



大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习的次序对恢复期心脏自主神经功能的影响

胡斐^{1,2}, 徐盛嘉², 沈铭彬^{1,2}, 向奎金^{1,2}, 黄强年², 田东², 马继政^{2*}

摘要:目的:评估大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习的次序对恢复期心脏自主神经功能的影响。方法:采用随机交互设计,15名健康男性受试者分别完成4次运动:600 m 间歇跑练习、30 min 大强度持续跑练习、600 m 间歇跑加30 min 大强度持续跑练习,30 min 大强度持续跑加600 m 间歇跑练习,分别在运动前(0~10 min)、整个运动期间和运动后恢复期(0~20 min)记录RR间期,并进行相应HRV分析以及在运动前和运动后即刻进行血乳酸测试。结果:与安静状态相比,运动中HR、EPOC和TRIMP均显著增加,但组合练习次序间不存在显著差异;恢复期20 min内,HR随恢复时间增加逐渐降低,但同一恢复阶段不同运动方案之间无显著差异;RMSSD、SDNN、SDNN/HR、HF和LF变化相似,在整个恢复阶段均显著低于安静值,但HF和LF在恢复期(15~20 min)显著增加;而LF/HF随着恢复时间延长显著增加。结论:大强度的无氧间歇练习、持续有氧练习及其组合练习,在运动后早期恢复阶段(0~20 min)HRV变化趋于一致,提示耐力运动后心脏自主神经功能的调整可能不具有运动形式依赖性。此外,大强度无氧间歇和有氧耐力练习的组合练习次序不影响运动后恢复期心脏自主功能的调节,恢复期20 min内,交感活性仍处于较高水平。

关键词: 无氧间歇练习;有氧耐力练习;组合练习次序;心率变异;恢复期

中图分类号:G804.5 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2017)06-0087-06

DOI: 10.12064/ssr.20170613

Effects of High Intensity Anaerobic Interval Exercise, Aerobic Endurance Exercise and Combined Exercise Order On the Cardiac Autonomic Function in Recovery Period

HU Fei^{1,2}, XU Shengjia¹, SHEN Mingbin^{1,2}, XIANG Kuijin^{1,2}, HUANG Qiangnian², Tian Dong², MA Jizheng²

(1. Department of Exercise and Health, Nanjing Sport Institute, Nanjing, Jiangsu 210014, China; 2. The Research Center of exercise science, the PLA Engineering University, Nanjing 211101, China)

Abstract: Objective: This test is to evaluate the effects of high intensity anaerobic interval exercise, aerobic endurance Exercise and combined exercise order on the cardiac autonomic function in recovery period. Method: In a random cross-over design, 15 healthy young males performed four exercises: 600m anaerobic interval exercise, 30min high intensity continuous exercise, 600m anaerobic interval exercise plus 30min high intensity continuous exercise, 30min high intensity continuous exercise plus 600m anaerobic interval exercise. The R-R intervals was recorded, including pre-exercise (0-10min), the whole exercise period and recovery stage (0-20min). HRV analysis was made and lactic acid tests were arranged before and immediately after the exercises. Result: HR, EPOC and TRIMP for all the exercises significantly increased compared to rest, and there was no significant difference between the combined exercises. During the 20min recovery, as the recovery time increased, HR tended to decrease, but there was no significant difference between the different exercises at the same recovery stage. The changes were similar for RMSSD, SDNN, SDNN/HR, HF and

收稿日期: 2017-09-09

基金项目: 江苏省普通高校学术学位研究生科技创新计划项目(KYLX16_1344);解放军理工大学预先研究基金(KYJYZLXY1602-35)。

第一作者简介: 胡斐,男,在读硕士研究生。主要研究方向:运动代谢与适应。E-mail: hf1031883667@sina.com。

* 通讯作者: 马继政,男,博士,副教授。主要研究方向:运动与生物适应。E-mail: mjz_mjj@sina.com。

作者单位: 1.南京体育学院运动健康科学系,南京 210014;2.中国人民解放军陆军工程大学 运动科学研究中心,南京 211011。



LF, which were lower than those at rest. However, HF and LF significantly increased during 15-20min of the recovery time, and as the recovery time increased, LF/HF tended to increase significantly. Conclusion: The changes of HRV are nearly the same at the early recovery stage (0-20min) after high intensity anaerobic interval exercise, aerobic endurance exercise and combined exercise. This suggests that the regulation of cardiac autonomic function does not depend on exercise types after endurance exercise. Besides, the combined exercise order of high intensity anaerobic interval exercise and aerobic endurance exercise does not affect the regulation of cardiac autonomic function at the recovery stage. Within 20min in the recovery period, sympathetic activities remain higher.

