

·竞赛与训练·

## 以赛带练的内稳态研究

刘承宜, 袁建琴, 付德荣, 王海霞, 李江华

(华南师范大学 激光运动医学实验室, 广东 广州 510631)

**摘要:** 运动训练的目的在于建立运动水平稳定发挥的项目内稳态(sport-specific homeostasis, SSH)。对于建立 SSH, 必须处于内稳态的系统称为 SSH 必需系统(SSH-essential system, SES), 其它可以允许不处于内稳态的系统称为 SSH 非必需系统(SSH-non-essential system, SNS)。从 SSH 的角度将运动训练分为超常训练(extraordinary training, ET)和常规训练(ordinary training, OT)两类。ET 建立 SES 内稳态(SES homeostasis, SESH), OT 则是在维持 SESH 的前提下建立和维持 SNS 内稳态(SNS homeostasis, SNSH)。SESH 的品质决定运动水平, SNSH 的品质决定运动水平转化为运动成绩的程度。从 SSH 的角度可以将训练系列描述为训练阶梯:  $ET_1-OT_1-ET_2-OT_2-\dots-OT_n$ -competition (EC),  $EC_1-EC_2-\dots$ 。OT 在消除 ET 的疲劳之后, 进一步提高运动成绩的关键是以赛带练。

**关键词:** 运动训练; 内稳态; 运动水平; 运动成绩; 以赛带练

中图分类号: G808.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2008)05-0081-04

### Homeostatic studies on performance-enhanced competition

LIU Cheng-yi, YUAN Jian-qin, FU De-rong, WANG Hai-xia, LI Jiang-hua

(Laboratory of Laser Sports Medicine, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** Homeostasis is the maintenance of a steady state and its steady functions. The homeostasis in sports training was found to be sport-specific so that it is called sport-specific homeostasis (SSH). Athletes' systems might be classified as SSH-essential system (SES) and SSH-non-essential system (SNS). The quality of SES homeostasis (SESH) represents sports capacity. The higher the SESH quality, the higher the sports capacity. The quality of the SNS homeostasis (SNSH) represents the expression of sports capacity. The higher the SNS quality, the more improved the sports performance. Athletes' training might be also classified into two kinds, the extraordinary training (ET) such as DOMS to establish the SESH of higher quality by destroying the former SESH, and the ordinary training (OT) such as tapering, fitness training, psychological training and spirit training to maintain SESH, and to establish and maintain SNSH. The training ladder should be  $ET_1-OT_1-ET_2-OT_2-\dots-OT_n$ -competition (EC);  $EC_1-EC_2-\dots$ . Performance-enhanced competition might be of critical importance after OT induced recovery from ET induced fatigue.

**Key words:** exercise training; homeostasis; sport capacity; performance; performance-enhanced competition

虽然以赛代练已经成为国际惯例<sup>[1]</sup>,但人们对其重要性的认识还远远不够。在外语学习中,测试或考试只是检验学习效果的例行公事。最近的研究表明,在巩固外语学习方面,复习与测试的效果相比,前者几乎可以忽略不计<sup>[2]</sup>。本文从内稳态的角度来讨论这一研究成果在运动训练中的意义。

内稳态用于运动科学的描述并不少见,但大多数用于局部的内稳态描述,例如氧化-抗氧化内稳态(oxidant-antioxidant homeostasis, OAH)<sup>[3-4]</sup>和呼吸内稳态<sup>[5]</sup>,用于运动员竞技水平的描述则很少。O'Toole 等<sup>[6]</sup>指出,虽然铁人三项运动的训练和比赛有很多生理学机理不清楚,但维持内稳态是非常重要的。Naokes 等人<sup>[7-8]</sup>

收稿日期: 2008-02-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60478048 和 60178003)

作者简介: 刘承宜(1963-),男,教授,博士,博士研究生导师,研究方向:内稳态理论和光生物调节作用。

和 Lacour 等人<sup>[9]</sup>分别从运动性疲劳和运动水平的表征两方面提到了运动训练对内稳态的维持, Glaister 等人<sup>[10]</sup>提到运动性疲劳的消除在于恢复内稳态, 但没有展开深入的研究。前文首次利用内稳态来描述整个训练过程<sup>[11]</sup>。本文将用于研究以赛代练这一特殊的训练现象。

