

基于定量差异法的自行车运动员生化指标研究

耿海峰, 谢云

(天津体育学院运动训练科学学院, 天津 静海 301617)

摘要:为了探讨定量差异法对生化指标定量分级以及核心参数指标对运动训练的指导作用,以天津市公路自行车队8名主力运动员为研究对象,利用黄金分割常数和变异系数对训练监控的生化指标进行定量分级和稳定性分析。结果显示:在7项指标中,Hb、Fe未能分级,其余CK分级最多,可分3级,RBC、BUN、T、C各分2级;3级CK与1级T的CV值在准备期与比赛期有显著定量差异($L \geq 0.80$);1级T及1、2级CK为训练核心参数。结论:变异系数分析可以鉴定阶段性的训练成果,预测运动员的竞技成绩以及判定运动员竞技状态的稳定性等;生化指标定量分级能够精准地确定最佳训练负荷,辅助教练指导运动训练;核心参数指标的出现能够保证运动训练的经济高效性。

关键词:定量分级;生化指标;变异系数;负荷强度

中图分类号:G804.7

文献标识码:A

文章编号:1007-7413(2019)05-0052-08

Analysis and Research on Biochemical Indexes of Cyclists Based on Quantitative Difference Analysis

GENG Hai-feng, XIE Yun

(Dept. of PE, Tianjin University of Sport, Tianjin 301617, China)

Abstract: Objective: To explore the guiding significance of quantitative difference method for quantitative classification of biochemical indexes and analysis of core parameters for sports training. Methods: Tianjin road cycling team of eight athletes in as the research object, using the golden division constant and coefficient of variation of training monitoring biochemical indexes of quantitative classification and stability analysis. Results: Among the 7 indicators, HB and Fe failed to be classified, and the rest CK was rated at the highest level, which could be divided into 3 levels, and RBC, BUN, T and C were classified into 2 levels respectively; CV values of grade 3 CK and grade 1 T have significant quantitative differences between the preparation period and the reinforcement period ($L > 0.80$); Level 1 T and level 2 CK are the core training parameters. Conclusions: The analysis of coefficient of variation can identify the training results in stages, predict the athletes' athletic performance, and determine the stability of athletes' athletic state; The quantitative grading of biochemical indexes can accurately determine the optimal training load and assist coaches to guide sports training; The appearance of core parameters can guarantee the economic efficiency of sports training.

Key words: quantitative classification; biochemical index; coefficient of variation; load intensity

对运动训练过程实施有效监控是体育科研人员不断努力的方向,训练数据的分析是运动训练量化的基本前提,但要这些数据能正确反映出训练的客观规律,对于现阶段不断遭受批判的研究方法来说具备一定难度^[1-2]。相比较于传统统计学原理,是以数据组内的小差异为前提来判定组间差异显著的方法,只要组内差异足够小,组间再小的差异也可以判断是否显著^[3]。这容易让人们怀疑组内有显著差异,组间

也具有显著差异的数据则无法得到体现。ACSM指出^[4],生化指标同运动成绩和竞技水平一样,都可以进行分级。黄金分割常数是区分两个数之间差异的自然常数^[5],通过利用黄金分割常数 $[t = (\sqrt{5} - 1)/2 \approx 0.618]$ 可找出具有显著差异的生化指标^[6],从而进一步分级。有研究指出生化指标的CV值在运动水平评估领域尤为适用^[7],这为本研究的变异系数分析奠定了理论基础,然而与已有研究不同的

收稿日期:2019-03-29

作者简介:耿海峰(1994—),男,山东滨州人,硕士研究生。研究方向:体育教育训练学。

谢云(1973—),男,安徽滁州人,副教授,硕士研究生导师。研究方向:体育教育训练学。

是,本研究的对象为不同备战周期的同一运动员,已有研究的对象多为运动水平在竞技成绩方面有差距的运动员^[8-10]。综上,本研究分别通过定量分级与变异系数(coefficients of variation,CV)研究生化指标与运动训练的关系以及生化指标对于运动训练的指导作用。