Key Words: anaerobic interval exercise; aerobic endurance exercise; combined exercise order; heart rate variability; recovery period

大强度间歇练习、持续性有氧耐力练习以及力量练习,均可诱导机体产生积极适应,促进大众健康和体适能水平。不同运动方式的大强度间歇练习对身体成分变化产生积极影响^[1],相比于传统持续性低强度有氧耐力练习,大强度间歇练习更有利于促进心肺适能^[2];规律的有氧耐力练习同样可以增加体适能水平,以及提高安静状态和运动后的心脏自主神经功能,降低心血管疾病的风险^[3,4]。前期研究已表明,不同力量练习方案均可诱导产生精确的心脏自主神经系统应答^[5]。

当前,评估不同运动形式对心脏自主神经功能的影响,通常采用基于RR间期的心率变异(Heart rate Variability, HRV)和心率恢复(Heart Rate Recovery, HRR)进行间接定量和精确评定^[5-7]。此外,在日常训练、大众健身中普遍采用多种组合练习^[8],而在前期研究中发现,组合练习次序(力量和耐力练习)可能影响力量收益^[9]。研究显示,大强度($\geq 85\% HR_{max}$)的持续有氧耐力练习和间歇练习均可提高最大摄氧量和改善心肺耐力,广泛用于高水平运动员和临床实践^[8,10,11],但大强度的无氧间歇和有氧耐力组合练习顺序对恢复期心脏自主神经功能的影响以及与单一的耐力练习(大强度的无氧间歇练习和持续性有氧练习)对恢复期心脏自主神经功能的影响是否存在差异,目前尚不明确。因此,本研究评定大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习的次序对恢复期心脏自主神经功能的影响,为全民健身训练处方的制定和日常训练监控提供一定依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

研究对象为15名健康男性学员,年龄:(21.23±2.09)岁;身高:(176.18±3.53)cm;体重:(69.91±

5.21)kg;体指数:(22.51±1.26)kg/m²,平均训练年限1年。受试者经询问病史、查体、心电图及超声心动图等检查均未发现有器质性心脏病者,无吸烟史和酗酒史,有规律参加锻炼(每周锻炼不少于4次),排除超重或偏瘦的学员,排除标准为体指数(BMI, 体重/身高²):BMI<18.5或BMI>24.0。

1.2 研究方法

1.2.1 测试方案

研究采用随机交互的设计,受试人员需完成4个不同的运动测试。无氧间歇练习(Snaerobic Exercise, ANA)、有氧耐力练习(Aerobic Exercise, AER)和无氧间歇与有氧耐力组合练习(Concurrent Anaerobic and Aerobic Exercise)。每次测试时间间隔不少于3d,确保受试人员充分恢复,期间禁止剧烈运动。

利用Polar team2团队心率仪(博能公司,Finland)记录RR间期,包括10min安静状态,整个运动期间,运动后恢复期20min安静状态。通过Polar team软件导出数据,并利用Firstbeat SPORTS系统(version 4.4.0.2, Firstbeat Technologies Ltd., Jyväskylä, Finland)进行分析,数据采集的时间为安静状态后5min(5~10min),恢复期20min。室外温度为36~38℃,湿度为22%~39%。

1.2.2 运动方案

1.2.2.1 无氧间歇练习(ANA)

受试者完成一般准备活动后,进行3组600m全速跑练习(主要以无氧代谢为主),组间休息5min,600m运动时间平均为(111.32±2.37)s。

1.2.2.2 有氧耐力练习(AER)

受试者完成一般准备活动后,进行30min持续有氧耐力练习,总持续运动距离平均为(6.92±1.58)km。

1.2.2.3 无氧间歇和有氧耐力组合练习

受试者完成一般准备活动后,分别进行两次组



合训练练习方案, 无氧间歇练习 + 有氧耐力练习 (ANA+AER) 和有氧耐力练习 + 无氧间歇练习 (AER+ANA), 有氧耐力和无氧间歇组合练习组间休息 15 min, 无氧间歇和有氧耐力练习同上。两次组合练习总持续时间平均分别为 (60.49±4.07) min 和 (60.23±3.88) min。

