

·运动人体科学·

大强度间歇运动对高血压患者血压及免疫稳态的影响

刘向辉^{1, 2}, 郝选明²

(1.邵阳学院 体育系, 湖南 邵阳 422000; 2.华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510006)

摘 要: 为了解较大强度间歇有氧运动对高血压患者血压及血液细胞和分子免疫状态的影响规律。对 52 名原发性高血压患者分别进行 16 周较大强度的间歇有氧练习和中等强度的持续有氧练习后观察其血压与免疫稳态的变化。结果发现, 经 2 种不同形式的练习后, 所有受试者 IL-4 的浓度都有下降的趋势, 但差异无显著性($P>0.05$); 但大强度间歇训练后 IFN- γ 、IFN- γ 与 IL-4 比值却出现了明显的提高($P<0.05$), 中等强度持续有氧练习前后 IFN- γ 、IFN- γ 与 IL-4 比值无明显改变($P>0.05$)。结果表明大强度间歇练习不会导致高血压患者 Th1/Th2 的偏移而引起免疫系统稳态失衡; 二种练习方式均能使高血压患者的收缩压显著降低, 但持续性有氧练习对脉压的影响不明显, 而大强度间歇有氧练习可有效改善高血压患者的脉压。高血压患者进行较大强度的间歇运动是可行并有效的。

关 键 词: 运动生物化学; 高血压; 间歇运动; 免疫稳态

中图分类号: G804.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7116(2011)04-0127-06

Influence of high intensity intermittent exercising on the blood pressure and immune homeostasis of high blood pressure sufferers

LIU Xiang-hui^{1, 2}, HAO Xuan-ming²

(1.Department of Physical Education, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China;

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

Abstract: In order to probe into the pattern of influence of high intensity intermittent aerobic exercising on the blood pressure and the immune conditions of blood cells and molecules of high blood pressure sufferers, the authors selected 52 primary high blood pressure sufferers to do high intensity intermittent aerobic exercises and medium intensity continuous aerobic exercises respectively for 16 weeks, and then observed the changes of their blood pressure and immune homeostasis, and revealed the following findings: after the two forms of exercising, the IL-4 concentrations of all the testees lowered somewhat, but not significantly ($P>0.05$); however, after high intensity intermittent exercising, the ratios of IFN- γ and IFN- γ to IL-4 increased significantly ($P<0.05$), while before and after medium intensity continuous aerobic exercising, the ratios of IFN- γ and IFN- γ to IL-4 had no significant changes ($P>0.05$). The said findings indicated the followings: high intensity intermittent exercising would not cause the loss of homeostasis of the immune system as a result of the deviation of Th1/Th2 of high blood pressure sufferers; both the two ways of exercising could significantly lower the systolic pressure of high blood pressure sufferers, but the influence of continuous aerobic exercising on the pulse pressure was not significant, while high intensity intermittent aerobic exercising could effectively improve the pulse pressure of high blood pressure sufferers. It is feasible and effective for high blood pressure sufferers to do higher intensity intermittent exercises.

Key words: exercise biochemistry; high blood pressure; intermittent exercising; immune homeostasis