## 1 运动训练中的内稳态现象

内稳态是由生物系统的各种调节机制调控而维持的一种动态平衡, 是生物系统从进化适应中获得的维持整个生物系统生存的基本条件<sup>[12]</sup>。内稳态的品质由内稳态抵抗外界干扰的能力或适应性和内稳态所维持的功能的水平等因素所确定<sup>[13-14]</sup>。内稳态表现为内环境的稳定和功能稳定。在运动训练中存在大量的内稳态现象。

运动员对一套训练方法的适应过程是内稳态建立的过程, 内稳态一旦建立, 原有的训练方法就成为维持内稳态的必要条件, 形成所谓的训练平台<sup>[15]</sup>、“竞技稳定结构”<sup>[16]</sup>或竞技能力非平衡结构<sup>[17]</sup>。对于不同的项目, 训练平台所表征的运动员内稳态是不同的, 因此, 这个运动员内稳态是项目特异的, 可以称为项目内稳态(sport-specific homeostasis, SSH)。在第二届全运会游泳比赛中, 冯炜权<sup>[18]</sup>观察了前 8 名运动员在连续参加剧烈的预、复、决赛时尿蛋白的变化, 发现它们没有差异显著性。李江华等<sup>[19]</sup>从晨尿代谢组学的角度研究了参加 2006 年亚运会前 1 个月的游泳运动员, 发现表征运动水平的代谢组学主成分在连续 3 次或 2 次每周 1 次的测量中变化最小。根据以赛代练的惯例, 我们分析了刘翔、Asafa Powell、Ian Thorpe 和 Allen Johnson 等优秀运动员的比赛成绩, 也发现了比赛成绩的平台现象。这些结果支持 SSH 的存在。

Yu 等人<sup>[20]</sup>从解剖学的角度研究了延迟性肌肉酸痛(DOMS)现象, 发现 DOMS 前后骨骼肌结构完整, DOMS 之后的骨骼肌比之前的骨骼肌多了一个集结。这也可以说是内稳态现象的一种表现。DOMS 前后骨骼肌结构都是完整的, 运动员都可以稳定地发挥功能, 它们都处于各自的内稳态。DOMS 恢复后的骨骼肌可以完成水平更高的功能, 因此, 其内稳态的品质高于 DOMS 之前的骨骼肌。不同运动项目的 DOMS 所撕裂的骨骼肌是不同的, DOMS 建立的当然是 SSH。

Levine 等人<sup>[21]</sup>对稳态代谢网络的研究表明, 网络节点上的稳态涨落彼此是没有关联的。因此可以认为, 虽然不同的系统之间会相互影响, 但它们彼此还是相对独立的。对于建立 SSH, 必需处于内稳态的系统称为 SSH 必需系统(SSH-essential system, SES), 其它可

以允许不处于内稳态的系统称为 SSH 非必需系统(SSH-non-essential system, SNS)。SES 内稳态(SES homeostasis, SESH)的建立通常称为运动适应。运动适应是决定性的, 没有 SESH 就没有运动水平。SESH 的品质越高, 运动水平越高。SNS 内稳态(SNS homeostasis, SNSH)的品质表征了运动水平转化为运动成绩的程度。在建立 SESH 的基础上, SNSH 的品质越高, 运动成绩越好。对减量训练<sup>[22-25]</sup>和停训<sup>[22-23]</sup>等文献的初步研究表明, SES 是一个整体, 其子系统包括骨骼肌子系统、供能子系统、神经子系统和氧化还原子系统, 等 SSH 必需的子系统; SNS 也是一个整体, 其子系统不但包括其它的骨骼肌子系统、供能子系统、神经子系统和氧化还原子系统, 而且包括呼吸肌子系统, 免疫子系统, 植物神经子系统, 生物节律、心理子系统和精神子系统等。进一步的研究正在进行。

