



多维度监测优秀拳击运动员运动疲劳的应用研究

王金昊¹, 邱俊^{1*}, 陈帅¹, 王连方²

摘要:目的:观察拳击运动员大负荷训练前后生理生化指标、心理学指标和 HRV 指标的变化,多维度监测拳击运动员的运动疲劳。方法:本研究以 6 名优秀拳击运动员为对象,分别在 4 周赛前训练阶段开始前和结束后(大赛前 6 周至大赛前 2 周)的调整休息次日晨空腹采肘静脉血,测量白细胞、红细胞、血红蛋白、血清睾酮、皮质醇浓度,并在采血当日测量清晨醒后晨脉和心率变异性,在早饭后填写运动心理疲劳问卷(ABQ)。结果:(1)4 周赛前大负荷训练后血清睾酮、睾酮与皮质醇比值较训练前显著降低(-38%、-52.7%, $P < 0.01$),血清皮质醇和晨脉均显著升高(+32.4%、+20.4%, $P < 0.05$);(2)ABQ 调查显示,4 周赛前大负荷训练后运动员成就感降低、运动的负评价、心理疲劳 Z 加权总分较训练前显著升高($P < 0.05$ 、 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$);(3)心率变异性分析显示,4 周赛前大负荷训练后 lnLF、LF/HF 较训练前显著升高($P < 0.05$)。结论:四周赛前大负荷训练后优秀拳击运动员机体运动疲劳以机体合成代谢小于分解代谢、心脏承受训练负荷能力降低为特点,运动心理疲劳加剧以成就感降低、运动的负评价升高为特征,lnLF、LF/HF 升高提示交感神经和副交感神经失衡倾向于交感神经活动占优势。生理生化、心理指标与 HRV 结合可较全面监测拳击项目运动疲劳。

关键词: 拳击;运动疲劳;心率变异性;心理问卷

中图分类号:G808 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2019)04-0082-06

DOI:10.12064/ssr.20190412

Application Research of Multi-dimensional Monitoring on Sports Fatigue of Elite Boxers

WANG Jinhao¹, QIU Jun^{1*}, CHEN Shuai¹, WANG Lianfang²

(1. Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai Elite Sport Training Administrative Center, Shanghai 202162, China)

Abstract: Objective: To observe the changes in physiological, biochemical, psychological and HRV indexes of boxers before and after the heavy load training, and to carry out a multi-dimensional monitoring on sports fatigue of elite boxers. Method: Six elite boxers were selected as subjects. Elbow venous blood was collected on an empty stomach before the 4-week pre-competition training (from 6 to 2 weeks before the competition) and on the following morning of rest after the training so as to measure white blood cells (WBC), red blood cells (RBC), hemoglobin (Hb), blood testosterone (T), testosterone/cortisol ratio (T/C). On the day of blood collection, the morning pulse and heart rate variability (HRV) were measured after the subjects woke up in the morning, and then the athlete burnout questionnaire (ABQ) was filled out after breakfast. Results: 1) After 4 weeks' heavy load pre-competition training, T and T/C decreased by 38% and 52.7% ($P < 0.01$), C and morning pulse increased by 32.4% and 20.4% respectively ($P < 0.05$). 2) After 4 weeks' heavy load pre-competition training, the ABQ results showed that the sense of achievement decreased, the negative evaluation of sports, and the z-weighted total score of psychological fatigue increased significantly compared with those before the training ($P < 0.05$, $P < 0.05$, $P < 0.01$). 3) The analysis of the heart rate variability (HRV) suggested that lnLF and LF/HF significantly increased after 4 weeks' heavy load pre-competition training ($P < 0.05$). Conclusion: Elite boxers showed a certain degree of fatigue after the four weeks' heavy load pre-competition training, which is characterized by less anabolic than catabolic metabolism and decreased cardiac capacity to bear training load. Psychological fatigue is characterized by lower sense of achievements and higher negative evaluation of sports. The increase of lnLF and LF/HF suggests there is sympathetic and parasympathetic imbalance with Preference for sympathetic activities. Combining physiological, biochemical and psychological indexes with HRV can monitor the sport fatigue of boxers comprehensively.

