

## 8 周力量和耐力组合训练对健康青年 心脏自主神经功能产生的影响

姚增强<sup>1</sup>, 胡 斐<sup>2</sup>, 赵 彦<sup>2</sup>, 叶 强<sup>2</sup>, 郑益丽<sup>2</sup>, 张海鹏<sup>2</sup>, 马继政<sup>3</sup>

(1.南京医科大学体育部,江苏 南京 210029)

(2.南京体育学院运动健康科学系,江苏 南京 210014)

(3.中国人民解放军陆军工程大学,军人体能训练与机能评定实验室,江苏 南京 211101)

[摘要] 本研究评估 8 周力量和耐力组合训练对心脏自主神经功能产生的影响. 14 名健康男性受试者分别在训练前和 8 周力量和耐力组合训练后进行静息心率测试,并对相应心率变异(HRV)分析. 与训练前相比,训练后安静状态下 HR 显著降低( $P<0.05$ ),RMSSD 指标显著增加( $P<0.05$ ),SDNN、SDNN/HR、HF 以及 LF 指标增加但无显著差异( $P>0.05$ ),LF/HF 指标降低( $P>0.05$ ). 因此 8 周的力量和耐力组合训练有效改善心脏自主神经功能,整体上 HRV 指数增加,表明安静状态下迷走神经活性增加.

[关键词] 力量和耐力组合训练,心脏自主神经功能,心率变异

[中图分类号] G804.2 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2017)04-0116-04

## The Effects of Cardiac Autonomic Responses Following 8-week Combined Strength and Endurance Training Programmes in Healthy Young Men

Yao Zengqiang<sup>1</sup>, Hu Fei<sup>2</sup>, Zhao Yan<sup>2</sup>, Ye Qiang<sup>2</sup>, Zheng Yili<sup>2</sup>, Zhang Haipeng<sup>2</sup>, Ma Jizheng<sup>3</sup>

(1.Department of Sports, Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China)

(2.Department of Exercise and Health, Nanjing Sports Institute, Nanjing 210014, China)

(3.The Lab of Military Physical Conditioning and Motor Function Assessment, The PLA Engineering University, Nanjing 211101, China)

**Abstract:** This test was to evaluate the effects of cardiac autonomic responses following 8-week combined strength and endurance training programmes in healthy young men. Collecting the resting HR and HRV before and after 8-week combined strength and endurance training programmes of 14 healthy young males, and their HR and HRV were analyzed. There was significantly effect of the HR and RMSSD ( $P<0.05$ ), the HR for after training significantly decreased compared to before ( $P<0.05$ ), and the RMSSD significantly increased compared to before ( $P<0.05$ ). Whereas the SDNN, SDNN/HR, HF, LF and LF/HF had no significantly effect ( $P>0.05$ ). Taken together, 8-week combined strength and endurance training programmes promoted cardiac autonomic nervous system adaptations, and the HRV indexes increased, suggesting that the predominance of parasympathetic activity on sympathetic activity during rest.

**Key words:** combined strength and endurance training, cardiac autonomic function, heart rate variability

长期坚持运动锻炼是大众提高或维持良好身体机能状态和身体健康的重要途径. 研究证实,规律的身体运动可以有效降低心血管疾病风险、改善身体成分以及血脂状态<sup>[1-2]</sup>. 基于生理指标上的改变是推广运动的一个策略<sup>[3]</sup>. 就运动形式而言,耐力训练和力量训练均可使机体产生特异性适应,长期耐力训练可以增加肌细胞内线粒体密度和肌纤维的携氧能力,同时促进底物氧化的转变,增强机体的有氧能力( $VO_{2max}$ ),而长期的力量训练(最大力量训练和肌肉肥大训练)可以诱导肌肉及肌肉激活以及肌纤维肥大,增加肌肉最大收缩力<sup>[4-5]</sup>.

当前,单一的耐力训练和力量训练被证实均可促进身体适能,而在训练期间同时进行两种方式的训练

收稿日期:2016-12-03.

基金项目:解放军理工大学预先研究基金重点课题(KYJZLXY1603-9)、江苏省普通高校学术学位研究生科技创新计划项目(KYLX16\_1344)、全军军事类研究生资助课题(2016JY374).

