

最大摄氧量、乳酸阈、通气阈和心率在 监测运动员训练效果中的应用

李桂沂, 陈锡泉, 肖俊伟, 谢龙友, 袁大雨
(华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 通过测试 4 周强化有氧训练(LT 强度)前后广东省女子自行车运动员的 VO_{2max} 、LT、VT、HR、VE 等指标变化,以观察有氧耐力的变化。结果显示:1) VO_{2max} 、VT 均无明显变化($P>0.05$); 2)训练前后 VO_{2max} 、LT、VT 与心率均显著相关($P<0.05$)。3)VT、LT 时与心率显著相关(-0.592, $P<0.05$), 回归方程为: $Y(\text{LT 时心率})=218.120-0.343 X(\text{VT 心率})$ 。结论: 1)为期 4 周的有氧耐力强化训练(LT 强度)并不能够明显提高女子自行车运动员 VO_{2max} 、VT 的水平; 2)采用心率控制训练强度是科学合理的; 3)实验室测试 VT 心率在实际训练中需要校正后再用。

关 键 词: 运动生理学; 最大摄氧量; 乳酸阈; 通气阈; 自行车运动

中图分类号: G804.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7116(2010)12-0107-05

Application of VO_{2max} , LT, VT And HR in monitoring athlete training effects

LI Gui-yi, CHEN Xi-quan, XIAO Jun-wei, XIE Long-you, YUAN Da-yu

(School of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: By measuring the change of indexes such as VO_{2max} , LT, VT, HR and VE of female cyclists in Guangdong before and after 4-week intensified aerobic training, the authors observed the change of aerobic stamina, and revealed the following findings: 1)there were no significant changes in VO_{2max} and VT ($P>0.05$); 2)before and after training, VO_{2max} , LT and VT were significantly correlative with HR ($P<0.05$); 3)at VT and LT, the correlation with HR was significant; the coefficient of correlation was -0.592 ($P<0.05$); the regression equation is $Y(\text{HR at LT})=218.120-0.343 x(\text{HR at VT})$. Conclusions: 1)4-week aerobic stamina intensified training (LT strength) failed to significantly improve the levels of VO_{2max} and VT of the female cyclists; 2)controlling training intensity by means of HR is scientific and rational; 3)HR at VT measured in a laboratory needs to be calibrated before it is used in actual training.

Key words: sports physiology; VO_{2max} ; LT; VT; Cycling

有氧耐力是自行车运动员取得优秀成绩的素质基础,监测自行车运动员一些有氧耐力指标的变化,可以有效对训练进行指导监督。反映有氧耐力指标比较多,如乳酸阈(LT)、通气阈(VT)、最大摄氧量(VO_{2max})等。心率(HR)是监测运动强度的有效指标,通过建立 HR-LT(VT)控制强度模型,可以有效控制训练的强度,科学地指导训练。本实验通过对强化训练前后优秀女子自行车运动员进行有氧能力运动测试,观察 LT、VT、

VO_{2max} 、HR 和气体代谢等指标的变化,从而对训练效果进行科学评价,为参加 2010 年广州亚运会的备战训练提供科学依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

广东省女子自行车队员 6 名,专业水平相当,年龄(21.50 ± 2.99)岁,身高(170.50 ± 1.89)cm,体重(60.58

收稿日期: 2010-03-25

基金项目: 国家大学生创新性实验计划项目(教学[2009]17 号)。

作者简介: 李桂沂(1987-),女,本科,研究方向: 体育教育。通讯作者: 肖国强教授。

± 3.96) kg, 体脂百分比(23.60 ± 2.37)%, BMI 为(20.83 ± 1.20) kg/m^2 。身体健康, 心肺功能无明显差异。

1.2 研究方法

本实验周期为 4 周, 训练内容由教练员按备战训练计划进行。受试者在训练周期开始前 1 d 和第 4 周结束后第 1 天, 分别进行有氧能力测试和通过分级负荷测试血乳酸浓度。两次测试时间都在上午 08:00~11:00 时进行。

