peak} , 持续时间为最大摄氧量水平运动至疲劳的时间(t_{max})的60%, 间歇时间为心率恢复至最大心率的65%, 组数为8组的HIT方案训练4周后, 40 km计时成绩提高3.5% ($P < 0.001$)、 P_{peak} 提高4.3% ($P = 0.01$)。Laursen等^[5,6]采用100% P_{peak} 强度, 持续1 min, 间歇恢复2 min, 20组的HIT方案对7名自行车运动员训练2周后, 发现运动员能够完成的组数增加, 总输出功率增加, 运动成绩提高, 运动过程中通气阈和 P_{peak} 也增加。毫无疑问, HIT可以提高自行车耐力运动员的运动成绩和最大有氧功, 但是, HIT的方案还需要优化。

1 HIT的主要研究内容与应用

1.1 运动强度

以前的研究采用了许多变量来描述耐力训练时个体的运动强度。包括: 最大摄氧量百分数、无氧阈、乳酸阈、通气

收稿日期: 2005-01-17

基金项目: 上海市科委重大科研项目(03DZ12003)。

作者简介: 张勇(1975-), 男, 讲师, 硕士研究生, 研究方向: 运动生理学。

阈、血乳酸积累起点和标准强度等。然而,使用这些测试指标去建立运动强度的有效性和合理性是存在疑问的^[5]。

在 HIT 方案中使用最大摄氧量强度的合理性是基于这样一个假设——只有在最大摄氧量水平或最大摄氧量水平以上运动训练才能提高最大摄氧量水平。而且, V_{\max} 可能是能够诱出最大摄氧量的最小速度^[7-10]。这种假设的依据是:在最大摄氧量附近负荷完成高强度训练时肌肉开始疲劳的时间是氧向肌纤维膜的转运所决定的^[11]。

标准强度作为一种摄氧量缓慢启动的强度可以使摄氧量逐步达到最大摄氧量水平^[12,13]。Poole 等^[14]也认为标准强度可能是诱发最大摄氧量的阈强度。然而, Billat 等^[15]报道,14名高水平中长跑运动员(最大摄氧量: $(74.9 \pm 3.0) \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 在 90% V_{\max} 强度进行力竭测试(持续了 17 min)时,逐渐稳定在 93% 最大摄氧量。实际上,耐力训练已经降低了缓慢增加的数量^[16]。

1.2 持续时间

如果 V_{\max} 是 HIT 的适当运动强度,用什么去决定每组应该持续的时间呢? 近几年 T_{\max} 开始受到关注,尽管 T_{\max} 具有个体差异——即使他们具有同样 V_{\max} ^[17,18], 经过 Billat 等^[19]人对中等水平和高水平中长跑运动员的研究,发现:尽管具有相同最大摄氧量的个体之间的 T_{\max} 存在变异性,但个体内 T_{\max} 的重复性较好(分别为 $(404 \pm 101) \text{ s}$ 和 $(402 \pm 113) \text{ s}$; $r = 0.86$; $P < 0.05$)。因此,可以使用 T_{\max} 或 T_{\max} 的百分率作为间歇运动持续时间的合适指标。同时也有研究表明: T_{\max} 和 $\text{VO}_{2\max}$ ^[20]、 V_{\max} ^[17,20] 之间存在负相关;和无氧阈之间存在正相关^[20-22]。这些都为 T_{\max} 的使用提供了科学依据。

近几年, T_{\max} 在高水平中长跑运动员中已经得到了成功的应用,也得出了一些可喜的研究结果。这些研究数据表明 50%~60% T_{\max} 可能是最优的 HIT 组持续时间^[8,9,23-25]。Billat 等^[26]研究也发现自行车运动员和优秀中长跑运动员的 T_{\max} 差异无显著性意义,分别为 $(222 \pm 91) \text{ s}$ 与 $(321 \pm 84) \text{ s}$ 。尽管 50%~60% T_{\max} 在高水平自行车运动员 HIT 中的应用的可行性还值得继续研究,但是对自行车运动员的纵向研究已经表明超大强度快速骑行训练在提高耐力成绩方面的实际作用可能比我们以前所想象的更大。