Key Words: boxing; sports fatigue; HRV; psychological questionnaire

收稿日期:2019-05-29

基金项目:上海市体育局科技攻关项目(14JT026)。

第一作者简介:王金昊,男,硕士,助理研究员。主要研究方向:运动人体科学。E-mail:wangjinhao28@163.com。

* 通讯作者简介:邱俊,女,博士,研究员。主要研究方向:运动员机能监控和营养补充。E-mail:qiujiang@hotmail.com。

作者单位:1. 上海体育科学研究所,上海 200030;2. 上海市竞技体育训练管理中心,上海 202162。



竞技体育的训练负荷接近人体生理极限,必然产生运动疲劳,对疲劳诊断不明确或置之不理任其加剧,会导致过度训练,有碍于运动能力提高。运动疲劳是一个复杂的综合过程,目前还没有任何单一方法和手段可以全面评价运动疲劳,体育科技工作者常采用生理生化指标^[1-5]、心理问卷^[6,7]、心率变异性(Heart Rate Variability, HRV)^[8,9]等方法监测运动疲劳。生理生化指标方法虽精确度高但具有创伤和检测过程复杂等不足。采用心理问卷法测试简单,但以问卷为量具的主观报告法不仅单一,可能存在共同方法偏差现象^[6]。HRV可评估交感和副交感神经系统的状况和相互作用,用于评价自主神经系统功能的变化^[10,11]。HRV可反映运动员对训练的生理适应^[12,13],HRV指数的变化与疲劳和过度训练有关,运动疲劳与自主神经系统功能紊乱和失调关联^[14,15]。由于HRV无创、便捷和易测已成为运动员机能状态、疲劳监控指标体系之一,但单独使用HRV指标监测运动疲劳还有一定的片面性。目前,关于生理生化指标、心理学指标、HRV多维度监测运动疲劳的研究鲜有报道。

赛前训练安排对运动员的竞技状态有决定性影响,通常情况下赛前训练会加大负荷强度、保持或适当减小负荷量。拳击属对抗性项目,具有多次重复用力、强度大、运动时间较长的特点,长时间大负荷训练后较易出现不同类型的疲劳,赛前监测拳击运动员的疲劳状况,有利于更好地调整赛前训练安排。本研究通过观察拳击运动员4周赛前大负荷训练前后生理生化指标、运动心理学指标和HRV指标的变化,多维度探讨这些指标监测运动疲劳的应用。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

优秀拳击运动员6名,均为运动健将级别,健康状况良好,无伤病和疾病。基本信息见表1。

表1 受试者基本信息(N=6)($\bar{X}\pm S$)

Table I The Basic Information of Subjects(N=6)($\bar{X}\pm S$)

年龄/岁	身高/cm	体重/kg	训练年限/年
23.34±3.12	175.03±11.51	68.39±21.43	8.20±2.33

1.2 实验方法

1.2.1 训练安排

教练员在大赛前6周开始至大赛前2周安排了4周大负荷训练,每周10次训练课。3次以大强度实战为主,以比赛的形式进行3组3×3 min实战,之后

12×30 s移动击打沙袋(间歇30 s),实战按比赛强度进行,移动击打沙袋以个人最大力量和最大速度进行,心率控制在95%~100%最大心率;3次专项技术训练,包括专项步伐、行进间对练、二人对抗、个人空击、击打手靶、击打沙袋,训练时间90 min;2次身体素质训练,包括力量、速度、耐力训练,训练时间120 min;2次专项技术和专项身体素质组合训练,训练时间120 min。4周训练共分两个阶段,第一周至第二周为第一阶段,重点强化专项技术和身体素质训练,第三周至第四周为第二阶段,重点加大实战训练强度和难度。第一周至第四周训练量保持不变,训练强度递增。

1.2.2 测试指标与方法

生理指标:4周大负荷阶段训练前、后调整休息后次日晨空腹抽静脉血检测白细胞(White Blood Cells, WBC)、红细胞(Red Blood Cells, RBC)、血红蛋白(Hemoglobin, Hb)、睾酮(Testosterone, T)、皮质醇(Cortisol, C)、睾酮/皮质醇比值(Testosterone/Cortisol, T/C)等。