运动训练中生化参数分级的前提是血液指标随着负荷量和负荷强度的变化而变化所产生的差异,不同级别指标之间的差异可以通过自然常数转化为人类容易识别的直观参数。在物理学中数学与物理公式完美结合的例子已经屡见不鲜,而在生命科学以及社会科学中却少之又少,最主要的一点原因就是缺乏自然常数,物理与化学常常以自然常数作为度量某一量的参照标准^[3],例如,一摩尔原子的质量定义为常数g。本研究以黄金分割常数为区分两个数差异的自然常数。为讨论方便,通过引入黄金分割常数将差异定量化来解决统计方法的局限(黄金分割常数是区分两个数差异的自然常数^[11]),这称之为定量差异(quantitative difference,QD)^[6]。刘承宜通过改进Fibonacci数列及黄金分割常数来度量差异的公式,将两数之间的定量差异计算公式更新为 $L = |\log_e(x/y)|$,并通过总结前人研究得出机体分子细胞水平的显著定量差异为0.80^[6]。本研究用0.80来对生化参数进行分级,以分析不同竞技水平生化指标的组间差异。

CV是竞技水平与生化指标之间连接的“桥梁”,已有大量研究表明生化指标CV值是反映竞技水平稳定性的一个有效指标。MacNutt等通过对低氧运动反应稳定程度分析,发现在低氧环境下心脏反应的微小变化是可以被监测到的^[12]。Malcata和Hopkins认为了解比赛动力学、功率输出、环境、技能和主观评分对运动成绩变化的影响,有助于确定和评估提高成绩的策略^[13]。国内对竞技成绩稳定性的研究相对薄弱,唐琰琰认为变异系数的大小可以反映运动员竞技水平的高低,同时变异系数也是评测运动员是否优秀的指标^[8]。本研究以天津市公路自行车队备战第13届全运会运动员为测试对象,对其备战的准备期、比赛期的生化指标进行定量分级,通过生化指标CV值与竞技成绩CV值之间的相关性来找出每个阶段所对应的核心参数指标,研究两个训练阶段的特点。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究通过对自行车运动员生化指标进行定量

差异分析,来明确生化指标在训练监控中的具体作用。为此,研究选取天津市公路自行车队8名主力运动员为测试对象,性别均为男性(表1)。根据运动员的训练水平以及参赛成绩将运动员按备战阶段分为准备期与比赛期。

表1 研究对象个人信息一览表

姓名	年龄	运动等级	训练年限/年
史*	21	国家健将	6
毕*辉	26	国家健将	8
刘*旺	24	国家一级	9
张*晟	21	国家一级	5
王*东	19	国家一级	5
王*龙	28	国家一级	10
薛*	19	国家一级	3
廉*	19	国家一级	3

1.2 研究方法

1.2.1 观察法

2018年4月—9月,笔者以运动队医务管理身份随队参加了锦标赛、冠军赛等重大赛事,深入了解天津市公路自行车队的训练安排,而且对紧张的赛前准备阶段、赛中每天的训练安排和全面的保障,都做了全程详细记录。

1.2.2 访谈法

与天津市公路自行车队教练组成员进行面对面的访谈以获得一些专项训练的知识。访谈的教练员有天津市公路自行车队现任主教练张建立,辅助教练王春猛、韩金录。

1.2.3 测试法

受试的8名职业公路自行车运动员的竞技成绩均来自赛前每周的测试。受试者在功率自行车上进行恒定功率3 000转骑行,阻力为150 W,骑行姿势为公路自行车比赛标准骑行姿势;30 km骑行方式为绕圈骑行,每圈周长大约为8.5 km,骑行车辆为LOOK牌个人计时赛专用车(封闭轮);测试过程为运动队常规成绩测试过程,由主教练全程计时可以保证试验过程标准规范,每次测试均能达到运动员各自最大心率,这保证了竞技成绩的准确可靠性。以自行车运动员作为定量差异分析对象更具有代表性,蹬车时下肢肌肉的周期性动态收缩是各体育项目中人体动

作最基本的肌肉工作形式,分析结果具有普适性。

1.3 血液指标采集

在天津市公路自行车队全部 8 名主力运动员备战锦标赛期间(2018 年 3 月 1 日—2018 年 9 月 1 日),笔者对血红蛋白(Hb)、白细胞(RBC)、铁蛋白(Fe)、肌酸激酶(CK)、血尿素(BUN)、血睾酮(T)、皮质醇(C)跟踪测试,共 80 人次。每周一清晨 8 点采集静脉血。运动员血液分析结果由天津市体育科学研究所提供。

1.4 CV 值计算

通过变异系数差异法来分析自行车运动员生化指标稳定性特征。采用 CV 差异法分析不同训练阶段(准备期与比赛期)各指标稳定性, CV 值的计算方法为标准差(SD)除以平均值(\bar{x}): $CV = SD/\bar{x}$ 。

1.5 生化指标的定量差异计算

1.5.1 定量分级过程

首先对将任意一组数据按由小到大顺序排列为 $x_1, x_k, x_n, x_y, \dots, x_z$, 其中 t 为黄金分割常数(0.618)。

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{K} \sum_{x_1}^{x_k} X_z, x_k < x_1/t^{0.80}, x_{k+1} > x_1/t^{0.80} \quad (1)$$