有氧耐力测试方法: 在实验室内, 要求受试者在 monark 839 功率自行车上安静坐 5 min 后, 测定其安静时的摄氧量(VO_2)、通气量(VE)、心率(HR)等指标, 然后受试者采用 Bruce 法进行蹬自行车运动直至力竭。在进行递增负荷运动时, 受试者口戴呼吸面罩进行运动, 同时测定气体代谢各指标, 即每分钟的 VO_2 、 VE 、二氧化碳排出量(VCO_2)及呼吸商(R)等。实验前 2900 气体分析仪采用标准气进行校正。

$\text{VO}_{2\max}$ 的判断可用以下 4 种情况任何 3 种同时出现时来确定: (1) VO_2 不再增加而出现平台; (2) R 大于 1.2; (3) HR 大于 180 次/min; (4) BLa 浓度大于 9 mmol/L^[2]。

LT 测试采用分级负荷测试方案, 测试指标为血乳酸(BLa), 由指尖部位取血样(0.02 mL), 并立即用血乳酸自动分析仪(1500 Model A Yellow Springs Instrument Co., USA)对血乳酸浓度进行分析测定。LT 采用血乳酸达到 4.0 mmol/L 时的强度表示乳酸阈的方法^[1], 通过测试血乳酸浓度, 找出乳酸阈时心率。

通气阈(VT)判断标准为: 与运动时间相对应, 通气量(VE)开始非线性上升; 与运动时间相对应, 二氧化碳排出量(VCO_2)出现非线性上升^[2]。为标准运动强度的体能训练, 主要通过心率来控制强度, 其他训练正常进行。

1.3 数据统计与分析

所有数据均由 SPSS 15.0 统计软件包进行统计学处理, 以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 采用配对 t 检验和一元回归方法(全回归)进行分析, $P < 0.05$ 为差异有

显著性。

2 结果及分析

2.1 递增负荷运动后 VO_2 、 VE 、心率的变化

如图 1、2 所示, 两次递增负荷运动中 VO_2 、 VE 、心率随着时间的延长而逐渐增加, 在 12~13 min 时出现拐点, VO_2 、 VE 由平缓增加变为急剧上升, 心率变化则趋于平缓。训练后 VO_2 、 VE 、心率均略高于训练前, 但是配对 t 检验显示并差异没有显著性($P > 0.05$)。

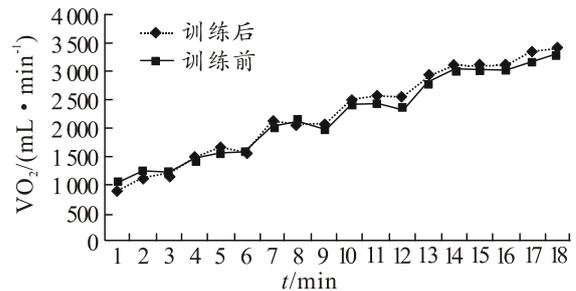


图 1 递增负荷运动时 VO_2-t 曲线

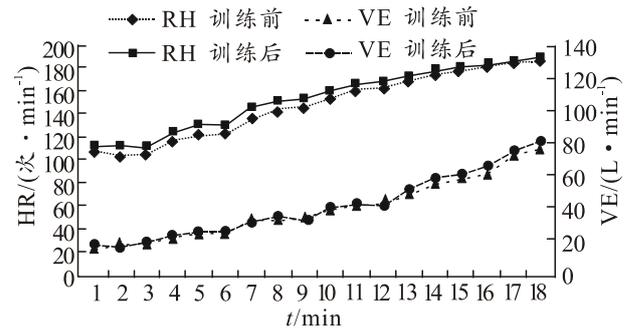


图 2 递增负荷运动时 $\text{HR}-t$ 、 $\text{VE}-t$ 曲线

2.2 递增负荷运动时最大值的变化

训练前后最大摄氧量绝对值、最大摄氧量相对值、 VE_{\max} 、 HR_{\max} 和力竭时间变化不大, 差异无显著性($P > 0.05$), 如表 1 所示。

表 1 递增负荷运动后相关指标最大值测试结果¹⁾ ($\bar{x} \pm s$)

测试时间	$\text{VO}_{2\max}/(\text{mL} \cdot \text{min}^{-1})$	$V/(\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$	$\text{VE}_{\max}/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$	$\text{HR}_{\max}/(\text{次} \cdot \text{min}^{-1})$	$t_{\text{力竭}}/\text{min}$
训练前	3362.17 ± 267.75	55.57 ± 5.18	115.35 ± 14.40	187.33 ± 5.71	17.66 ± 1.02
训练后	3469.83 ± 274.89	57.44 ± 5.75	113.57 ± 11.47	188.50 ± 5.35	17.89 ± 1.23