另一个可以作为持续时间的指标是 V_{\max} 强度所完成的距离。这与 T_{\max} 指标在本质上没有区别。值得注意的是,最近 Yuan 等^[27]研究发现:氮阈和耐力时间的高度相关($r = 0.915$, $P = 0.001$)也进一步证实了氮阈可能也是一个衡量次最大强度持续运动能力大小的指标。

1.3 组数和频率

HIT 组数和频率是在平时训练水平和训练量的基础上,根据 HIT 训练强度、持续时间、恢复时间以及运动员的个人能力进行制定。我们还未见关于 HIT 组数和频率的研究报道,只是 Billat 等^[24]的研究认为:只要不断重新测定 P_{peak} , (因为经过一段时间的训练 P_{peak} 可能提高)调整 HIT 的持续时间,1次/周的 50% P_{peak} 运动至力竭,重复 5 组,间歇休息 3 min 的训练就足够了,而 3 次/周将导致过度训练症状出现。

关于 HIT 的组数和频率还需要进一步研究。

1.4 间歇恢复时间

HIT 间歇恢复时间最优化的研究非常少。通常教练员和研究人员采用固定的工作恢复时间比例(2:1、1:1、1:2)^[24,25,28],或者恢复到最大心率的某个百分比^[29]。Balsom 等^[30]报道:与一个长时间恢复的 HIT 方案(在 200% 最大摄氧量水平完成 4~5 组持续 30 s 的运动,2 min 的间歇恢复)相比,一个短时恢复的 HIT 方案(在 170% 最大摄氧量水平完成 6~7 组持续 20 s 的运动,10 s 间歇恢复)可以使氧亏积累增加,摄氧量增加,认为:短时恢复的超大强度 HIT 可能使有氧和无氧代谢负担加重。在非运动员中,短时恢复训练的一个明显缺陷是可以完成的组数和工作量减少。然而,Zavorsky 等^[31]在对高水平运动员的研究中并没有发现这种情况。因此,最优化的间歇恢复时间还需要根据不同运动员的能力进行个体化的安排。但需要注意的是:HIT 后肌纤维通常易发生疲劳或损害,每次 HIT 最后一组完成后充分的恢复仍然是非常重要的^[30,32]。

1.5 恢复运动方式

关于 HIT 后主动恢复和被动恢复的重要性已经有报道^[9]。通常认为:在乳酸阈水平以上强度的间歇训练期,高乳酸水平被发展,采用主动恢复有助于乳酸的清除,有助于运动员耐受长时间的大强度工作^[8,9]。最近,Spierer 等^[33]报道:与被动恢复相比,采用 28% $\text{VO}_{2\max}$ 强度主动恢复提高了重复 WainT 的总输出功,认为主动恢复可以应用到需要重复无氧功的运动项目中(足球、篮球、摔跤)。Robertson 等^[34]也报道了高强度自行车训练后腿部按摩恢复与被动恢复相比,生理指标(Wingate 测试最大功率、平均功率)没有差异,但疲劳指数有所下降。因此,好像 HIT 方案中采用主动恢复是正确的。但是也有研究发现:在一个同等大强度的训练的被动恢复期,训练状态与血浆乳酸的下降没有关系^[35]。Dupont 等^[36]发现在 HIT 中,与选择主动恢复相比,采用被动恢复时运动至疲劳恢复的时间更长;平均能量代谢更低;氧基血红素的下降比率更低。这些研究结果的差异要求我们对主动恢复和被动恢复进行进一步的研究。