(1)式中 x_k 为这组数据中最后一个小于 $x_1/t^{0.80}$ 的数据。 K 表示该组数据前 K 个数小于 $x_1/t^{0.80}$, 将数据取作平均值 \bar{x}_1 。

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum_{x_1}^{x_n} X_z, x_n < \bar{x}_1/t^{0.80}, x_{n+1} > \bar{x}_1/t^{0.80} \quad (2)$$

(2)式中 x_n 为该组数据中最后一个小于 $\bar{x}_1/t^{0.80}$ 的数据。 n 表示前 n 个数小于 $\bar{x}_1/t^{0.80}$, 将运算结果取作 \bar{x}_2 。

$$M_1 = \frac{1}{y} \sum_{x_1}^{x_y} X_z \quad (3)$$

如果 $x_y > \bar{x}_2/t^{0.80}$, 那么 x_1 到 x_n 所有数据相加的平均数即为一级定量指标 M_1 。再从 x_y 开始继续寻找小于 $\bar{x}_y/t^{0.80}$ 的数据, 重复上述操作, 计算出二级、三级、四级定量指标 M_2, M_3, M_4 。

1.5.2 定量差异计算

准备期与比赛期的各项生化指标每级之间的定量差异通过两个定量数据之间比值的黄金对数 ($L = |\log_2(x/y)|$) 表现出来。研究以 $L \geq 0.80$ 为显著定量差异进行分析。

1.6 运动员生化指标与竞技成绩相关性分析

本研究以 3 000 转功率车骑行和 30 km 公路骑行的竞技成绩为分析对象, 将竞技成绩 CV 值与分级后的生化指标做相关性分析, 找出与自行车运动员竞

技成绩相关性较大的核心参数指标。

1.7 数据处理

通过 SPSS 17.0 对数据进行平均数与相关性分析, 数据均以平均数 \pm 标准差表示。 $P < 0.05$ 表示组间有差异, $P < 0.01$ 表示组间有显著差异。

2 结果与分析

2.1 准备期与比赛期竞技表现

从准备期与比赛期的负荷分配可以看出(表 1): (1)准备期的负荷量基本集中在 80 % ~ 90 % 乳酸阈强度之间, 大强度负荷量较少; 比赛期负荷量主要集中在 90 % ~ 100 % 乳酸阈强度之间, 整个训练基本以乳酸阈强度为主, < 85 % 与 > 100 % 乳酸阈强度的负荷量要明显少于准备期。(2)准备期以有氧训练为主, 比赛期主要是耐乳酸能力的训练; 为了避免疲劳的过度堆积, 比赛期减少了接近比赛强度的负荷量。(3)结合两个训练周期的比赛结果, 准备期参加冠军赛的最好成绩是季军, 而在比赛期参加的锦标赛诞生了一名冠军选手, 且运动员的骑行速度要明显高于冠军赛。最终结果表明比赛期负荷节奏的安排成效显著。生化指标的变化与训练息息相关, 因此要想进一步提高竞技水平, 减少短板, 还需从运动员生化指标分析入手, 以生化指标的分析结果为依据合理分配训练负荷, 从而提升运动员的竞技成绩。

2.2 运动员各项生化指标及其 CV 值分析

通过对运动员生化指标原始数据配对样本 t 检验与定量差异分析可知, 准备期与比赛期在 t 上表现出了显著差异 ($P < 0.05$), 其余各项指标均无显著性差异 ($P > 0.05, L < 0.80$)。定量分级后, 各项数据之间的差异性是否显著还需进一步验证。从各项数据平均数来看, 比赛期 HB、RBC、F、C 的浓度略低于准备期, CK、BUN、T 的浓度略高于准备期。表 2 为不同时期各项生化数据的变异系数分析。7 项指标中只有 CK 与 C 的变异系数在比赛期大于准备期, 其余生化指标变异系数均呈现出更稳定趋势; 其中, 准备期 Fe 与 CK 的 CV 值与比赛期相比有显著差异 ($P < 0.05$)。天津公路自行车队主力队员共 8 名, 均具有参与全运会的比赛资格, 结果为冠军 1 名, 前八 1 名, 其余 6 名选手无论从比赛名次还是从骑行速度来看都有明显的提高。这正是表 3 所示的比赛期生化数据稳定性要高于准备期生化数据稳定性的原因所在。