收稿日期: 2010-11-26

基金资助: 湖南省全民健身服务体系研究基地资助项目“高血压运动健身关键技术的研究”(湘哲社领[2010]14号)。

作者简介: 刘向辉(1970-), 男, 副教授, 博士, 华南师范大学在读博士后, 研究方向: 运动健身康复及体能训练。

高血压是最常见的心血管疾病,是全球重大公共卫生问题,已成为影响全世界约 10 亿人的常见病,是导致死亡率增加的最重要的心血管危险因素^[1],研究发现只有把血压控制在理想值 120/80 mmHg 以下时才能够有效地降低心血管疾病的发病风险^[2]。然而目前主要的药理试验表明,单纯的药物治疗很难将高血压患者的血压值控制在正常值范围内,其中只有 25%~62% 的患者得到适当控制^[3]。同时随着人们药物安全意识的提高,非药物疗法所占比重越来越大。运动疗法是治疗高血压病最具潜质的非药物疗法,这一观点也得到了美国运动医学学会、美国国家健康协会和疾病控制中心等组织的肯定。被推荐的传统的高血压运动疗法是中等强度的持续有氧运动^[4],而大强度间歇运动(igh-intensity interval exercise training, HIT)由一系列强度较大、周期较短的运动与休息所组成,由于相对比较新鲜而在实践中的应用比较少,且很多研究者认为 HIT 运动干预模式可能会影响到机体的免疫稳态,对于心血管病人可能存在不安全、不可行甚至完全不能耐受的情况。然而最新的流行病学研究、实验研究、临床研究都证实了大强度间歇运动的强心作用比中低强度持续运动更加有效^[5]。只是目前有关大强度间歇运动对高血压患者是否会造成免疫功能失调还未见相关报道。因此,本研究观察了大强度间歇运动对高血压患者的血压及免疫稳态的影响,为高血压患者选择更

合理的运动方式与运动强度进行康复训练提供参考。

1 研究对象与方法

1.1 对象与训练

随机选取中老年原发性高血压病人 52 人,未服药安静血压为 140~159/90~99 mmHg,年龄(46.46 ± 5.12)岁,体重(70.61 ± 6.34) kg,身高(1.65 ± 0.06) m。全部受试对象没有关节损伤病史,均符合 2004 年 WHO 和 ISH 制定的高血压诊断标准。所有受试者被告知详细的运动方案,并签订了正式的试验同意书。

全部受试对象一直接受药物降压治疗(9.4 ± 6.1)年,服药后的血压 < 140/90 mmHg。在试验开始前 3 个月和试验过程中均不改变药物治疗方案,不限制其体力活动,全部受试对象的服药时间均是早上,统一安排运动训练前和运动训练后安静血压的测试时间为 20:00。将受试对象随机分为中等强度持续运动组(CE)和较大强度间歇运动组(IE)。通过临床评估排除心、脑、肾等重要器官损害的表现,排除继发性高血压和身体活动受限者。各组受试者的一般情况见表 1。最大运动负荷试验(采用 Bruce 方案)的主要目的是为了排除冠心病患者,同时测定受试者的最高心率、安静心率、运动时最高血压值、安静时血压值、FC(功能容量)等以确定受试者的靶心率及最佳运动负荷量。最大运动负荷试验的结果见表 2。

表 1 受试者一般情况($\bar{x} \pm s$)

组别	样本量/人		年龄/岁	BMI/(kg·m ⁻²)	腰围/cm	安静血压/mmHg	
	男	女				收缩	舒张
CE	10	16	48±7	27±4	90±11	139.5±16.7	95.0±10.5
IE	8	18	44±9	28±5	90±11	142.0±13.0	92.7±8.8
不同药物治疗比例/%							
组别	利尿剂	血管紧张素酶抑制剂	β-阻滞剂	钙通道拮抗剂	单种药物	联合用药	
CE	62	35	42	8	54	46	
IE	62	35	31	4	58	42	

表 2 最大负荷运动试验结果($\bar{x} \pm s$)

组别	β-阻滞剂治疗情况	运动时间/min	心率/(次·min ⁻¹)		
			安静时	最高	预期
CE	不接受	7.18±1.66	71.9±6.4	154.8±8.9	90.5±4.3
	接受	7.60±2.40	70.1±8.3	160.6±7.8	91.1±5.4
IE	不接受	6.53±1.87	72.4±8.7	162.9±19.2	91.9±10.2
	接受	7.70±1.00	71.1±10.8	160.0±10.1	90.9±6.8
组别	β-阻滞剂治疗情况	安静血压/mmHg		最高血压/mmHg	
		收缩	舒张	收缩	舒张
CE	不接受	131.4±9.5	90.0±11.2	206.4±26.3	100.5±15.6
	接受	139.5±16.7	95.0±10.5	210.0±26.7	104.0±12.0
IE	不接受	137.0±14.6	92.7±8.8	204.0±25.0	99.7±8.8
	接受	142.0±13.0	90.0±7.1	220.0±27.7	102.0±8.4