1.6 踏板节奏

踏板节奏可能影响肌球蛋白 ATP 酶活性、肌肉组织粘滞性、摄氧动力和不同类型肌纤维的募集,从而最终影响肌肉工作效率和能量代谢。Jamie 等^[37]报道,在相同相对强度运动,踏板节奏影响摄氧动力,认为这可能与发挥作用单元的数量改变有关,也可能与不同类型肌纤维的募集有关。McDaniel 等^[38]报道:机械输出功、踏板速度和肌肉收缩速度是影响次最大强度自行车运动新陈代谢的重要因素,但是踏板节奏对代谢消耗的影响较小,这可能与次最大强度自行车运动不能影响钙的处理有关^[39]。而运动强度相同时,40 r/min 骑行的生理应激(更多的肌肉主动参与)大于 80 r/min 骑行的生理应激^[40],这些情况我们都需要考虑。那么,究竟什么是比较合适的节奏呢?有研究表明,比较平坦赛段比赛的节奏大约在 90 r/min(这大于以前实验室研究的最佳节奏),山地路段的最佳节奏大约在 70 r/min。Brisswalter 等^[41]也提

出,最优踏车节奏与运动员自主选择节奏相同。他们的研究以比赛功率水平进行 30 min 自行车骑行,在此期间运动员自主选择适宜节奏,结果:此节奏与所测得的最优化节奏基本相同,有学者认为其机理是由于训练背景(有氧还是无氧)的不同,使得运动员肌纤维类型的比例不同,从而导致运动员的主观感觉最优转速会存在显著差异^[42]。但是,主观感觉最优节奏究竟是不是由肌纤维类型的不同所致,还需要研究去证实。

1.7 成绩模型的建立和应用

实践的应用主要在以下几方面,气流的影响作用、小前轮的应用、增加重量的作用、转动动力学、自行车构造在拉力上的改变、不同条件下的成绩标准化和人的身体机能的影响。有研究认为,首先,自行车世界纪录是生理和空气动力学综合作用的结果。其次,专项成绩可以通过包含有各种重要的影响因素参数的数学模型来预测^[43]。Broker 等^[44]通过 SRM 功率计获得了一个 4 000 m 追逐赛的成绩模型,并且被证实是有效的。根据该模型得出目前 4 000 m 个人追逐赛世界纪录的功率应该是 520 W,团体赛每个队员的平均功率不得低于 480 W。Schumacher 等^[45]通过对 1979 ~ 1999 年自行车场地赛最好成绩的发展进行分析得出相应的方程,通过这些方程计算和预测未来几年的成绩,从而再通过方程得出训练所需的输出功率。根据此模型,2004 年想赢得 4 km 团体赛必须具备的速度是 61.133 2 km/h。德国队应用这两个模型在悉尼奥运会创造了 3 h 59 min 的世界纪录^[46]。Bassett 等^[47]也依据风洞试验原理、身体大小与骑行额状面面积的关系,以及 SRM 所测试的相应输出功率,构建了一个预测追逐赛功率要求的数学模型,得出一个运动员要想打破当今记录,他必须具有在海平面或相对应的海拔上 440 W 的输出功率水平。因此,成绩模型的建立和实践应用也显得非常重要。

2 小结与展望

许多形式 HIT 方案都可以提高高水平运动员的耐力成绩、最大有氧输出功率和运动持续时间。但是,哪一种方案是最好并适合优秀运动员个体,还值得进一步研究。目前,自行车 HIT 方案可以采用的强度指标有 V_{max} 或 P_{peak} ;持续时间指标有 50% ~ 60% T_{max} 、 V_{max} 强度所完成的距离的 60%。今后还需要对间歇时间、训练频率、恢复方式、踏车节奏进行进一步的研究,然后在这些指标优化的基础上建立相关的成绩模型,合理安排 HIT,使训练更加科学化和目标化。相信,随着人们对 HIT 方法的深入探讨和研究,HIT 相关生理机制的不断清晰,HIT 方案的不断优化,自行车耐力项目运动员的成绩将会进一步得到提高。

参考文献:

- [1] Stepto N K, Hawley J A, Dennis S C, et al. Effects of different interval - training programs on cycling time - trial performance[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1998, 31: 736 - 741.
- [2] Weston A R, Myburgh K H, Lindsay F H, et al. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high - intensity training by well - trained cyclists[J]. *Eur J Appl Physiol*, 1997, 75: 7 - 13.
- [3] Westgarth - Taylor C, Hawley J A, Rickard S, et al. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance - trained cyclists[J]. *Eur J Appl Physiol*, 1997, 75: 298 - 304.
- [4] 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 Exerc*, 1996, 28: 1427 - 1434.
- [5] Laursen P B, Blanchard M A, Jenkins D G. Acute high - intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly - trained males[J]. *Can J Appl Physiol*, 2002, 27: 336 - 348.
- [6] Laursen P B, Shing C M, Peake J M, et al. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34: 1801 - 1807.
- [7] Billat L V, Koralsztejn J P. Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity[J]. *Sports Med*, 1996, 22: 90 - 108.
- [8] Billat V L, Slawinski J, Bocquet V, et al. 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[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2000, 81: 188 - 196.
- [9] Billat L V. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Part I: Aerobic interval training[J]. *Sports Med*, 2001, 31: 13 - 31.
- [10] Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, et al. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1997, 29: 390 - 395.
- [11] Ebntley D J, Mcnaughton L R, Thompson D, et al. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2001, 33(12): 2077 - 2081.
- [12] Lucia A, Hoyos J, Chicharro J L. The slow component of VO_2 in professional cyclists[J]. *Br J Sports Med*, 2000, 34: 367 - 374.
- [13] Billat V L, Mille - Hamard L, Petit B, et al. The role of cadence on the VO_2 slow component in cycling and running in tri - athletes[J]. *Int J Sports Med*, 1999, 20: 429 - 437.
- [14] Poole D C, Gaesser G A. Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training[J]. *J Appl Physiol*, 1985, 58: 1115 - 1121.
- [15] Billat V, Binsse V, Petit B, et al. High level runners are able to maintain a VO_2 steady - state below VO_{2max} in an all - out run over their critical velocity[J]. *Arch Physiol Biochem*, 1998, 106: 38 - 45.
- [16] Carter H, Jones A M, Barstow T J, et al. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running[J]. *J Appl Physiol*, 2000, 89: 1744 - 1752.
- [17] Billat V, Renoux J C, Pinoteau J, et al. Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO_{2max} and critical speed in elite long - distance runners[J]. *Arch Physiol Biochem*, 1995, 103: 129 - 135.