表 1 天津市公路自行车队赛前负荷安排一览表

准备期				比赛期			
负荷强度(乳酸阈 强度 %)	公里数 /km	课平均量 /km	平均速度 (km/h)	负荷强度(乳酸阈 强度 %)	公里数 /km	课平均量 /km	平均速度 (km/h)
< 80 %	2 220.50	92.52	29.20	< 80 %	324.60	92.52	29.20
80 % ~ 85 %	1 994.80	142.49	33.85	80 % ~ 85 %	320.90	142.49	33.85
85 % ~ 90 %	1 376.40	137.64	35.90	85 % ~ 90 %	663.47	137.64	35.90
90 % ~ 95 %	1 041.60	148.80	37.47	90 % ~ 95 %	2 077.10	148.80	37.47
95 % ~ 100 %	456.30	152.10	40.30	95 % ~ 100 %	467.80	152.10	40.30
> 100 %	443.70	147.90	42.63	> 100 %	259.20	147.90	42.63

表 2 运动员生化指标分析结果($\bar{x} \pm s, n = 8$)

训练周期	HB(g/dL)	RBC($\times 10^9$ /L)	Fe(ug/dL)	CK(U · L ⁻¹)	BUN(mmol/L)	T(ng/dL)	C(μ g/dL)
准备期	15.13 ± 0.81	5.67 ± 1.14	242.96 ± 36.67	218.2 ± 144.44	7.02 ± 1.15	467.23 ± 121.77 [*]	20.28 ± 4.16
比赛期	14.96 ± 0.59	5.42 ± 0.86	234.79 ± 50.15	276.6 ± 145.65	7.40 ± 1.26	537.56 ± 91.48	19.58 ± 3.72

注: * 表示与比赛期生化指标相比较 $P < 0.05$

表 3 运动员准备期与比赛期生化指标变异系数($\bar{x} \pm s, n = 8$)

训练周期	HB	RBC	Fe	CK	BUN	T	C
准备期	0.05 ± 0.02	0.18 ± 0.10	0.14 ± 0.04 [*]	0.51 ± 0.14 [*]	0.14 ± 0.03	0.21 ± 0.08	0.13 ± 0.03
比赛期	0.03 ± 0.01	0.10 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.26 ± 0.06	0.14 ± 0.04	0.13 ± 0.04	0.16 ± 0.09

注: * 表示与比赛期相比 $P < 0.05$

2.3 生化指标的定量分级

从表 4 对自行车运动员不同训练周期的生化指标定量分析的结果来看:(1)RBC 在准备期可分为 2 级,比赛期只有 1 级。比赛期 1 级 RBC 的 CV 值低于准备期 RBC 的 CV 值,且比赛期 1 级 RBC 浓度并没有大幅度高于准备期。(2)CK 在准备期与比赛期均可分为 3 级,在定量分级前不同训练周期各生化指标之间并未表现出显著差异,定量分级后 1 级 CK 显示出显著差异,即比赛期酶活力大于准备期(1 级, $P < 0.01$)。1 级 CK(CV)值中,比赛期要大于准备期,其余 2 级 3 级 CK(CV)值(都准备期大于比赛期),可见比赛期运动员生化指标的稳定性要好于准备期。(3)准备期 T(2 级)高于比赛期 T(1 级),T 分级前在 0.05 水平上表现出了差异性,分级后在 0.01 水平上表现出了更显著的差异性。(4)准备期 C 可分 2 级,比赛期可分为 1 级。“黄金分割”定量差异分析显示,3 级 CK 与 1 级 T 的 CV 值在准备期与比赛期有显著定量差异($1 \geq 0.80$),生化指标在准备期与比赛期之间未能表现出显著定量差异。

2.4 生化指标与竞技成绩关系

与准备期相比,比赛期的生化指标稳定性以及竞技成绩的表现都要更优异。因此,笔者以比赛期生化数据和竞技成绩作为研究对象,将各级生化指标与竞技成绩进行相关性分析,以便找出各级指标中与指导运动训练相关性较高的生化指标。表 5 为定量分级前运动员生化指标 CV 值与竞技成绩相关系数分析结果,共有 4 项生化指标与竞技成绩呈现出了显著相关性。生化指标的 CV 值与竞技成绩和竞技成绩的 CV 值理论上应当呈正相关关系,然而在分析结果中出现了负相关关系的分析结果,其中比赛期 RBC 的 CV 值与比赛期功率车成绩呈显著负相关($P < 0.05$)。其余 3 项指标分别表现在 C 的 CV 值与准备期功率车成绩($P < 0.05$)、Fe 的 CV 值与比赛期 20 km 骑行成绩($P < 0.05$)以及 T 的 CV 值与比赛期 20 km 骑行成绩 CV 值。其余 3 项指标 BUN、HB、CK 并未表现出显著相关性。定量分级后的相关性如何还需进一步判定。