晨脉:晨醒后仰卧位佩戴SUUNTO T6D心率表采集5 min数据取平均值。

心理学指标:采用运动员心理疲劳问卷(ABQ)^[16]测量运动员心理疲劳,诊断标准参考张连成等^[6]的研究结果。

HRV测试:佩戴SUUNTO T6D心率表,采样频率设置成2 s,仰卧位、安静、呼吸平稳后连续采集10 min,截取5 min平稳数据。通过Kubios HRV相应软件处理分析HRV时域和频域各项指标,频域指标采用FFT频谱分析方法(窗口宽度:256 s;窗口重叠:50%)。时域分析指标包括连续正常R-R间期的标准差(Standard Deviation of the NN Interval, SDNN)、相邻R-R间期长度差异平方均值的根(Root Mean Square of Sds between Adjacent NN Intervals, RMSSD)、50 ms间隔以上临近周期的比例(Percentage of Successive Interval Differences Larger than 50 ms, PNN50),频域分析指标包括总功率(Total Power, TP)、极低频功率(Very Low Frequency, VLF)、低频功率(Low Frequency, LF)、高频功率(High Frequency, HF)、低频功率与高频功率比值(LF/HF)等。

1.3 实验仪器

WBC、RBC、Hb由Beckman三分类血常规测量,T、C由Beckman ACCESS 2全自动免疫分析仪测量。



1.4 数据统计

实验测试数据采用 SPSS22.0 统计软件,各指标前后比较采用配对样本 T 检验, $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 具有统计学意义。

2 结果

2.1 生理生化指标的检测结果

4 周赛前大负荷训练后运动员 T、T/C 较训练前非常显著性降低 ($P < 0.01$), 分别降低 38%、52.7%, C、晨脉较训练前显著性升高 ($P < 0.05$), 升高幅度达 32.4%、20.4%, WBC、RBC、Hb 变化无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 2。

表 2 拳击运动员生理生化指标变化情况 ($\bar{X} \pm S$)

Table II Changes in Physiological and Biochemical Indexes of Boxers ($\bar{X} \pm S$)

	大负荷训练前	大负荷训练后	下降率(-)/% 升高率(+)%
WBC/($10^9 \cdot L^{-1}$)	5.07±1.23	5.47±1.67	7.89
RBC/($10^{12} \cdot L^{-1}$)	4.91±0.33	4.86±0.28	-1.02
Hb/($g \cdot dL^{-1}$)	15.20±0.58	14.73±0.60	-3.09
T/($ng \cdot dL^{-1}$)	636.92±15.56	394.95±81.46**	-37.99
C/($\mu g \cdot dL^{-1}$)	11.52±1.71	15.26±2.37*	32.47
T/C	56.02±5.92	26.52±7.62**	-52.66
晨脉/($b \cdot min^{-1}$)	47.97±2.91	57.77±7.63*	20.43

注: * 表示与大负荷训练前比较具有统计学意义, $P < 0.05$; ** 表示与大负荷训练前比较具有非常显著统计学意义, $P < 0.01$

2.2 运动心理学指标

4 周赛前大负荷训练后运动员 ABQ 指标成就感降低、运动的负评价、心理疲劳 Z 加权总分较训练前显著升高 ($P < 0.05$, $P < 0.05$, $P < 0.01$), 运动员运动心理疲劳程度加剧明显, 见表 3。

表 3 拳击运动员 ABQ 各指标变化情况 ($\bar{X} \pm S$)

Table III Changes of ABQ Indexes in Boxing Athletes ($\bar{X} \pm S$)

	大负荷训练前	大负荷训练后
成就感降低	12.33±1.37	14.00±1.55*
情绪/体力耗竭	11.50±3.45	13.17±2.40
运动的负评价	8.33±2.34	11.50±1.22*
心理疲劳 Z 加权总分	-0.28±0.41	0.36±0.27**

注: * 表示与大负荷训练前比较具有统计学意义, $P < 0.05$; ** 表示与大负荷训练前比较具有非常显著统计学意义, $P < 0.01$

2.3 HRV 指标的变化结果

4 周赛前大负荷训练后运动员 HRV 指标 lnLF、

lnHF/HF 较训练前显著性升高 ($P < 0.05$), lnTP、lnHF、lnSDNN、lnRMSSD、lnPNN50、lnVLF 与训练前比较无统计学意义 ($P > 0.05$), 见图 1、2。