1) V 为最大相对吸氧量

2.3 递增负荷运动时通气阈和最大摄氧量时各指标变化

训练后通气阈出现时间、心率、摄氧量相对值与训练前相比较, VO_2 、 VE 、 VCO_2 略有增加, 但差异无

显著性, 与训练前相比, 呼吸商(R)明显升高($P < 0.05$)。训练后最大摄氧量出现时间延后约 1 min, 差异具有显著性($P < 0.05$), 最大摄氧量时的心率下降明显($P < 0.05$),

而其他指标不变或者略有增加, 差异无显著性。训练前 VT 时 VO_2 、VE 和 HR 各自指标最大值的百分率, 分别为 $(79.26 \pm 3.09)\%$ 、 $(59.37 \pm 7.11)\%$ 和 $(89.75 \pm$

$3.09)\%$, 训练后分别为 $(80.09 \pm 7.61)\%$ 、 $(59.28 \pm 6.82)\%$ 和 $(90.16 \pm 3.27)\%$, 无明显差异 ($P>0.05$), 如表 2 所示。

表 2 递增负荷运动时通气阈和最大摄氧量时各指标的变化 ($\bar{x} \pm s$)

测试时间	$t_{力竭}/\text{min}$		HR/(次·min ⁻¹)		HR _{max} 百分率/%	
	通气阈时	最大摄氧量时	通气阈时	最大摄氧量时	通气阈时	最大摄氧量时
训练前	12.72±0.77	16.05±1.72	169.53±6.03	186.67±7.34	89.75±3.09	
训练后	12.77±0.34	17.05±2.22 ¹⁾	169.33±5.53	183.00±6.23 ¹⁾	90.16±3.27	
测试时间	VE/(L·min ⁻¹)		VE _{max} 百分率/%		VO _{2max} /(mL·min ⁻¹)	
	通气阈时	最大摄氧量时	通气阈时	最大摄氧量时	通气阈时	最大摄氧量时
训练前	65.50±7.30	105.90±14.03	59.37±7.11		2 664.17±220.79	3 362.17±267.75
训练后	68.15±10.24	110.33±15.14	59.28±6.82		2 775.67±311.98	3 469.83±274.89
测试时间	$V^2)/(\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$		VO _{2max} 百分率/%		VCO _{2max} /(mL·min ⁻¹)	
	通气阈时	最大摄氧量时	通气阈时	最大摄氧量时	通气阈时	最大摄氧量时
训练前	44.32±4.78	55.57±5.18	79.26±3.09		2 419.17±202.76	3 556.83±320.82
训练后	44.00±3.93	57.44±5.75	80.09±7.61		2 427.17±240.59	3 680.83±343.59

1)与运动前比较, $P<0.05$; 2)V为最大相对吸氧量

2.4 LT、VT 和 VO_{2max} 时心率情况及其相关性与回归分析

训练前 VT 时平均心率为 (169.5 ± 6.09) 次/min, 训练后为 (169.33 ± 5.50) 次/min, 相关性系数为 $0.889(P<0.05)$, LT 时心率训练前为 (160.17 ± 3.37) 次/min, 训练后为 (160 ± 3.35) 次/min, 相关性系数为 $0.939(P<0.05)$ 。训练前后 VO_{2max} 心率分别为 (186.67 ± 7.34) 次/min、 (183.00 ± 6.23) 次/min, 相关性系数为 $0.862(P<0.05)$ 。训练前后 VT 与 LT 心率无显著差异 ($P>0.05$), 两次总的 VT 与 LT 时心率相关性系数为: $-0.592(P<0.05)$ 。

通过 LT 与 VO_{2max} 时心率一元回归分析, 得到方程的系数均无显著性。以 Y 代表 LT 时心率为因变量, X 代表 VT 时心率为自变量进行一元回归分析, 得到如下方程:

训练前 VT-LT 心率回归分析: $Y=200.828-0.240X$
 $P=0.391>0.05$;

训练后 VT-LT 心率回归分析: $Y=239.445-0.469X$
 $P=0.073>0.05$;