表 4 不同训练阶段运动员生化指标定量分析结果($\bar{x} \pm s, n = 8$)

生化指标	训练周期	1 级		2 级		3 级	
		均值	CV 值	均值	CV 值	均值	CV 值
HB (g/dL)	准备期	15.13 ± 0.81	0.05				
	比赛期	14.96 ± 0.59	0.04				
	定量差异	0.03	0.63				
RBC (×10 ⁹ /L)	准备期	5.39 ± 0.80	0.15	8.1 ± 0.38	0.05		
	比赛期	5.42 ± 0.86	0.16				
	定量差异	0.01	0.14				
Fe (ug/dL)	准备期	242.96 ± 36.67	0.15				
	比赛期	234.79 ± 50.15	0.21				
	定量差异	0.07	0.69				
CK (U/L)	准备期	145.3 ± 30.65**	0.21	27 ± 49.28	0.18	668.50 ± 190.21	0.28
	比赛期	178.07 ± 40.87	0.23	31 ± 57.96	0.17	556.75 ± 50.85	0.09
	定量差异	0.42	0.19	0.29	0.03	0.38	2.34***
BUN (mmol/L)	准备期	7.02 ± 1.15	0.16				
	比赛期	7.42 ± 1.17	0.15	9.9 ± 1.23	0.12		
	定量差异	0.11	0.13				
T(ng/dL)	准备期	455 ± 105.4**	0.26	806 ± 123.42	0.15		
	比赛期	537 ± 91.48	0.17				
	定量差异	0.34	0.88***				
C (μg/dL)	准备期	19.81 ± 3.33	0.17	33.86 ± 0.24	0.01		
	比赛期	19.58 ± 3.71	0.19				
	定量差异	0.02	0.23				

注: * 表示与比赛期相比 $P < 0.05$; ** 表示与比赛期相比 $P < 0.01$; *** 表示准备期与比赛期相比, 定量差异 $L \geq 0.80$

表 5 定量分级前运动员生化指标 CV 值与竞技成绩 PERSON 相关系数

生化指 标	功率车				30 km 骑行			
	成绩		CV _{成绩}		成绩		CV _{成绩}	
	准备期	比赛期	准备期	比赛期	准备期	比赛期	准备期	比赛期
HB	0.20	0.76	0.43	0.81	0.34	0.37	0.45	0.72
RBC	0.18	0.00	0.57	-0.75*	0.04	0.29	0.58	0.00
Fe	0.06	0.10	0.27	0.53	-0.51	0.99**	0.27	0.31
CK	0.11	0.40	0.38	0.20	0.51	0.45	0.39	0.56
BUN	0.36	0.31	0.22	0.40	0.30	0.27	0.20	0.41
T	0.27	0.86	0.45	0.48	0.10	0.15	0.43	0.89*
C	0.79*	0.66	0.32	0.45	0.54	0.07	0.41	0.40

注: * 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$

分级后的生化指标与竞技成绩相关性分析结果如表6所示。与分级前相比,分级后的仅有T的CV值保留了显著相关性,T在比赛期仅可分为1级,因此可断定是1级T。同时,分级后新出现了两个CK的相关性,分别是2级CK与功率车成绩和1级CK与30 km骑行的成绩CV。分级前在生化指标CV值与竞技成绩相关性分析中,两种测试方式都表现出了负相关性,特别是功率车成绩与生化指标的相关性分

析结果呈负相关较为显著。相比之下,30 km的骑行成绩就显得相对稳定。尽管室外骑行在风向、风速、路面等方面都对运动员的测试成绩有一定影响,但“动态的”外界骑行更接近运动员的常规比赛模式,相比功率车这种“静态骑行”,30 km骑行更适合作为运动员的一种测试或选拔方式;而可以通过调节“加载”大小的功率车训练作为一种打破自行车运动员竞技能力定性格局的重要训练方式。

表6 定量分级后运动员生化指标 CV 值与竞技成绩 person 相关系数

生化指标	功率车						30 km 骑行					
	成绩			CV 成绩			成绩			CV 成绩		
	1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级	1 级	2 级	3 级
HB	0.10	—	—	0.53	—	—	0.68	—	—	0.10	—	—
RBC	0.10	—	—	0.71	—	—	0.45	—	—	0.17	—	—
Fe	0.25	—	—	0.56	—	—	0.80	—	—	0.45	—	—
CK	0.54	0.79*	0.12	0.22	0.26	0.14	0.45	0.45	0.13	0.75*	0.12	0.15
BUN	0.08	0.13	—	0.64	0.15	—	0.53	0.23	—	0.64	0.45	—
T	0.24	—	—	0.83*	—	—	0.13	—	—	0.37	—	—
C	0.38	—	—	0.44	—	—	0.58	—	—	0.28	—	—