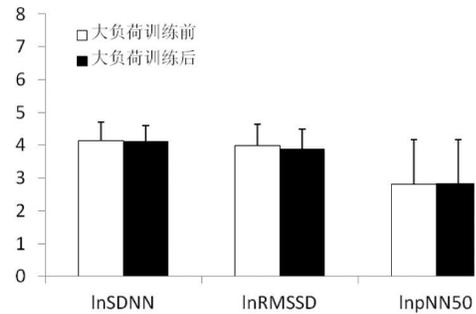
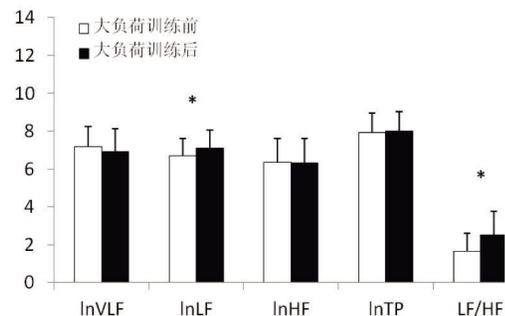


图 1 拳击运动员 HRV 时域指标变化示意图

Figure 1 Changes in HRV Time Domain Index of Boxers



注: * 表示与大负荷训练前比较具有统计学意义, $P < 0.05$

图 2 拳击运动员 HRV 频域指标变化示意图

Figure 2 Changes in HRV Frequency Index of Boxers

3 讨论

3.1 4 周赛前大负荷训练对生理生化指标的影响

生理生化指标监测运动疲劳是体育科技工作者常采用的科研手段^[1], 冯炜权根据运动疲劳的机理, 从血液、内分泌、代谢等方面归纳了运动疲劳的诊断方法, 采用 Hb 下降 10%~15%、T 下降 15%~20%、C 升高 20% 左右、T/C 减少等生化指标变化诊断运动疲劳^[2]。本研究显示, 拳击运动员 4 周赛前大负荷训练后 T、T/C 显著降低, C、晨脉显著性升高。关于运动疲劳状态生理生化指标的变化, 大部分研究认为长时间大负荷训练后引起运动疲劳时 T 下降、C 上升、T/C 比值下降、晨脉升高, 表现为机体合成代谢减弱, 分解代谢增强大于合成代谢, 心脏承受训练负荷能力下降^[1,2,17-19]。本研究与刘艳等^[20]的研究结果一致, 原因可能是长时间大负荷训练刺激引起下丘脑—垂体—性腺轴功能被抑制、下丘脑—垂体—肾上腺皮质轴兴奋所致机体内分泌系统合成代谢小于分解代谢, 交感神经紧张度提高导致晨脉增加, 心脏承受训练负荷的能力降低。



3.2 4周赛前大负荷训练对 ABQ 的影响

运动员长时间处于大负荷、单调重复的训练会引起运动性心理疲劳。运动性心理疲劳的成因主要包括认知、人格、年龄、社会支持、环境、训练比赛和项目特点等因素^[21]。毕晓婷等认为,训练周期的不同阶段运动性心理疲劳的3个成分所占比例有所变化,“情绪和体力耗竭”与“对运动的负评价”均在比赛期增加,而“运动成就感降低”在比赛期降低^[22]。自行车运动员在疲劳期运动性心理疲劳的3个成分均达到最高值^[23]。排球运动员发生心理疲劳时,“成就感降低”“对运动的负评价”得分中等,“情绪/体力耗竭”得分较高^[24]。上述研究中运动性心理疲劳的3个成分呈现不同变化主要与成因、项目特点不同有关。本研究中4周赛前大负荷训练后“成就感降低”“运动的负评价”“心理疲劳Z加权总分”显著升高,运动员心理疲劳程度加剧,原因可能是拳击运动员经过长时间赛前大负荷训练的刺激,教练员加大了运动强度、密度和专项技术动作难度,运动员完成训练任务还要承受来自减控体重产生的压力,使得运动员自我效能感降低,成就感随之降低,引起运动心理疲劳加剧。拳击运动员心理疲劳加剧可能也与心理应激^[25]、年龄和训练年限^[26]有关。

3.3 4周赛前大负荷训练对 HRV 的影响

HRV对自主神经系统功能变化敏感,随训练负荷的增加而改变,运动后恢复期测试分析HRV可反映心脏自主神经系统对运动的适应,常用于诊断运动性疲劳、判断训练效果、防止过度训练^[27-31]。