1.2.3 研究指标

研究指标为心率 (Heart Rate, HR) 和心率变异 (Heart Rate Variability, HRV) 的时域指标和频域指标。时域指标包括全程相邻 NN 间期之差的均方根值 (Root of the Mean Squared Successive Differences of in RR Intervals, RMSSD), 单位为 ms; 全部 NN 间期的标准差 (the Mean Standard Eeviation of RR Intervals, SDNN)。频域指标包括低频 (Low Frequency, LF), 单位为 ms², 频谱范围: 0.04~0.15 Hz; 高频 (High Frequency, HF), 单位为 ms², 频谱范围: 0.15~0.40 Hz 以及 LF/HF 比率。以及其他的定量参数包括: 运动后的过氧消耗值 (Excess Post-Exercise Oxygen Consumption, EPOC) 和运动冲量 (Training Impulse, TRIMP), 可定量反映运动强度和运动总量。

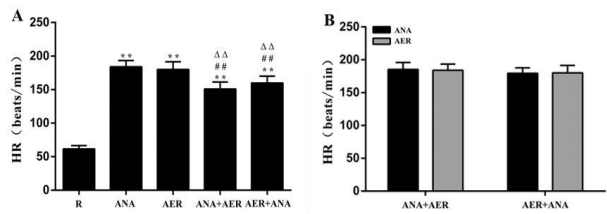
1.3 统计学方法

绘图采用 GraphPad Prism5。数据以均数±标准差表示。数据采用 SPSS17.0 统计软件处理, 进行方差齐性检验, 并采用单因素方差 (One-Way ANOVA) 进行多组分析, 组间差异采用 Post-hoc 检验, 数据前后比较采用配对 T 检验, 显著水平定为 P<0.05。

2 结果

2.1 大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习运动中 HR 的变化

与安静状态相比, 4 个运动整体上 HR 均值均显著增加 (P<0.05)。整体上无氧间歇和有氧组合练习 HR 均显著低于单一的无氧间歇练习和有氧练习 (P<0.05), 但组合练习的次序间不存在差异 (P>0.05) (图 1A), 表明组合练习运动负荷相同。此外, 运动中组合练习的次序间 HR 不存在差异 (图 1B), 且与单一的无氧间歇练习和有氧耐力练习无显著差异 (P>0.05) (图 1), 表明 4 个练习运动强度相同, ANA+AER 中无氧练习和有氧耐力练习 HR 分别为 (185.29±10.59) 次/分和 (179.40±8.40) 次/分, AER+ANA 中无氧练习和有氧耐力练习 HR 分别为 (184.15±9.20) 次/分和 (180.17±11.39) 次/分, 均为大强度运动^[10,11]。



注: A: 整个运动过程中; B: 组合练习单一运动中; R: 安静状态; ANA: 无氧间歇练习; AER: 有氧耐力练习; ANA+AER: 无氧间歇练习 + 有氧耐力组合练习; AER+ANA: 有氧耐力练习 + 无氧间歇组合练习

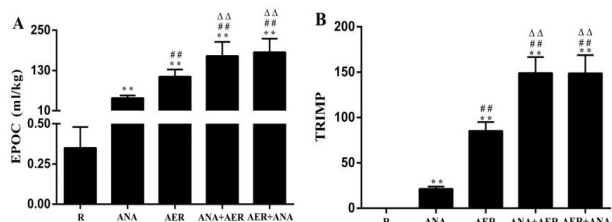
** P<0.01 vs R; ## P<0.01 vs ANA; Δ Δ P<0.01 vs AER

图 1 不同运动方案运动中 HR 的变化

Figure 1 Changes of HR during the Various Exercises

2.2 大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习 EPOC 和 TRIMP 指标的变化

与安静状态相比, 4 个运动整体上 EPOC 和 TRIMP 均值均显著增加 (P<0.05) (图 2); 与单一的无氧间歇练习和有氧耐力练习相比, 组合练习 EPOC 和 TRIMP 均值均显著增加 (P<0.05) (图 2); 单一的有氧耐力练习 EPOC 和 TRIMP 均值显著高于单一的无氧间歇练习 (P<0.05) (图 2); 但组合练习次序间无显著差异 (P>0.05), 表明内部负荷和运动强度相同。



注: R: 安静状态; ANA: 无氧间歇练习; AER: 有氧耐力练习; ANA+AER: 无氧间歇练习 + 有氧耐力组合练习; AER+ANA: 有氧耐力练习 + 无氧间歇组合练习