注: * 表示 $P < 0.05$; * * 表示 $P < 0.01$

3 讨论

3.1 变异系数对运动训练的作用

卡尔·皮尔森 100 多年前引入的变异系数 V 是当今基础汇总统计中应用最广泛、最重要的指标之一^[11]。本研究中变异系数与定量分级的相结合一是分别清晰地反映了数据组间与组内差异程度,弥补了传统分析方法定性分析的不足;二是反映了运动员生化指标以及竞技成绩的综合特征,分别从生化指标的变异程度、竞技成绩的变异程度、生化指标的分级结果以及分级后的变异程度体现出生化指标对运动训练的指导意义。组内差异的大小往往会反映在 CV 值上,组内差异越小,则 CV 越小。CV 值的大小反映了数据的稳定程度,有关研究指出运动成绩的稳定性决定了运动员运动水平的优劣,竞技成绩 CV 值越低,运动员本身运动成绩就越好^[9-10]。

本研究对同一组运动员不同训练周期的情况进行比较得到了类似结果,即比赛期运动员的 CV 值要

比准备期 CV 值低,而且竞技成绩也明显优于准备期。再从 CV 值反映的组内差异上来看,核心参数 T 的 1 级指标 CV 值表现出显著定量差异,且 T 的浓度明显高于准备期(尽管没有表现出显著定量差异),这说明运动员的生化指标的稳定性表现并不是随负荷强度被动地改变,运动员在比赛期经历大强度训练的过程中,对外界应激的适应能力增强,形成了多种应激机制组成的冗余机制^[14],CV 值的大小能够客观地反映出运动员的竞技表现。尽管比赛期 3 级 CK 浓度低于准备期,CV 值也表现出了显著定量差异,但这可以看作是运动员自身调节能力增强的一种表现。因此,利用生化指标 CV 值与运动成绩的关系,可以鉴定阶段性的训练成果,预测运动员的竞技成绩,制定优秀运动员的选材指标以及判定运动员竞技状态的稳定性等。

3.2 定量分级对运动训练的作用

竞技能力模型给定了运动员各项子能力应当具有的水平,按照给定的模式训练,高水平阶段运动员的表现就会显得千篇一律。高水平阶段,运动员只有

辅以个性化的训练方案,才会产生高效的训练效果。生化指标的定量分级为教练员提供了制定个性化训练方案的理论依据。刘承宜对寿命的定量差异与运动效应的定量差异进行了分析,发现在传统统计学上未表现出显著差异的数据在定量差异分析上均表现出了显著差异,他指出不同研究类别的定量差异标准是不同的,自相拟常数给出了不同的标准,具体地反映出了分析数据的差异^[6]。本研究对生化指标定量分级后,确定了 CK 和 T 的 CV 值与竞技成绩的显著相关性,这表示相关性指标对运动训练起着至关重要的作用,能够帮助教练员在提升整体负荷强度前提下确定最佳训练负荷,并合理把控运动训练过程。

精准确定最佳训练负荷界限。本研究 T 与 CK 的 CV 值的显著相关性结论与唐琰琰对赛艇运动员所做的研究结果相似^[8]。力竭性运动后,CK 活性升高较多,恢复也较慢,数据一般超出 300 U/L 即是运动量过大,身体尚未恢复的表现^[15]。CK 值分级最多,准备期与比赛期可分为 3 级,以 300 U/L 所对应的训练强度为界限,2 级 CK 活性与此标准相吻合,随着运动强度的增加,CK 值会不断增加。运动员生化指标处于 2 级浓度说明负荷强度已达到承受范围内的最大强度,如若达到 3 级 CK 浓度,教练员就应及时调整训练计划,避免疲劳的过度积累以影响运动员的竞技状态。精准确定最佳训练负荷界限有利于运动员建立稳定的平台机制。血清 CK 受负荷强度的影响变化灵敏,因此应将 CK 与 T 的浓度变化与运动强度相结合,确定“常规训练”与“过度训练”的界限。