## 2 运动训练的分类

从 SSH 的角度可以将运动训练分为超常训练(extraordinary training, ET)和常规训练(ordinary training, OT)两类。ET 打破品质低的 SSH, 建立品质高的 SESH; OT 则是在维持 SESH 的前提下建立和维持 SNSH 并进一步提升 SNSH 的品质。因此, 建立运动适应的训练属于 ET, 维持运动适应的减量训练<sup>[22-25]</sup>属于 OT, 破坏运动适应的停训<sup>[22-23]</sup>则会降低 SSH 的品质。

减量训练属于 OT。Mujika 等人<sup>[23-24]</sup>综述了大量的减量训练研究后指出, 强度是维持训练诱导的适应的关键参数, 必须保持; 频率可以稍微减低, 但降低量不超过 20%<sup>[24]</sup>。频率的改变通常也与强度改变相关联<sup>[26]</sup>。Bosquet 等人<sup>[26]</sup>的研究表明, 只要保持训练强度和频率, 赛前 2 个星期的减量训练可以改善运动水平。

要突破运动训练平台所代表的 SSH, ET 必须采用强度更大的训练, 通过生物适应建立 SESH。Ferris 等<sup>[27]</sup>从通气阈(ventilatory threshold,  $V_{Tn}$ )的角度研究了运动强度对脑源神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)和认知功能的影响。对没有参加过竞技运动的健康年轻人年龄( $25.4 \pm 1.0$ )岁、身高( $174.7 \pm 1.9$ )cm、体重( $71.0 \pm 3.1$ )kg、身体质量指数( $23.1 \pm 0.6$ ) $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ), Ferris 等<sup>[27]</sup>发现低强度( $V_{Tn}-20$ )对 BDNF 和认知功能评分没有影响, 但高强度( $V_{Tn}+10$ )增加了 BDNF 和认知功能评分。耐力训练的研究表明, 高强度的训练可以提高没有经过训练的运动员的运动水平, 但不能提高已经经过训练的运动员的运动水平<sup>[28]</sup>。对于没有参加过竞技运动的年轻人来说, 低强度运动属于 OT, 而高强度运动则属于 ET。但对于已经参加过耐力训练的运动员来说, 高强度训练就已经变成 OT 了。

为了建立运动训练的 C2C12 肌管模型,我们最近研究了连续电刺激对 C2C12 肌管内稳态的影响。C2C12 肌管电刺激(50 V, 30 ms, 3 Hz)每天一次,共 5 d,第 5 次刺激后孵育 24 h。根据刺激方式不同,电刺激分为两组, E-45 组每次刺激 45 min, E<sub>2</sub>-90 组前 4 天每次刺激 45 min,第 5 天刺激 90 min。为了探讨电刺激的即刻影响,设定 E<sub>1</sub>-90 组,前 4 d 每次刺激 45 min,第 5 天刺激 90 min 后即可测试指标。对照组不进行电刺激,但同步培养。E<sub>1</sub>-90 的对照组为 C<sub>1</sub>, E-45 和 E<sub>2</sub>-90 的对照组为 C<sub>2</sub>。C2C12 肌管内外的测试指标包括乳酸脱氢酶、琥珀酸脱氢酶和超氧化物歧化酶(superoxidase dismutase, SOD)的活性。结果表明, E-45 组每天刺激 45 min 连续 5 d 刺激保持 C2C12 肌管的内稳态。E<sub>1</sub>-90 组前 4 d 每天刺激 45 min 且第 5 天刺激 90 min 至少可以在 SOD 活性方面提高 C2C12 肌管内稳态的品质。在这里, E-45 组的电刺激属于 OT,但 E<sub>1</sub>-90 组最后一天的电刺激则属于 ET。

### 3 以赛带练

为了提高运动员的运动水平和运动成绩,运动员必须开展一系列训练。从 SSH 的角度可以将这些训练系列描述为运动训练阶梯:

$$ET_1-OT_1-ET_2-OT_2-\dots-OT_n-\text{competition (EC)} \\ EC_1-EC_2-\dots-$$

训练初期,运动员水平很低,应该通过 ET 提高运动水平。运动水平的提高不能一步登天,必须逐步完成,因此, ET-OT 的训练阶梯必须重复多次。比赛前,运动员的 SES 和 SNS 都应该处于内稳态,因此,比赛前的训练只能是 OT。如果没有 OT 仍然可以获得好成绩,说明运动员本来具备可以获得更好成绩的 SESH,只是 SNS 的子系统没有尽可能多地处于 SNSH,影响了运动水平的发挥。