通讯联系人:马继政,博士,副教授,研究方向:军事运动与生物适应. E-mail:mjz\_mjj@sina.com

(力量和耐力训练的组合训练)<sup>[6]</sup>,其训练效果可能远大于任何单一的力量或耐力训练<sup>[5-7]</sup>. 现有文献显示,与单一的力量或耐力训练相比,组合训练产生的良性效益更大,如促进心血管健康,降低全身和腹部脂肪,提高身体适能,尤其表现在肥胖和老年人群中<sup>[8]</sup>. 此外,ACSM 推荐成年人每周至少进行3次及以上力量和耐力的组合训练可以维持或改善体适能<sup>[9]</sup>.

规律的运动可以有效地改善心血管系统的中枢和外周机制,诱导其产生功能和结构上的适应变化<sup>[8]</sup>. 如运动训练诱导运动员在安静状态下出现心动过缓,表现为副交感神经活性占优,这与心脏自主和非自主神经功能适应有关. 心脏自主神经功能通常应用无创心率变异(Heart rate variability, HRV)进行间接地定量和评定:检测连续 RR 间期即时变量. HRV 指标表示心脏自主神经调节能力,应答多种生理和环境刺激,如呼吸、身体运动、精神压力、血流动力学和代谢上的变化,睡眠以及疾病引起的补偿性的失调<sup>[10]</sup>. 前期研究已证明,心脏自主神经系统可精确应答内部和外部负荷的变化<sup>[2,11]</sup>. 当前,HRV 指标的应用较为广泛,如调整训练量,诊断和预防运动疲劳及过度训练,评估有氧能力和精神状态等方面. 然而因测量工具和使用方法的差异,大量实验研究并未得出一致的结论. 但 HRV 指标仍可作为潜在评估/监控运动员/健身人群机能状态的有效工具<sup>[1,2,10,11]</sup>. 因此,本研究评估 8 周力量和耐力组合训练方案对心脏自主神经功能产生的影响,为指导大众健身和设计最佳化组合训练方案以及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 14 名健康男性学员:年龄平均为  $(20.39 \pm 0.61)$  岁;身高为  $(174.11 \pm 5.42)$  cm;体重为  $(66.33 \pm 6.22)$  kg;体脂指数(BMI)为  $(21.40 \pm 1.46)$   $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ,平均常规训练 2 年. 经询问受试者病史、查体、心电图及超声心电图等检查均为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): $\text{BMI} < 18.5$  或  $> 24.0$ .

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 实验方案

在训练干预前,进行一周适应性训练,受试者主要掌握不同训练方式的正确姿势、练习动作节奏和跑速等. 在进行 8 周组合训练前后分别进行静息心率(Heart rate, HR)和 HRV 指标测试,测试时间均为下午 4:00~5:00. 实验室室温为  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,湿度为  $35\% \sim 46\%$ .

#### 1.2.2 HRV 测试方案

利用 Polar team 2 团队心率仪(博能公司,Finland)记录 RR 间期 10 min 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 5 min(5 min~10 min).

#### 1.2.3 周期性训练方案

训练采用典型的周期性训练计划,力量训练和耐力训练依次隔天交替同步进行<sup>[5-7]</sup>. 力量和耐力训练内容如下:力量训练:采用相对定量方式,主要以最大力量练习和肌肉耐力练习为主,练习手段包括半蹲、卧推、硬拉、肩上推、俯身划船、俯卧勾腿和引体. 最大力量练习采用负荷为 85%1RM 进行练习,练习 2~3 组,每组重复 1~3 次,并逐渐增加至重复 4~5 组,每组重复 1~3 次;肌肉耐力练习采用负荷为 40%1RM 进行练习,每组重复 22~25 次,并逐渐增加至重复 4~5 组,每组重复 22~25 次;运动方式为整个关节,运动节奏为离心 1 s~2 s,等长 1 s~2 s,向心 1 s~2 s;耐力训练:同样采用定量方式. 主要以持续跑为主,训练量由 30 min,逐渐递增至 50 min~60 min,练习强度均为 80%~90%  $\text{HR}_{\max}$ . 一周共进行 5~6 次训练,持续 8 周.