通过分级后的核心参数 CK 指导运动训练。准备期 1 级 CK 活性达到 (145.32 ± 30.65) U/L,比赛期达到 (178.07 ± 40.87) U/L;准备期 2 级 CK 活性为 (272 ± 49.28) U/L,比赛期为 (313.71 ± 57.96) U/L。从 1、2 级 CK 活性可以看出比赛期训练强度高于准备期。达到 3 级 CK 活性时,比赛期 (556.75 ± 50.85) U/L 要低于准备期 (668.50 ± 190.21) U/L。当 CK 活性达到 668.50 ± 190.21 U/L 时,运动员生化指标 CV 值会显著升高($L=2.34$),机体的调节能力明显会受到影响,因此 CK 活性为 556.75 ± 50.85 U/L 时所对应的训练可以作为刺激运动员耐力提升的特殊手段,而不是常用手段。比赛期的负荷安排比准备期的更为集中。为了追求更高的竞技成绩,比赛期的训练可以从 1 级负荷强度入手,1 级负荷强度进一步向 2 级推进。比赛期 3 级 CK 活性应当控制只能在特别安排的高强度训练周出现,其他阶段应尽量避免;准备期 3 级 CK 的

活性值在其他阶段则应杜绝出现。

3.3 核心参数对运动训练的作用

1 级 T、CK 与 2 级 CK 为训练核心参数。CK(肌酸激酶)主要存在于心肌、骨骼肌细胞以及淋巴循环中,是强化训练的敏感指标,因此,血清肌酸激酶活性的变化可作为评定肌肉是否能够承受高强度训练负荷及疲劳与损伤后恢复情况的重要指标。CK 不仅与运动的持续时间有关,还与运动强度有很大关系。虽然 CK 值在反映运动员机能变化情况上具有一定的局限性,通常只能反映近 2~3 天的训练强度对机体的刺激程度^[16],但 CK 指标分为 3 级。弥补了 T 在定量上未能分级的不足。研究中 1 级和 2 级 CK 的 CV 值与竞技成绩呈现出了显著相关性,因此可以根据 CK 值的变化科学安排“一般训练”计划或 1 到 2 次“强化训练”;在“一般训练”时检测到 2 级 CK 指标,则需要降低训练强度;在“强化训练”时检测到 1 级 CK 指标,则应该提高训练强度,保证训练的经济高效性。

T(血睾酮)是一类含有 19 个碳原子的类固醇激素,能刺激组织摄取氨基酸,促进核酸和蛋白质的合成,促进肌纤维和骨骼的生长,加强磷酸肌酸的合成,促进促红细胞生成素分泌,增加肌糖原储备,等等^[17]。比赛期运动员 T 的浓度值一直维持于正常范围 $(270 \sim 1\,000)$ ng/dL 之间,这说明运动员合成代谢能力比较旺盛,机体具备充足的能源物质。血清睾酮水平常常被视为了解运动员身体合成代谢状态的指标,甚至成为了判断运动员疲劳程度和竞技状态的重要指标。长时间、大负荷的运动会造成血清睾酮的下降,睾酮水平过低表示合成代谢不足,运动员得不到有效的恢复。因此,T 可作为运动员长期大强度负荷训练的主要检测指标。作为运动训练的“长效指标”,T 弥补了 CK 只在短周期训练上有参考意义的缺陷。这两项指标的结合将有利于教练为运动员提供一份个性化的训练方案。

3.4 定量差异法模型优越性特征

单以生化指标为统计对象建立的训练负荷统计模型前人早有探索,例如范家成所做的运动员个体化的质量控制图就是通过收集运动员的生化指标大量基础值,建立一条平均值预测线,依据运动员训练后生化指标在预测线上的位置判断训练负荷对机体刺激程度^[18]。该方法的优点在于生化指标标准基数大,具有高质量的参考标准;然而该方法忽略了运动员的竞技水平成长因素,未能探索出运动员适应水平升高后的预测标准计算方法,因此在训练后期,尤其

是竞技能力快速提升阶段误差较大。而 T 与 C 比值的方法,根据该比值超过 0.3 或小于 0.35×10^{-3} 则可诊断为运动疲劳;该方法先天局限性在于考虑指标单一,未能保证训练负荷的全域化推测,评价标准具有普适性但难以达到个体化水准。本研究定量差异法的出现不仅能够保证生化指标评价负荷的时效性,而且综合了所有指标,并从中选取具有代表性的核心参数指标,保证了运动训练的“因人而异”。