据报道,一次性力竭运动所致运动疲劳状态下TP、LF、HF和LF/HF显著降低,副交感神经张力变化降低、交感神经张力变化降低,伴随交感神经和迷走神经失衡^[32]。朱坤的研究也证实一次性运动过程中随着运动疲劳程度加深HRV指标RMSSD、LF逐步降低,副交感神经和交感神经活动逐渐受到抑制^[33]。Flatt等表明,女子足球运动员连续进行2周大、小不同负荷训练,大负荷训练期间lnRMSSD降低幅度明显,体能较差或感觉疲劳程度高的运动员在整个训练过程中lnRMSSD下降幅度较大,疲劳情况下副交感神经活动受到抑制^[34]。Uusitalo等表明,6至9周大负荷训练/过度训练后女性运动员R-R间期的低频功率显著增加,交感神经活动增强^[35]。也有研究显示,不同负荷的长周期训练(依次进行2月大强度体能训练、1月超负荷训练和2周恢复性训练)所致自主神经系统变化不同,大强度体能训练期间心率变异性大部分指标(HF、RMSSD、pNN50、SDNNIDX、

SDNN)显著升高,自主神经系统向副交感神经优势转移,但在1个月超负荷训练期间LF/HF显著升高,随着训练负荷的递增交感神经活动逐渐增加,自主神经系统状态与训练负荷增加导致身体疲劳累积^[36]。

本研究中lnLF、LF/HF显著升高,说明拳击运动员大负荷训练后交感神经系统活动加强、张力增强,交感神经和副交感神经失衡倾向于交感神经活动占优势。其中LF/HF变化与以上研究结果基本相同。lnHF无变化和lnLF升高与以上部分研究结果不尽一致,分析其原因可能与研究对象、项目特点和训练方案不同有关,也与短期训练刺激和长时间大负荷训练刺激所致运动疲劳程度不同有关,有待更深入的研究加以验证。

上述HRV监测运动疲劳的研究大多以问卷判断为前提,结合生理生化指标将能更好地监测运动疲劳。安楠等认为,HRV是辅助诊断女足运动员高原训练身体状态的有效方法,与生化指标相结合可全面监控身体状态,特别对于提示早期疲劳有一定的应用价值^[37]。另有研究采用训练后CK水平增加约4倍、疼痛感增加显著,提示举重运动员达到疲劳状态,训练后HF降低表明副交感神经活动受到抑制,训练后3hLF显著升高表明交感神经兴奋性增强^[38]。这些研究结果存在HRV指标不够全面或生理生化指标单一的问题,本研究采用较为全面的生理生化指标和HRV指标监测运动疲劳,发现HRV部分指标监测运动疲劳与生理生化指标基本保持一致,提示拳击运动员机体疲劳可能和交感神经兴奋性增强有关。

运动心理疲劳发生时,HRV各指标有不同程度的变化,交感与副交感神经对心脏的协同作用在疲劳后发生变化,HRV可以用作评价脑力劳动负荷或运动性心理疲劳^[39-41]。朱昭红等表明,心理疲劳对HRV的影响表现为LF水平增高、时域增加,心理疲劳后交感神经激活增加而副交感神经激活减弱^[42]。本研究从心率变异性角度分析,与朱昭红的部分研究结果一致,大负荷训练后LF升高,交感神经系统活动加强可能是拳击运动员赛前大负荷训练后运动心理疲劳加剧的原因之一。

4 小结

优秀拳击运动员4周赛前大负荷训练后机体处于运动疲劳状态,以机体合成代谢小于分解代谢、心脏承受训练负荷的能力降低为特点,运动心理疲劳加剧以成就感降低、运动的负评价升高为特征,lnLF、LF/HF升高提示交感神经系统活动加强、张力