综合 VT-LT 心率做回归分析: $Y=218.120-0.343X$
 $P=0.043<0.05$, 系数差异具有显著性, 方程可靠。

3 讨论

3.1 有氧耐力水平

文献报导, 国外优秀长距离运动员, 包括自行车、

滑雪、马拉松等, 赛后血乳酸浓度均较低^[2]。40~180 km 长距离和超长距离公路自行车比赛, 属于中等强度运动, 运动时能量代谢比例中糖和脂肪的有氧氧化占主要。公路自行车运动属于中长距离周期性耐力项目, 有氧代谢能力是决定其运动成绩的关键因素。

本实验通过测试发现: 广东省女子自行车运动员 VO_{2max} 在 $3\ 000 \sim 3\ 900 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 绝对值约为 $3\ 400 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 相对值在 $47 \sim 64 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 均值约为 $56.4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 最大心率约为 188 次/min。研究表明: 世界女子优秀公路自行车运动员的 VO_{2max} 在 $3\ 650 \sim 4\ 200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 其相对值为 $63 \sim 72 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 心率为 $190 \sim 202 \text{ 次/min}^{[3]}$ 。从 VO_{2max} 的情况来看, 我省女子自行运动员与世界优秀水平的运动员尚有一段距离, 尤其是 VO_{2max} 相对值明显低于世界水平。

研究人员发现, 最大摄氧量受遗传等先天性因素影响较大, 但是乳酸阈和通气阈时摄氧量与运动成绩呈显著相关, 且通过训练可以明显提高乳酸阈和通气阈时功率^[4]。本实验结果显示训练前后通气阈均值约为 $2\ 700 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 相对值平均约为 $44 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, 百分比均值约为 80%。研究报道: 滑雪运动员无氧阈(AT)占 $80\% \text{ VO}_{2\text{max}}$, 长距离游泳运动员的 AT 为 $90\% \text{ VO}_{2\text{max}}^{[5]}$ 。

3.2 通气阈与乳酸阈之间的关系及其应用

通气阈和乳酸阈发生的机制目前已经得到了较统

一的认识^[5]。乳酸阈产生机制是因为运动时肌肉缺氧,需氧量大于摄氧量,肌肉组织糖酵解供能增强,引起乳酸增加,而机体分解乳酸的速率跟不上生成速率,引起血液乳酸急剧升高。通气阈产生机制基本相同,随着运动强度增大,乳酸增加, H⁺增加,置换出碳酸氢盐里面的 CO₂,引起血液中 CO₂升高,进一步引起通气量, CO₂排出量非线性增加。两者产生的基本机制是一致的,只是我们采用了不同的检测方式。研究表明两者有很高的正相关关系。Yoshida 等^[6]发现通气阈和动脉血乳酸阈间的 VO₂、VO_{2max}百分率、VE、HR 和 R 值间均无明显统计学差异,两阈值之间呈明显统计正相关($r=0.886$, $P<0.001$)。Gaesser 等^[7]发现训练前后乳酸阈与通气阈间均呈明显统计正相关(训练前 $r=0.96$, 训练后 $r=0.86$)。张琴等^[8]通过实验证明通气阈、乳酸阈随着氧分压的降低出现同时降低的现象,但是降低的幅度并不相同。王春泉等^[9]实验发现通气阈与乳酸无氧阈相关性较高,乳酸的变化引起通气阈的非线性变化。

正因为通气阈与乳酸阈的高度相关性,本研究试图通过不同的环境下来测试通气阈和乳酸阈(测试通气阈是实验室环境,而测试乳酸阈是模拟训练环境)观察两者是否依然存在相关。我们知道通气阈测试是无损检测,但是需要带上呼吸面罩,不能完全模拟训练环境,实验结果跟实际情况有一定的差别,而乳酸检测可以在训练中进行,但是数据不稳定,不利于准确分析,另外需要大量采血样,对运动员有一定的损伤。因此结合两者的优点,通过建立通气阈和乳酸阈时心率的回归方程,以便在实际中更好运用。实验结果显示,单独以训练前或训练后两阈的心率做回归分析,得出方程的 P 值均大于 0.05,而以两次数据混合在一起同样做回归分析,其方程为 $Y(\text{LT 心率})=218.120-0.343 X(\text{VT 心率})$, $P=0.043<0.05$,具有显著性差异,方程可靠。单独回归结果不理想的原因可能是因为数据样本过少。通过混合数据的回归分析,我们认为实验室通气阈测试的数据,在实际训练中运用还需要校正。实验室测试的通气阈心率均高于实际运动中乳酸阈心率,可能因为带上呼吸面罩,造成呼吸阻力增加,加上实验中其他因素,引起心率增加异常。