从训练负荷评价的角度来看模型的优劣性,我们会发现,以心率为依据的负荷评价方法包括 Edwards TRIMP 的负荷强度评价方法(低强度 $< 70HR_{\max}$ 、中等强度 $70\% \sim 85\% HR_{\max}$ 、大强度 $> 85\% HR_{\max}$)以及 Bannister TRIMP、Lucia TRIMP 等负荷量评价法。如今这些评价法被大多数研究者批评:(1)心率在运动员疲劳状态下未能准确反映出负荷强度;(2)大多数 TRIMP 值计算公式繁琐,并且计算指标测试困难。最近火热的直观感知评价法(SRPE)被认为是一种高度个性化的评价方法,然而由于其评价结果单位的标准化未能实现,使其结果的有效性也难以得到检验。基于此,以定量差异为依据建立的训练负荷评价以及训练指导预测模型能够很好地解决种种局限,其与自然科学的结合也能够保证其结果的有效性。

4 结论

本研究探讨了基于定量差异分析的运动员生化指标稳定性及其与竞技成绩的关系。分析结果表明,变异系数分析可以鉴定阶段性的训练成果,预测运动员的竞技成绩,制定优秀运动员的选材指标以及判定运动员竞技状态的稳定性等。生化指标定量分级能够精准地确定最佳训练负荷,辅助教练指导运动训练。核心参数指标的出现能够保证运动训练的高效性,并且 T 与 CK 这对“长效指标”与“短效指标”的有机结合将全程保障训练计划的有效执行。通过对核心参数指标和分级后生化指标的把控,运动训练将会进一步建立在科学基础上。定量差异分析法在体育科学中的出现能提升运动训练过程定量化水平。本研究以自行车运动员为例,证明了该预测模型对耐力性项目的适用性,对其他项目或其他项群的适用性分型还有待进一步研究。

参考文献

[1] ZILIAK ST, MCCLOSKEY DN. The cult of statistical signifi-

cance; How the standard error costs us jobs, justice and lives [J]. Statistical Papers, 2012, 53 (1): 243-244.

[2] ZHU W. Sadly, the earth is still round ($P < 0.05$) [J]. JSHS, 2012, 1(1): 9-11.

[3] 刘承宜, 朱玲, 李方晖, 等. 自相似常数和定量差异及其在体育科学中的应用[J]. 体育学刊, 2017, 24(6): 72-78.

[4] ACSM. ACSM's advanced exercise physiology [M]. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins, 2005.

[5] STEWART A M, HOPKINS W G. Consistency of swimming performance within and between competitions [J]. Med Sci Sports Exerc, 2000, 32(5): 997-1001.

[6] 刘承宜, 胡少娟, 李晓云, 等. 定量差异及其在体育科学中的应用[J]. 体育学刊, 2016, 23(1): 11-17.

[7] 董德龙, 杨斌. 中国运动训练需要面对的 3 个问题: 学科内容、研究范式与知识建构[J]. 北京体育大学学报, 2015, 38(3): 126-131.

[8] 唐琰琰, 刘承宜, 李吉如, 等. 运动训练生化指标分级及其与运动成绩的相关性[J]. 体育学刊, 2016, 23(6): 122-128.

[9] LIU T C Y, LIU R, ZHU L, et al. Homeostatic photobiomodulation [J]. Front Optoelectron China, 2009, 2(1): 1-8.

[10] WEI E X, LIU C Y, LI F H. Photobiomodulation on Stress [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2011(5): 10178-10182.

[11] TARALD O. Kvålseth. Coefficient of variation: the second-order alternative [J]. Journal of Applied Statistics, 2017, 44(3): 402-415.

[12] MACNUTT M J, PETERS C M, MOORE J, et. al. Day-to-day variability in cardiorespiratory responses to hypoxic cycle exercise [J]. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2015, 40(2): 155-161.

[13] MALCATA R M, HOPKINS W G. Variability of Competitive Performance of Elite Athletes: A Systematic Review [J]. Sports Med, 2014, 44(12): 1763-1774.

[14] LIU TC, LIU R, ZHU L, et. al. Homeostatic photobiomodulation [J]. Front Optoelectron China, 2009, 2(1): 1-8.

[15] 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与建立 [M]. 北京: 人民体育出版社, 2004.

[16] 郭黎, 闫晓, 冯连世. 生理、生化指标在击剑运动员赛前训练监控中的应用研究 [J]. 中国体育科技, 2011, 47(3): 49-53.

[17] 杨明, 田野, 赵杰修. 中国国家女子马拉松队备战柏林世界田径锦标赛生理生化指标的变化特征 [J]. 中国体育科技, 2011, 47(2): 21-25.

[18] 范家成, 顾军, 彭波. 血尿素指标用于运动员机能评定的方法学研究 [J]. 湖北体育科技, 2003, 22(4): 455-461.

[责任编辑 江国平]