增强, 交感神经和副交感神经失衡倾向于交感神经活动占优势。生化指标、运动心理指标与 HRV 结合可较全面监测拳击项目运动疲劳。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 冯炜权.运动疲劳及过度训练的生化诊断——运动生物化学动态之三[J].北京体育大学学报,2000,23(4):498-502.
- [3] Hecksteden A., Skorski S., Schwindling S., et al. Blood-Borne Markers of Fatigue in Competitive Athletes-Results from Simulated Training Camps[J]. PLoS One, 2016,11(2): e0148810.
- [4] Julian R., Meyer T., Fullagar H. H., et al. Individual Patterns in Blood-Borne Indicators of Fatigue-Trait or Chance[J].J Strength Cond Res, 2017, 31(3): 608-619.
- [5] Meeusen R., Duclos M., Foster C., et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine[J]. Med. Sci. Sports Exerc., 2013, 45(1): 186-205.
- [6] 张连成,张力为.技能类项目运动员心理疲劳的评价标准[J].中国体育科技,2010,46(4):105-111.
- [7] Kellmann M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring[J].Scand J. Med. Sci. Sports, 2010, 20(2):95-102.
- [8] Leti T., Bricout V. A. Interest of analysis of heart rate variability in the prevention of fatigue states in senior runners[J].Auton. Neurosci., 2013, 173(1-2):14-21.
- [9] Schmitt L., Regnard J., Desmarests M., et al. Fatigue Shifts and Scatters Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes[J]. PLoS One, 2013, 8(8):1-9.
- [10] Rajendra A. U., Paul J. K., Kannathal N., et al. Heart rate variability: areview[J]. Med. Biol. Eng. Comput., 2006, 44(12):1031-1051.
- [11] Omerbegovic M. Analysis of heart rate variability and clinical implications[J]. Med. Arh., 2009, 63(2):102-105.
- [12] Kiviniemi A. M., Hautala A. J., Kinnunen H., et al. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements[J]. Eur. J. Appl. Physiol., 2007, 101(6): 743-751.
- [13] Plews D. J., Laursen P. B., Stanley J., et al. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring[J]. Sports Med., 2013, 43(9):773-781.
- [14] Plews D. J., Laursen P. B., Kilding A. E., et al. Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison[J]. Eur. J. Appl. Physiol., 2012, 112(11): 3729-3741.
- [15] Tian Y., He Z. H., Zhao J. X., et al. Heart rate variability threshold values for early-warning nonfunctional overreaching in elite female wrestlers[J]. J. Str. Cond. Res., 2013, 27(6): 1511-1519.
- [16] Raedeke T. D., Smith A. L. Development and Preliminary Validation of an Athlete Burnout Measure[J]. J. Sport Exerc. Psychol., 2001, 23(4): 281-306.
- [17] 冯连世.优秀运动员身体机能评定的方法及存在问题[J].体育科研,2003,24(3):49-54.
- [18] 何全玲,焦卫宾.对近5年国内运动疲劳中有关机能监控研究方法的分析[J].首都体育学院学报,2004,16(4):111-113.
- [19] 谢敏豪,冯炜权,杨天乐,等.血睾酮与运动[J].体育科学,1999,19(2):80-83.
- [20] 刘艳,杨小英,蒋筱,等.运动性疲劳对运动员内分泌功能的影响[J].时珍国医国药,2008,19(9):2172-2174.
- [21] 张力为,林岭,赵福兰.运动性心理疲劳:性质、成因、诊断及控制[J].体育科学,2006,26(11):49-56+74.
- [22] 毕晓婷,张力为.运动性心理疲劳成分的动态变化及其归因[J].天津体育学院学报,2013,28(5):408-413.
- [23] 张严.节奏用于评定自行车运动员心理疲劳和恢复的可行性研究[D].苏州:苏州大学,2014.
- [24] 赵睿婷.全国男子排球联赛运动员心理疲劳问题的研究[D].沈阳:沈阳体育学院,2013.
- [25] 郭玉江.优秀运动员应激源与运动心理疲劳关系研究[J].天津体育学院学报,2009,24(5):449-452.
- [26] 庄雯雯,郑洁皎.优秀运动员运动性心理疲劳与心境状态的相关分析[J].浙江体育科学,2016,38(4):120-123.
- [27] 崔小珠,王人卫.应用心率变异性指标评价优秀耐力运动员机能状态研究进展[J].体育科学,2015,35(12):75-79.
- [28] 宋涛,袁春平,沈友青,等.心率变异性应用于运动训练监控研究进展[J].中国运动医学杂志,2016,35(4):400-404.
- [29] Kajaia T., Maskhulia L., Chelidze K., et al. The Effects of Non-Functional Overreaching and Overtraining on Autonomic Nervous System Function in Highly Trained Athletes[J]. Georgian Med. News, 2017, 264: 97-103.
- [30] Bellenger C. R., Fuller J. T., Thomson R. L., et al. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Sports Med., 2016, 46(10):1461-1486.
- [31] Wallace L. K., Slattery K. M., Coutts A. J. A compari-