训练中常采用相当于通气阈或者乳酸阈强度进行训练以提高有氧运动能力。陈俊民^[10]通过研究高原(2 260 m)环境下测得女子自行车运动员乳酸阈时的心率为 153 次/min⁻¹,高于通气无氧阈时的心率 137 次/min⁻¹,提出以通气无氧阈时的心率作为有氧训练的强度指标较为适宜。Yamamoto^[11]研究发现用通气阈的强度进行 30 min 运动后,血乳酸可保持在稳定状态。

3.3 VO_{2max}、VT、LT 和 HR 在监测自行车运动员训练成效中的应用

VO_{2max}、VT 和 LT 是评价运动员有氧能力的重要指标^[6-7, 12]。心率是反映运动强度的有效指标,目前在体育实践中广泛使用。VO_{2max}、VT、LT 和 HR 在体育训练中可以用来监测和控制运动的强度以及评价训练效果。

首先 VO_{2max}、VT、LT 和 HR 可以用来监测和控制运动训练的强度,心率是运动现场指导训练的简单实用的指标之一,一定的心率代表一定的训练强度,本实验训练前后测试 VO_{2max}、LT、VT、HR 以及最大心率显著相关, $P<0.05$,反映心率与训练强度的相关度很高。在运动实践中教练员常采用心率来控制训练的强度、控制休息间隔的时间等。采用相当于 VT 或者 LT 强度进行训练,是发展有氧耐力的有效方法,可以明显提高运动成绩。Kirsén(1980)通过实验证明采用无氧阈强度训练能够大幅度提高游泳成绩,而高于无氧阈强度训练的游泳成绩幅度增加较小^[13]。缪素堃等提出,采用相当于 3 mmol/L 乳酸的速度或 4 mmol/L 乳酸阈速度的 85%~90%的强度作为自行车运动员有氧训练的强度指标较为合适。

其次 VO_{2max}、VT、LT 和 HR 常用于评价训练的效果^[12]。本次实验通过测试训练前后 VO_{2max}、VT、LT 以及 HR 等指标,发现为期 4 周强化训练后,VO_{2max}绝对值和相对值略有提高,虽然配对 T 检验结果显示并无显著差异,但出现时间延长约 1 min($P<0.05$),而力竭时间、VE_{max} 训练前后并无差异。训练前后 VT 时 VO₂、VE、VO_{2max} 相对值和 VO₂ 百分率均无差异($P>0.05$),但 R 显著升高($P<0.05$)。实验结果表明:为期 4 周的强化训练并不能够提高运动员的有氧耐力。我们认为引起训练成绩提高不明显的原因可能有以下几点:1)有氧训练设计存在问题或在实际操作中不当;2)训练时间只有 4 周,有氧能力的提高是一个漫长的周期,因此提高不显著;3)选用的测试方法可反映训练的效果,但是实际操作可能有一定缺陷,比如实验室的环境不同于日常训练环境等。需要说明的是本次试验并没有对运动成绩进行前后对比,所以在评价训练成果上有一定的局限性。

参考文献:

- [1] 肖国强. 运动与能量代谢[M]. 北京:人民体育出版社, 1998.
- [2] 缪素堃, 王淑云, 陆绍中, 等. 对发展不同项目自行车运动员无氧和有氧能力的初步探讨[J]. 中国运动生理学杂志, 1983, 2(2): 27-33.