运动训练与外语词汇学习有一定的共同性。外语词汇运用自如相当于 SSH。初次学会词汇相当于 ET,巩固词汇相当于 OT。巩固词汇的方法有复习和测试两种。Karpicke 等人<sup>[2]</sup>的研究表明,测试非常关键,但复习的效果几乎可以忽略不计;测试可以是考试,也可以是自我测试,只有与最后测试一样的测试模式才能有效提高成绩。显然,词汇的复习和测试相当于运动员的 OT 和比赛,最后阶段的 OT 即 OT<sub>n</sub>的训练强度与比赛的运动强度应当一致。Karpicke 等人<sup>[2]</sup>的研究提示,在消除了 ET 产生的运动疲劳之后,参加比赛比普通的 OT 更加有利于运动成绩的提高。因此,“以赛代练”的提法应该修改为“以赛带练”,这种训练方法对运动成绩的提高具有关键性的作用。当然, Karpicke

等人<sup>[2]</sup>的研究与训练阶梯的相互印证需要实验和流行病学调查的进一步证实。

### 4 讨论

运动成绩是由 SSH 的品质决定的。要建立 SSH,所有 SES 的子系统必须处于内稳态,即 SES 处于 SESH。我们认为, SESH 的品质决定了运动员的运动水平。SESH 的品质越高,运动水平越高。运动水平的提高必须借助于 ET 来完成。SNSH 的品质决定了运动水平转化为运动成绩的程度。对于 SSH 的维持,所有 SNS 的子系统可以不是都处于内稳态,但处于内稳态的子系统越多, SNSH 的品质越高,运动员的运动成绩越好。显然,在建立了 SESH 后,运动成绩的提高必须借助于 OT 来完成。在消除了 ET 产生的疲劳之后,以赛带练是效率最高的 OT。

以赛带练可以增加运动乐趣。多巴胺(dopamine, DA)是下丘脑和脑垂体腺中的一种关键神经递质。DA 直接影响人们的情绪,能影响每一个人对事物的欢愉感受<sup>[11]</sup>。从理论上来看,增加这种物质,就能让人兴奋,但是它会令人上瘾<sup>[11]</sup>。长期强迫性的训练削弱了奖赏的作用<sup>[29]</sup>,但训练阶梯可以强化奖赏作用。OT 消除 ET 产生的疲劳之后,就可以享受训练过程,所产生的多巴胺具有抗疲劳作用<sup>[30]</sup>。以赛带练可以得到比赛成绩的激励,奖赏机制可以得到进一步的强化。对运动的喜好可以通过训练阶梯和以赛带练所建立的运动享受来进一步强化。

享受运动过程本身是业余运动员成功的原动力。从训练阶梯的角度可以进一步理解业余运动员取得好成绩的事实。ET 可以建立 SESH,但大部分 SNS 子系统没有处于内稳态,其典型特征就是疲劳。OT 的目的是消除 ET 形成的疲劳,建立和提高 SNSH。当所有 SNS 子系统都处于品质很高的 SNSH 后,运动员就可以享受 OT,进一步提高运动成绩。

致谢:非常感谢博士生们的建设性意见,尤其感谢任占兵同学关于将“以赛代练”修改为“以赛带练”的建议!

### 参考文献:

- [1] 杨桦,池建.竞技体育实战制胜案例[M].北京:北京体育大学出版社,2006:156-167.
- [2] Karpicke J D, Roediger H L. The critical importance of retrieval for learning[J]. Science, 2008, 319(5865): 966-968.
- [3] Victor V M, De la Fuente M. Immune cells redox