- son of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses[J]. Eur. J. Appl. Physiol., 2014,114(1):11-20.
- [32] 钟运健,刘冬梅,郑松波.力竭运动后的心率变异性RR1间期频谱密度分析[J].南京医科大学学报(自然科学版),2006,26(6):447-449.
- [33] 朱坤.基于心率变异性运动疲劳程度判别技术的研究[D].东北大学,2015.
- [34] Flatt A. A., Esco M. R., Nakamura F. Y., et al. Interpreting daily heart rate variability changes in collegiate female soccer players[J].J. Sports Med. Phys. Fitness, 2017,57(6): 907-915.
- [35] Uusitalo A. L., Uusitalo A. J., Rusko H. K. Endurance training, overtraining and baroreflex sensitivity in female athletes[J]. Clin. Physiol., 1998, 18(6):510-520.
- [36] Pichot V., Busso T., Roche F., et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study[J]. Med. Sci. Sports Exerc., 2002,34(10): 1660-1666.
- [37] 安楠,于允,冯连世,等.心率变异性检测在女足高原训练监控中的应用[J].山东体育科技,2012,34(5): 64-67.
- [38] Chen J. L., Yeh D. P., Lee J. P., et al. Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training[J]. J. Strength Cond. Res., 2011, 25(6): 1546-1552.
- [39] 孙锦绣.运动性心理疲劳的ERP和HRV特征[D].北京:北京体育大学,2009.
- [40] 王正伦,杨磊,丁嘉顺.心率变异性在脑力负荷评价中的应用[J].中华劳动卫生职业病杂志,2005,23(3):182-184.
- [41] 马群.不同程度运动性心理疲劳心率变异性与脑电图特征[D].北京体育大学,2009.
- [42] 朱昭红,马骁,张俊峰.心理疲劳对认知控制和动机影响的外周生理机制[J].心理与行为研究,2013,11(6): 752-758.

(责任编辑:刘畅)

(上接第41页)

- 顾与展望[J].体育科研,2000,21(1):9-12.
- [2] 陈莹利,邓杨名.我国学校体育法律制度构建研究[J].体育科研,2015,36(5):93-99.
- [3] 郝俊,刘亚萍.与时俱进:学校体育卫生工作条例即将进行修订——关于《学校体育工作条例》修订调研专访宋尽贤[J].中国学校体育,2010,(11):25-27.
- [4] 张中秋,杨春福,陈金钊.法理学:法的历史、理论与运行[M].南京:南京大学出版社,2001:63.
- [5] 亚里士多德.政治学[M].吴寿彭,译.北京:商务印书馆,1965:199.
- [6] 吴键.问责:学校体育改革发展的关键机制——写在《学校体育工作条例》、《学校卫生工作条例》修订启动之际[J].体育教学,2010,(3):11-13.
- [7] [英]边沁:《道德与立法原理导论》[M].时殷弘,译.北京:商务印书馆,2000:225.
- [8] 周登嵩.论学校体育与全民健身活动[J].中国学校体育,2012,(12):2-3.
- [9] 刘建业,付宏山.学校体育法治建设探析[J].人大建设,2013,(8):44-45.
- [10] 汤卫东.体育法学[M].南京:南京师范大学出版社,2000:122.
- [11] 马红娟,陆永娟.论我国体育法律体系的建构原则[J].科技风,2008,(19):151.
- [12] [德]黑格尔:《法哲学原理》[M].范扬,张企泰,译.北京:商务印书馆,1961:7.
- [13] 朱健.学校现行体育法律法规的体系构建探究[J].西安体育学院学报,2016,33(2):159-163.
- [14] 刘乃宝,严峰,杨铭.学校体育伤害事故的责任归属与保障机制研究[J].体育与科学,2015,36(1):91-95,101.

(责任编辑:杨圣韬)