#### 1.2.4 研究指标

研究指标为心率(HR)和心率变异(HRV)的时域指标和频域指标<sup>[1,10]</sup>. 时域指标包括全程相邻 NN 间期之差的均方根值(RMSSD),单位为 ms;全部 NN 间期的标准差(SDNN);SDNN/HR. 频域指标包括低频(LF),单位为  $\text{ms}^2$ ,频谱范围:0.04 Hz~0.15 Hz;高频(HF),单位为  $\text{ms}^2$ ,频谱范围:0.15 Hz~0.40 Hz 以及 LF/HF.

### 1.3 统计学方法

结果以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm S$ )表示,数据采用 SPSS 17.0 统计软件处理,进行方差齐性检验,并采用配对样本 *T* 检验训练前后两组数据,显著水平定为  $P < 0.05$ .

2 结果

2.1 训练前后 HR 和 HRV 时域指标变化

数据见表 1. 与训练前相比,训练后 HR 均值显著低于训练前( $P<0.05$ ),而训练后 RMSSD 均值显著高于训练前( $P<0.05$ ),训练后 SDNN 和 SDNN/HR 均值均高于训练前,但无显著差异.

2.2 训练前后 HRV 频域指标变化

数据见表 2. 与训练前相比,训练后 HF、LF 和 LF/HF 均值均高于训练前,但无显著差异.

表 1 训练前后静息心率和 HRV 时域指标变化( $n=14$ )

Table 1 Change of resting HR and HRV time domain indices before and after training( $n=14$ )

|     | HR/(beat/min) | RMSSD/ms     | SDNN/ms     | SDNN/HR/(ms/beat) |
|-----|---------------|--------------|-------------|-------------------|
| 训练前 | 63.36±10.23   | 57.86±28.65  | 74.50±29.34 | 1.25±0.64         |
| 训练后 | 58.21±7.16*   | 74.50±28.64* | 84.21±20.06 | 1.49±0.57         |

\*  $P<0.05$  vs 训练前.

Average HR, average heart rate; RMSSD, root of the mean squared successive differences of in RR intervals; SDNN, the mean standard deviation of RR intervals; SDNN/HR, the mean standard deviation of RR intervals/heart rate.

表 2 训练前后 HRV 频域指标变化( $n=14$ )

Table 2 Change of HRV frequency domain indices before and after training( $n=14$ )

|     | HF( $\text{ms}^2$ ) | LF( $\text{ms}^2$ ) | LF/HF        |
|-----|---------------------|---------------------|--------------|
| 训练前 | 4278.73±2731.18     | 2948.45±1604.72     | 122.44±54.32 |
| 训练后 | 5154.17±2921.62     | 3657.70±2745.64     | 107.17±43.59 |

\*  $P<0.05$  vs 训练前.

HF, high frequency; LF, low frequency; LF/HF, the ratio between the low frequency and high frequency.

3 分析与讨论

本研究结果显示,在既定的训练强度和训练量下(最大力量练习和肌肉耐力练习,以及大强度持续跑练习)进行 8 周的力量和耐力组合训练后,静息心率显著降低,代表迷走神经活性的 RMSSD、SDNN/HR 以及 HF 指标均增加;代表迷走神经和交感神经共同调节,主要代表交感神经活性的 SDNN 和 LF 指标,训练后同样增加;而代表交感神经活性,主要表示自主神经系统的平衡能力指标 LF/HF 降低,结果表明,训练后静息状态下整体 HRV 指数增加,心迷走神经成分增加.

心脏自主神经系统在运动训练适应中有着重要的作用,研究表明长期耐力训练表现为 HRV 指数增加,这与副交感活性增加有关<sup>[1,10,12]</sup>. 研究认为,进行长期有氧训练,可以提高孤束核区、延髓头端腹外侧区和下丘脑室旁核区的控制<sup>[12]</sup>,这些适应促进副交感神经成分的活性,表现为 HRV 指数增加<sup>[1,10,12]</sup>. 相反地,文献研究显示,短期力量训练对健康成年人安静状态下的 HRV 并无影响. Cooke 等的实验结果显示,8 周的力量训练(60%~70% 1RM, 3 次/周)没有改变 HRV 的绝对值或归一化参数<sup>[13]</sup>,同样的,Heffernan 等采用 6 周全身力量训练(65%~75% 1RM, 3 次/周)后,成年男性的安静 HRV 并无变化<sup>[14]</sup>. 尽管短期的力量训练对安静状态下 HRV 无影响,但结果显示短期力量训练后心率恢复明显加快,这一结果推测,力量训练可能促进运动后心迷走神经调节<sup>[13-14]</sup>.