- [18] MacDougall J D, Hicks A L, MacDonald J R, et al. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training [J]. *J Appl Physiol*, 1998, 84: 2138 – 2142.
- [19] Billat V, Renoux J C, Pinoteau J, et al. Reproducibility of running time to exhaustion at VO_{2max} in subelite runners [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1994, 26: 254 – 257.
- [20] Billat V, Renoux J C, Pinoteau J, et al. Times to exhaustion at 100% of velocity at VO_{2max} and modeling of the time – limit/velocity relationship in elite long – distance runners [J]. *Eur J Appl Physiol*, 1994, 69: 271 – 273.
- [21] Billat V, Bernard O, Pinoteau J, et al. Times to exhaustion at VO_{2max} and lactate steady state velocity in sub elite long – distance runners [J]. *Arch Int Physiol Biochim Biophys*, 1994, 102: 215 – 219.
- [22] Hill D W, Rowell A L. Significance of time to exhaustion during exercise at the velocity associated with VO_{2max} [J]. *Eur J Appl Physiol*, 1996, 72: 383 – 386.
- [23] Hill D W, Rowell A L. Responses to exercise at the velocity associated with VO_{2max} [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1997, 29: 113 – 116.
- [24] Billat V L, Flechet B, Petit B, et al. Interval training at VO_{2max} effects on aerobic performance and overtraining markers [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31: 156 – 163.
- [25] Smith T P, McNaughton L R, Marshall K J. Effects of 4 – wk training using V_{max}/T_{max} on VO_{2max} and performance in athletes [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31(6): 892 – 896.
- [26] Billat V, Faina M, Sardella F, et al. A comparison of time to exhaustion at in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners [J]. *Ergonomics*, 1996, 39: 267 – 277.
- [27] Yuan Y, Chan K – M. A longitudinal study on the ammonia threshold in junior cyclists [J]. *Br J Sports Med*, 2004, 38: 115 – 119.
- [28] Stepto N K, Martin D T, Fallon K E, et al. Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2001, 33: 303 – 310.
- [29] Acevedo EO, Goldfarb AH. Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1989, 21: 563 – 568.
- [30] Balsom P D, Seger J Y, Sjodin B, et al. Maximal – intensity intermittent exercise: effect of recovery duration [J]. *Int J Sports Med*, 1992, 13: 528 – 533.
- [31] Zavorsky G S, Montgomery D L, Pearsall D J. Effect of intense interval workouts on running economy using three recovery durations [J]. *Eur J Appl Physiol*, 1998, 77: 224 – 230.
- [32] Parra J, Cadefau J A, Rodas G, et al. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high – intensity training in human muscle [J]. *Acta Physiol Scand*, 2000, 169: 157 – 165.
- [33] Spierer D K, Goldsmith R, Baran D A, et al. Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests [J]. *Int J Sports Med*, 2004, 25: 109 – 1146.
- [34] Robertson A, Watt J M, Galloway S D R. Effects of leg massage on recovery from high intensity cycling exercise [J]. *Br J Sports Med*, 2004, 38: 173 – 176.
- [35] Oosthuysen T, Carter R N. Plasma lactate decline during passive recovery from high – intensity exercise [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31(1): 670 – 674.
- [36] Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, et al. Passive versus active recovery during high – intensity intermittent exercises [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(2): 302 – 308.
- [37] Jamie S M Pringle, Jonathan H Doust, Helen Carter, et al. Effect of pedal rate on primary and slow – component oxygen uptake responses during heavy – cycle exercise [J]. *J Appl Physiol*, 2003, 94: 1501 – 1507.
- [38] McDaniel J, Durstine J L, Hand G A, et al. Determinants of metabolic cost during submaximal cycling [J]. *J Appl Physiol*, 2002, 93: 823 – 828.
- [39] Goedecke Julia H, Alan St Clair Gibson, Liesl Grobler, et al. Determinants of the variability in respiratory exchange ratio at rest and during exercise in trained athletes [J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2000, 279: E1325 – E1334.
- [40] Deschenes Michael R, William J Kraemer, Raymond W McCoy, et al. Muscle recruitment patterns regulate physiological responses during exercise of the same intensity [J]. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol*, 2000, 279: R2229 – R2236.
- [41] Brisswalter J, Hausswirth C, Smith D, et al. Energetically optimal cadence vs. freely – chosen cadence during cycling: effect of exercise duration [J]. *Int J Sports Med*, 2000, 21: 60 – 64.
- [42] Hintzy F, Groslander A, Dugue B, et al. Dose endurance or sprint training influence the perception of the optimal pedaling rate during submaximal cycling exercise [J]. *Int J Sports Med*, 2001, 22: 513 – 516.
- [43] Padilla Sabino In – igo Mujika, Juan Jose Goiriena. Scientific approach to the 1 – h cycling world record: A case study [J]. *J Appl Physiol*, 2000, 89: 1522 – 1527.
- [44] Broker J P, Kyle C R, Burke E R. Racing cyclist power requirements in the 4 000 m individual and team pursuits [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31(11): 1677 – 1685.
- [45] Schumacher Y O, Mueller P, Keul J. Development of peak performance in track cycling [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2001, 41: 139 – 146.
- [46] Schumacher Y O, Mueller P. The 4 000 m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34(6): 1029 – 1036.
- [47] Bassett D R Jr, Kyle C R, Passfield L, et al. Comparing cycling world hour records, 1967 – 1996: Modeling with empirical data [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1999, 31(11): 1665 – 1676.