** P<0.01 vs R; ## P<0.01 vs ANA; Δ Δ P<0.01 vs AER

图 2 不同运动方案 EPOC (A) 和 TRIMP (B) 值变化
Figure 2 Changes of EPOC (A) and TRIMP (B) during the Different Exercises

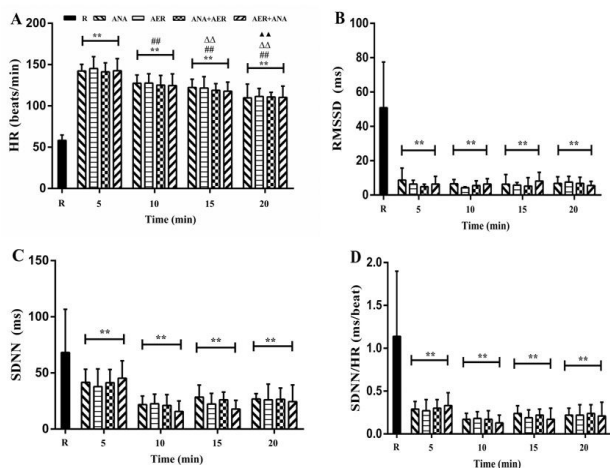
2.3 大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习恢复期 HR 和 HRV 的变化

2.3.1 大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习恢复期 HR 和 HRV 时域指标的变化

不同运动方案练习后, 早期恢复阶段 (0~5 min) HR 均值均迅速回落, 并且随着恢复时间增加 (0~20 min), HR 均值有显著降低的趋势 (P<0.05), 但仍显著高于静息 HR 均值 (P<0.05) (图 3A), 提示恢复期 20 min



内 HR 仍未完全恢复。此外,在同一恢复期阶段,不同运动方案之间 HR 均值不存在组间差异 ($P > 0.05$); 不同运动方案练习后, RMSSD、SDNN 和 SDNN/HR 均值均显著低于安静水平 ($P < 0.05$) (图 3B、C、D), 随着恢复时间延长 (0~20 min), RMSSD、SDNN 和 SDNN/HR 均值在恢复期阶段均无显著差异 ($P > 0.05$), 同样的, 在同一恢复期阶段内, 不同运动方案之间 RMSSD、SDNN 和 SDNN/HR 均值不存在组间差异 ($P > 0.05$) (图 3), 表明大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习的次序不影响运动后恢复期心脏自主神经功能的应答。



注: R: 安静状态; ANA: 无氧间歇练习; AER: 有氧耐力练习; ANA+AER: 无氧间歇练习 + 有氧耐力组合练习; AER+ANA: 有氧耐力练习 + 无氧间歇组合练习

** $P < 0.01$ vs R, ## $P < 0.01$ vs 5 min 恢复期; $\Delta P < 0.01$ vs 10 min 恢复期; $\blacktriangle P < 0.01$ vs 15 min 恢复期

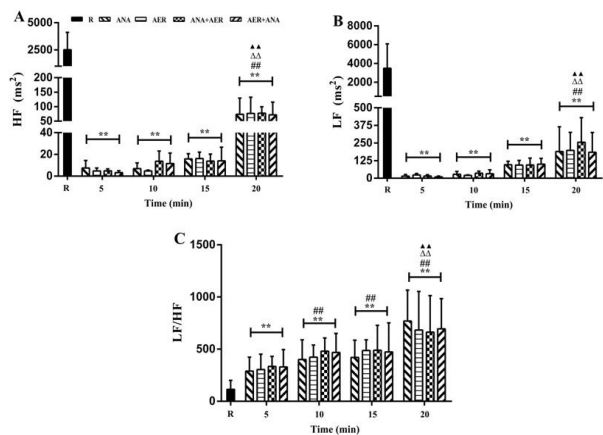
图 3 不同运动方案练习后恢复期 HR 和 HRV 时域指标的变化 (A, HR; B, RMSSD; C, SDNN; D, SDNN/HR)
Figure 3 Changes of HR and HRV Time Domain Indices during the Recovery Time (A. HR; B. RMSSD; C. SDNN; D. SDNN/HR)