在本研究中,采用既定训练强度和训练量的 8 周力量和耐力组合训练方式,训练后静息心率显著降低,安静状态下迷走神经活性显著增加,这与单独的短期耐力训练后心自主神经功能变化基本一致. Melanson 等结果表明,青年男性( $n=11$ , 25-40yr)进行每周 3 次,每次 30 min 的中等强度至大强度骑车运动,结果显示 12 周训练后,代表副交感神经活性的 HF、RMSSD 和 pNN50 指标显著增加<sup>[15]</sup>. 同样的,高水平耐力运动员静息状态下 RMSSD 和 HF 显著降低,表明迷走神经成分增加. 而有研究认为,力量和耐力的组合训练中,最大力量训练和爆发力训练可以提高耐力训练(持续跑)的经济性,但与  $\text{VO}_{2\text{max}}$  的增加并无显著关系,结合本研究结果,推测可能与组合训练主要提高神经肌肉适能有关<sup>[16]</sup>.

当前,本研究结果显示,8 周既定负荷量的力量和耐力的组合训练后,心脏自主神经系统产生特异性适应,但其中变化机制尚不清楚. 此外,力量训练和耐力训练的训练学参数等发生改变,均可能影响心脏自主神经系统功能的适应,仍有待进一步研究.

综上所述,本研究结果表明,8 周力量和耐力组合训练有效改善心脏自主神经功能,安静状态下整体 HRV 指数增加,表明心迷走神经活性增加.

[参考文献]

[1] TARALOV Z Z, TERZIYSKI K V, KOSTIANEV S S. Heart rate variability as a method for assessment of the autonomic

- nervous system and the adaptations to different physiological and pathological conditions[J]. *Folia Med (plovdiv)*, 2016, 57(3/4):173-180.
- [2] 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.
- [3] 马继政,孙飘. 国外大众体力活动促进的难点和策略[J]. *体育文化导刊*, 2011(11):25-28.
- [4] FOLLAND J P, WILLIAMS A G. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength[J]. *Sports Med*, 2007, 37(2):145-168.
- [5] 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(2):61-66.
- [6] DOCHERTY D, SPORER B. Proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training[J]. *Sports Med*, 2000, 30(6):385-94.
- [7] FYFE J J, BISHOP D J, STEPTO N K. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables[J]. *Sports Med*, 2014, 44(6):743-762.
- [8] FALCONE P H, TAI C Y, CARSON L R, et al. Caloric expenditure of aerobic, resistance, or combined high-intensity interval training using a hydraulic resistance system in healthy men[J]. *J Strength Cond Res*, 2015, 29(3):779-785.
- [9] GARBER C E, BLISSMER B, DESCHENES M R, et al. American college of sports medicine position stand. quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(7):1334-1359.
- [10] da SILVA V P, de OLIVEIRA N A, SILVEIRA H, et al. Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review[J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2015, 20(2):108-118.
- [11] 胡斐,王金之,黄佩玲,等. 不同负重量站立 30 min 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.
- [12] MICHELINI L C, STERN J E. Exercise-induced neuronal plasticity in central autonomic networks: role in cardiovascular control[J]. *Exp Physiol*, 2009, 94:947-960.
- [13] COOKE W H, CARTER J R. Strength training does not affect vagal-cardiac control or cardiovagal baroreflex sensitivity in young healthy subjects[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2005, 93:719-725.
- [14] HEFFERNAN K S, FAHS C A, SHINSAKO K K, et al. Heart rate recovery and heart rate complexity following resistance exercise training and detraining in young men[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2007, 293:H3180-H3186.
- [15] MELANSON E L, FREEDSON P S. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2001, 85(5):442-449.
- [16] BERRYMAN N, MUJICA I, ARVISAIS D, et al. Strength training for middle and long-distance performance a meta-analysis[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 2017, 5(1):1-27.

[责任编辑:黄 敏]