- [3] 冯连世,冯美云,冯炜权. 优秀运动员身体机能评定方法[M]. 北京:人民体育出版社,2003.
- [4] 邓树勋,王健,乔德才. 运动生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [5] 缪素堃. 自行车训练的科学监控[M]. 北京:人民体育出版社,1993.
- [6] Gaesser G. A, Poole D. C. Lactate and ventilator threshold: disparity in time course of adaptations to training [J]. J Appl Physiol, 1986(61): 999-1004.
- [7] Dwyer J, Bybee R. Heart rate indices of the anaerobic threshold [J]. Med Sci Sports Exerc, 1983(1): 72-76.
- [8] 张琴,肖国强,许小辉. 正常和低氧环境下递增负荷运动时通气阈、乳酸阈的变化[J]. 体育学刊,2009,16(7): 105-109.
- [9] 王春泉,刘晓林. 无氧阈不同测定方法的同步比较[J]. 航天医学与医学工程,1994,7(4): 291-294.
- [10] 陈俊民. 高原(2 260 m)女子公路自行车运动员的通气无氧阈、乳酸阈和最大氧耗量的研究[J]. 中国应用生理学杂志,1996,12(3): 247-249.
- [11] Yamamoto Y. The ventilatory threshold gives maximal lactate steady state[J]. Eur J Appl Physiol, 1991(63): 55-59.
- [12] Yoshida T. The validity of anaerobic threshold determination by a Douglas bag method compared with arterial blood lactate concentration[J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1981, 46(4): 423-430.
- [13] Kindermann W, Simon G., Krul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of workload intensities during endurance training[J]. Eur J Appl Physiol, 1979(42): 13-23.

高校应该张开怀抱欢迎优秀运动员

浙江省体育局的机关报《体坛报》刊登了一个特别的求职广告——为 15 名浙江省优秀退役运动员找工作。其中游泳名将杨雨、女排运动员周润芝、男排运动员沈征宇赫然在列。

长期以来,我们的运动员在退役以后的出路很窄,做教练员和体育系统的后勤服务工作毕竟岗位有限,经商需要天赋和足够的资本,去读书又面临着原有文化基础的欠缺,进入其他行业还要面对专业知识的挑战。总之,以往我们的多数运动员退役后要安置在体育系统中,只有少数优秀运动员可以自己去国外执教、继续在国外当运动员、进入高校读书、直接经商等。

应该说,在美国和加拿大等国家,基本不存在运动员的退役安置问题。因为这些国家参与奥运会的运动员主要来自高校、业余俱乐部和少数职业俱乐部,前两者有自己除体育以外的专业和工作,后者可以靠职业生涯积攒后半生的花销。我们之所以存在运动员安置问题,一是训练成本比较高,项目设置齐全,基层运动员人数多,中途淘汰数量大;二是运动员训练期间缺乏人生的整体规划,九年义务制教育的法规未能得到很好贯彻,运动员文化教育水准不高。

近年来,国家体育总局及各地体育行政管理部门对此问题越来越重视,对运动队的文化学习要求更严,甚至有些运动员在没有退役前就进入高校就读,像浙江省这种帮助运动员围绕教师资格证的要求进行培训的做法,就是以人为本的做法,值得大力推广。

笔者以为,世界冠军、亚洲冠军、全国冠军应该把执教目标定在高等院校,这里有巨大需求,而且能极大地发挥冠军们的特长和优势。

最近,教育部刚刚确定我国 268 所高校设置高水平运动队,有些高校的项目超过 5 个大项,仅网球就批准 26 所高校开设,其它项目也全部有分布。可以这样说,至少在这 268 所高校,冠军们是可以找到发挥才能的天地的。

根据我的了解,现在很多高校的体育课也非常欢迎冠军们来任教,艺术体操亚洲冠军周晓菁在清华大学被学生们评为最受欢迎的 10 大教师之一就是一个很鲜明的例证。

我所在的江西财经大学获准明年在全国范围内招收网球优秀人才进入学校,一边攻读学士学位,一边训练和参加全国大学生网球比赛。而事实上,我们现有的网球教练员并非科班出身,而是从体操、足球等项目转项而来。相信其他设立了高水平运动队的高校,其教练员也有很多是转项的,对于优秀的专职教练员,高校的需求量是很大的。根据我的估测,这个数字应该在 1 000 人左右。

推进中国高校体育显然是个系统工程,但如果我们的高校能张开臂膀拥抱那些优秀运动员们,相信对于冠军们和学生们、对于体育局和高校,都是共赢的事情。我呼吁所有 268 所教育部批准设立高水平运动队的高校,热忱欢迎优秀运动员担任教练员和体育教师,让属于年轻人的体育热情在高校绽放。

(江西财经大学 易剑东教授)