- state from mice with endotoxin-induced oxidative stress. Involvement of NF-kappaB[J].Free Radic Res, 2003, 37(1): 19-27.
- [4] Ji L L, Gomez-Cabrera M C, Vina J.Exercise and hormesis: Activation of cellular antioxidant signaling pathway[J].Ann N Y Acad Sci, 2006, 1067: 425-35.
- [5] Poon C S, Tin C, Yu Y.Homeostasis of exercise hyperpnea and optimal sensorimotor integration: The internal model paradigm[J].Respir Physiol Neurobiol, 2007, 159(1): 1-13.
- [6] O'Toole M L, Douglas P S, Hiller W D.Applied physiology of a triathlon[J]. Sports Med, 1989, 8(4): 201-225.
- [7] Noakes T D, St Clair Gibson A.Logical limitations to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans[J].Br J Sports Med, 2004, 38(5): 648-649.
- [8] Noakes T D.The central governor model of exercise regulation applied to the marathon[J].Sports Med, 2007, 37(4-5): 374-347.
- [9] Lacour J R, Messonnier L, Bourdin M.The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation, Retrospective study of 94 elite rowers[J].Eur J Appl Physiol, 2007, 101(2): 241-7.
- [10] Glaister M.Multiple sprint work: Physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness[J].Sports Med, 2005, 35(9): 757-777.
- [11] 刘承宜,袁建琴,陈少华.科学训练、健康传播与奥运的平民化战略[J].体育学刊, 2007, 14(3): 33-36.
- [12] Recordati G, Bellini T G. A definition of internal constancy and homeostasis in the context of non-equilibrium thermodynamics[J].Exp Physiol, 2004, 89(1): 27-38.
- [13] Drietschilo W. Earth Days: Ecology comes of age as a science[M].New York: Universe Inc, 2004: 65-77.
- [14] Lu P, Rangan A, Chan S Y, et al. Global metabolic changes following loss of a feedback loop reveal dynamic steady states of the yeast metabolome[J].Metabolic Engineering, 2007, 9: 8-20
- [15] Busso T.Variable dose-response relationship between exercise training and performance[J].Med Sci Sports Exerc, 2003, 35(7): 1188-95.
- [16] 李捷.现代运动训练系统的自组织理论及其哲学思辨[J].体育科学, 1998, 18(6): 34-38.
- [17] 刘大庆.运动员竞技能力非平衡结构补偿理论[J].体育科学, 2000, 20(1): 43-46.
- [18] 冯炜权.游泳运动员在比赛时尿蛋白的变化[J].中国体育科技, 1973, 9(3): 48-50.
- [19] 李江华,刘承宜,徐晓阳,等.第 15 届亚运会优秀男游泳运动员代谢组学研究[J].体育科学, 2008, 28(2): 42-46.
- [20] Yu J G, Carlsson L, Thornell L E. Evidence for myofibril remodeling as opposed to myofibril damage in human muscles with DOMS: An ultrastructural and immunoelectron microscopic study[J].Histochem Cell Biol, 2004, 121(3): 219-227.
- [21] Levine E, Hwa T. Stochastic fluctuations in metabolic pathways[J].Proc Natl Acad Sci U S A, 2007, 104(22): L9224-9.
- [22] Mujika I, Padilla S. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus[J].Sports Med, 2000, 30(2): 79-87.
- [23] Mujika I, Padilla S. Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II: Long term insufficient training stimulus[J].Sports Med, 2000, 30(3): 145-54.
- [24] Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies[J].Med Sci Sports Exerc, 2003, 35(7): 1182-7.
- [25] Mujika I, Padilla S, Pyne D, et al. Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes[J].Sports Med, 2004, 34(13): 891-927.
- [26] Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, et al. Effects of tapering on performance: A meta-analysis[J].Med Sci Sports Exerc, 2007, 39(8): 1358-65.
- [27] Ferris L T, Williams J S, Shen C L. The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function[J].Med Sci Sports Exerc, 2007, 39(4): 728-34.
- [28] Laursen P B, Jenkins D G.The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes[J].Sports Med, 2002, 32(1): 53-73.
- [29] Chen H I, Kuo Y M, Liao C H, et al. Long-term compulsive exercise reduces the rewarding efficacy of 3, 4-methylenedioxymethamphetamine[J].Behav Brain Res, 2008, 187(1): 185-189.
- [30] 邓树勋,王健.高级运动生理学——理论与应用[M].北京:高等教育出版社, 2003: 1-22.

[编辑: 周威]