两组受试者的运动练习时间安排在 14:00~16:00, 包括 15 min 的准备活动和整理活动、40 min 的运动练习。两组受试者的靶心率都是根据其最大运动负荷试验的结果计算出来的, 可以提高心血管系统功能。CE 组在脚踏车上以 60% 储备心率运动 40 min; IE 组在脚踏车上分别以 50% 储备心率运动 2 min 再以 80% 储备心率运动 1 min (平均负荷为 60% 储备心率) 共 40 min。最高心率和安静心率也都是通过最大运动负荷试验测试出来, 且所有受试者在整个运动过程中接受一对一的全程监控, 用心率表监测心率 (Polar 心率表, Finland)。每周运动 3 次, 共运动 16 周 (共 48 次), 总出勤率为 95.83%, 两组间无统计学差别。

1.2 血液采集

在试验前及经过 16 周的运动干预后, 空腹采集所有受试对象的静脉血用于 CD3⁺、CD4⁺、CD8⁺、CD14⁺、IFN- γ (interferon- γ , Th1 型细胞因子)、IL-4 (Th2 型细胞因子)、IFN- γ 与 IL-4 比值 (代表 Th1/Th2 的偏移) 等指标测试。采血时间统一为上午 07:00~08:00。

1.3 指标测定

1) T 细胞亚群及单核细胞的测定。

吸取经过肝素抗凝的外周血 1.5 mL 加入试管内, 然后加入 3 mL 淋巴细胞分离液, 并以等体积的 Hanks 液将外周血进行稀释后, 轻轻加入淋巴细胞分离液上层。2 000 g 离心 20 min 后取出试管, 轻轻吸取液相交界的单个核细胞, 加入 3 mL Hanks 液, 混匀, 再经 1 500 g 离心 5 min 后弃去上清液, 细胞加入 0.5 mL RPMI 1640 培养基 (含 10% 小牛血清, 50 μ g/mL penicillin 和 50 μ g/mL streptomycin) 重悬, 血细胞计数仪计数, 调整细胞浓度。

取出 20 μ L MultiTEST (含单抗 CD3FITC/CD8PE/CD4APC, 美国 BD 公司) 置绝对计数管 (美国 BD 公司) 底, 加入充分混匀的抗凝全血 50 μ L, 在避光、室温下孵育 15 min 后, 加入 250 μ L FACS 裂解液 (美国 BD

公司), 再次进行孵育。于 24 h 内将标本上流式细胞仪 FACScalibur (美国 BD 公司) 进行分析。利用 CaliBRITETM 磁珠及 FACSCCompTM 软件校准仪器, MultiSETTM 软件获取及自动分析检测结果。

2) 免疫稳态指标的测定: Th1 和 Th2 型细胞因子——IFN- γ 和 IL-4。

测定样品: IFN- γ 和 IL-4 的检测样品都是来自于 T-淋巴细胞孵育 72 h 后的上清液。测定方法: 采用双抗体夹心 ABC-ELISA 法测定 IFN- γ 和 IL-4。用抗人 IFN- γ 或抗人 IL-4 单抗包被酶在标板上, 标准品和样品中的 IFN- γ 或 IL-4 与单抗结合, 加入生物素化的抗人 IFN- γ 或抗人 IL-4, 形成免疫复合物连接在板上, 辣根过氧化物酶标记的 Streptavidin 与生物结合, 加入酶底物 OPD, 出现黄色, 加入终止液硫酸, 颜色变深, 492 nm 下测 OD 值。IFN- γ 和 IL-4 分别与 OD 值成正比。通过绘制标准曲线求出样品中的 IFN- γ 和 IL-4 浓度。测定药盒: IFN- γ 和 IL-4 检测试剂盒均为上海森雄科技实业有限公司产品。

1.4 统计学处理

所有数据均采用统计分析软件包 SPSS13.0 进行统计学处理, 测试结果均以平均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 运动前后的各项指标进行两因素重复测量的方差分析, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果及分析

2.1 练习后高血压患者血压的变化

两组高血压患者在运动训练前的血压没有显著性差异 ($P > 0.05$), 经过 16 周不同强度的运动训练后, CE 组的收缩压和舒张压均出现了明显下降 ($P < 0.05$), 但脉压差没有明显变化 ($P > 0.05$); IE 组的收缩压、舒张压和脉压差都出现明显的下降 ($P < 0.05$)。两组之间的变化有明显的差异 ($P < 0.05$) (见表 3)。