2.3.2 大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习恢复期 HRV 频域指标的变化

与安静状态相比, 不同运动方案练习后, 恢复期阶段 (0~20 min) HF 和 LF 均值均显著降低 ($P < 0.05$), 但随着恢复时间的增加, HF 和 LF 均值均有增加趋势, 但无显著差异 ($P > 0.05$); 在 15~20 min 恢复期阶段, HF 和 LF 均值均显著高于 0~5 min、5~10 min 和 10~15 min 恢复期均值; 在同一恢复期阶段内, 不同运动方案之间 HF 和 LF 均值不存在组间差异 ($P > 0.05$) (图 4A、B)。

不同运动方案练习后, 在恢复期阶段 (0~20 min) LF/HF 均值均显著高于安静状态 ($P < 0.05$) (图 4C);

与 0~5 min 恢复期相比, 10~15 min 和 15~20 min 恢复期 LF/HF 均值均显著增加 ($P < 0.05$); 15~20 min 恢复期 LF/HF 均值均显著高于 5~10 min 和 5~10 min 恢复期均值 ($P < 0.05$)。此外, 在同一恢复期阶段内, 不同运动方案之间 LF/HF 均值不存在组间差异 ($P > 0.05$)。同样表明大强度的无氧间歇练习、有氧耐力练习及其组合练习的次序不影响运动后恢复期心脏自主神经的调节。



注: R: 安静状态; ANA: 无氧间歇练习; AER: 有氧耐力练习; ANA+AER: 无氧间歇练习 + 有氧耐力组合练习; AER+ANA: 有氧耐力练习 + 无氧间歇组合练习

** $P < 0.01$ vs R; ## $P < 0.01$ vs 5 min 恢复期; $\Delta P < 0.01$ vs 10 min 恢复期; $\blacktriangle P < 0.01$ vs 15 min 恢复期。

图 4 不同运动方案练习后恢复期心率变异性频域指标的变化 (A, HF; B, LF; C, LF/HF)

Figure 4 Changes of HRV Frequency Domain Indices during the Recovery Period after the Different Exercises (A. HF; B. LF; C. LF/HF)

3 分析讨论

本研究通过 HRV 以及 HRR 评定单一的大强度无氧间歇练习和有氧耐力练习以及大强度的无氧间歇和有氧耐力练习的组合练习次序对恢复期心脏自主神经功能的影响。本研究结果显示, 单一的大强度无氧间歇练习和持续性有氧耐力练习后, HR 和 HRV 指标在同一恢复期阶段 (0~20 min) 的变化与组合练习相似, 并且在既定的运动强度和负荷情况下, 不同组合练习次序的运动方案在整个恢复期阶段, 分别代表交感神经活性 (SDNN 和 LF)、副交感神经活性 (RMSSD、SDNN/HR 和 HF) 以及代表交感神经和副交感神经系统平衡能力 (LF/HF) 的 HRV 指标变化基本一致。因此, 大强度无氧间歇练习、有氧练习及其组合练习的次序, 并不影响 20 min 恢复期心脏自主神经功能的调节。结果提示, 耐力运动后恢复



期心脏自主神经功能的调整可能不具有运动形式依赖性。

运动诱导机体在恢复期产生应答,通过无创技术监控 HRV 和 HRR 的变化,间接评定心脏自主神经功能^[6]。运动诱导自主神经张力产生动态变化,并且交感神经保持激活状态以及较低且稳定的副交感神经调节,维持机体运动中及运动后的恢复^[6]。研究认为,不同运动方案的差异(如力量练习和耐力练习),同样影响运动中及运动后心脏自主神经功能的调节。前期研究发现,3种不同力量练习方案,均可诱导心自主神经功能在运动中和运动后产生特异性调整,而即使在进行高强度练习期间,副交感神经并没有完全撤离^[12]。在早期恢复阶段,运动后即刻副交感神经再激活,并且在恢复期 4~10 min 内保持相对恒定。

一般认为,运动后 HR 下降的主要原因与副交感神经活性的重新激活、交感活性恢复有关^[6]。停止运动后,中枢指令、运动性压力反射传入(机械敏感性)的中断,HR 迅速恢复^[5-7]。本研究结果显示,大强度的无氧间歇练习和有氧耐力练习的组合练习次序,并不影响运动后恢复期心自主神经功能的调节,其 HRV 变化与相同强度的无氧间歇练习和持续有氧耐力练习变化相似。而 Mourot 等认为,间歇运动的心自主神经功能在运动后即刻恢复期更为缓慢,即使间歇练习和持续练习的运动总量相同,但持续有氧耐力练习运动强度(通气阈强度运动)高于间歇练习运动强度^[13]。此外,Gladwell 等研究结果显示,进行 20 min 大强度恒定负荷的有氧耐力运动(血乳酸浓度为 4 mmol/L),副交感神经再激活并恢复至基础水平至少需要 30 min^[14]。

另外,本研究显示,在恢复阶段的早期(0~20 min),LF/HF 持续增加,表明恢复期仍是交感神经调节占主导,研究推测可能与运动诱导机体代谢应激增加有关,需要更长的恢复时间。Pober 等进行一次性运动实验,结果发现运动后 24 h,迷走神经调节逐渐占主导,交感神经活性被抑制^[15]。Mourot 等发现,大强度持续练习和间歇练习均在恢复期 60 min,LF/HF 和 LFnu 显著降低,PT、PHF 和 RMSSD 略有增加,提示副交感神经调节逐渐占优^[15]。但也有研究认为,进行大强度无氧间歇练习(Wingate 测试)和持续性有氧耐力练习,心自主神经功能在运动后 2 h 已完全恢复。这可能与运动方式、运动强度、持续时间以及个体差异等有关。本研究结果中,早期恢复阶段,单一的大强度无氧间歇练习、有氧耐力练习以及其组合练习次序均不影响心脏自主神经功能恢复,而不

同的练习强度或更长的恢复时间(≥ 20 min)以及机体代谢变化等对恢复期心自主神经功能的影响并不清楚,有待进一步研究。

4 结论

在早期恢复阶段(0~20 min),大强度无氧间歇练习、有氧练习及其组合练习,运动后 HRV 变化趋于一致,提示耐力运动后心自主神经功能的调整可能不具有运动形式依赖性。此外,大强度无氧间歇和有氧耐力的组合练习次序不影响运动后恢复期心脏自主功能的调节;恢复期 20 min,交感活性仍处于较高水平。

参考文献:

- [1] Nybo L., Sundstrup E., Jakobsen M. D., et al. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2010, 42(10):1951-1958.
- [2] Cipryan L., Vala R. Cardiac autonomic regulation after continuous and intermittent maximal exercise interventions [J]. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 2015, 55(5):495-505.
- [3] Gibala M. J., Little J. P., van Essen M., et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance[J]. *J Physiol*, 2006, 575:901.
- [4] Buchheit M., Millet G. P., Parisy A., et al. Supramaximal Training and Postexercise Parasympathetic Reactivation in Adolescents[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2008, 40(2):362-371.
- [5] 于文兵,高丽丽,李天义,等.三种力量训练方案对健康青年心脏自主神经功能的影响[J].*中国康复医学杂志*, 2017, 32(5):548-553.
- [6] Fisher J. P., Young C. N., Fadel P. J. Autonomic adjustments to exercise in humans[J]. *Compr. Physiol.*, 2015, 5(2):475-512.
- [7] 胡斐,王金之,黄佩玲,等.不同负重量站立 30min 对健康青年心脏自主神经功能的影响[J].*中国应用生理学杂志*,2017,33(2):193-196.
- [8] 马继政,张仁祥,谷波,等.大强度间歇训练研究与进展[J].*南京体育学院学报(自然科学版)*,2013,12(4):8-14.
- [9] 马继政,牛洁,田东,等.力量和耐力组合训练生物分子适应机制及现实应用[J].*河北体育学院学报*,2015,29(2):61-66.
- [10] Kemi O. J., Wisloff U. High-intensity aerobic exercise training improves the heart in health and disease[J]. *J. Cardiopulm Rehabil. Prev.*, 2010, 30(1):2-11.



- [11] Moholdt T., Madssen E., Rognmo ., et al. The higher the better? Interval training intensity in coronary heart disease[J]. *J. Sci. Med. Sport*, 2014, 17(5):506-510.
- [12] Kannankeril P. J., Le F. K., Kadish A. H., et al. Parasympathetic effects on heart rate recovery after exercise[J]. *J. Invest Med.*, 2004, 52(6):394-401.
- [13] Mourot L., Bouhaddi M., Tordi N., et al. Short-and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises[J]. *Eur. J. Appl. Physiol*, 2004, 92(4-5):508-17.
- [14] Gladwell V. F., Sandercock G. R., Birch S. L. Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humans[J]. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 2010, 30(1): 17-22.
- [15] Pober D. M., Braun B., Freedson P. S. Effects of a single bout of exercise on resting heart rate variability[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2004, 36(7):1140-1148.

(责任编辑:何聪)