表 3 训练前后高血压患者的血压 ($\bar{x} \pm s$) 变化

组别	n/人	mmHg					
		收缩压		舒张压		脉压差	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
CE	26	139.5 \pm 16.7	133.6 \pm 15.8 ¹⁾	95.0 \pm 10.5	90.0 \pm 12.1 ¹⁾	45.5 \pm 12.2	44.2 \pm 11.5
IE	26	142.0 \pm 13.0	128.5 \pm 12.3 ²⁾	92.7 \pm 8.8	85.0 \pm 11.2 ¹⁾	51.0 \pm 14.6	43.0 \pm 10.5 ¹⁾

与训练前比较: 1) $P < 0.05$; 2) $P < 0.01$

2.2 练习后高血压患者外周血细胞亚群的变化

CE 组和 IE 组的高血压患者经过 16 周的训练后血液内的 WBC、CD3⁺(%)、CD8⁺(%)、CD4⁺/CD8⁺ 均略有下降, 但差异无显著性 ($P > 0.05$); IE 组 CD14⁺(%) 在运动训练后出现了明显下降 ($P < 0.05$), 但 CE 组 CD14⁺(%)

在训练前后却无明显改变 ($P > 0.05$) (见表 4)。

2.3 练习后高血压患者免疫稳态指标的变化

CE 和 IE 组的高血压患者经 16 周的有氧训练后, IL-4 的浓度都有下降的趋势, 但差异无显著性 ($P > 0.05$); CE 组的 IFN- γ 、IFN- γ /IL-4 无明显改变

($P>0.05$); 但 IE 组的 IFN- γ 、IFN- γ /IL-4 却出现了明显的提高($P<0.05$)(见表 5)。

表 4 训练前后高血压患者外周血细胞亚群($\bar{x} \pm s$)的比较

组别	n/人	$10^9 n(\text{WBC})/\text{L}^{-1}$		CD3 ⁺ (%)		CD4 ⁺ (%)	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
CE	26	6.16±1.09	5.88±1.09	68.29±8.64	67.49±7.87	38.93±5.21	39.36±3.58
IE	26	6.19±1.18	5.88±1.09	67.38±8.76	67.49±7.87	38.02±6.12	39.88±4.79

组别	n/人	CD8 ⁺ (%)		CD4 ⁺ /CD8 ⁺		CD14 ⁺ (%)	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
CE	26	25.04±6.14	24.73±5.45	1.68±0.53	1.65±0.52	4.19±1.48	3.78±1.33
IE	26	24.29±6.14	23.82±5.67	1.67±0.48	1.61±0.69	4.13±1.55	3.39±1.46 ¹⁾

1)与训练前比较, $P<0.05$

表 5 训练前后高血压患者免疫稳态指标($\bar{x} \pm s$)比较

组别	n/人	$\rho(\text{IFN-}\gamma)/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		$\rho(\text{IL-4})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		$\rho(\text{IFN-}\gamma)/\rho(\text{IL-4})$	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
CE	26	703.75±172.64	707.35±112.28	53.64±11.87	51.65±12.83	13.26±5.58	13.89±5.06
IE	26	702.96±158.53	749.36±117.29 ¹⁾	52.85±11.96	46.39±11.86	13.32±4.52	16.28±5.12 ¹⁾

1)与训练前比较, $P<0.05$

3 讨论

大量研究资料都已证明 HIT 是心血管疾病患者的有效运动干预方式^[5-14]。但大强度间歇运动对于高血压患者血压及免疫稳态的影响还未见报道, 有关如何设置适当的运动负荷的特殊指导方针还没有确定。Ziemann E 等^[11]研究了运动与休息比率为 1:2 的高强度间歇运动可以迅速恢复并能有效提高机体的最大运动能力(F.C)。为了确保高血压患者的安全, 本研究中间歇运动组采用的并不是运动与休息相间歇的方式, 而是低强度运动(50%储备心率运动 2 min)和高强度运动(80%储备心率运动 1 min)相间歇的方式, 从而在间歇运动组与持续运动组运动负荷量相同的情况下间歇运动组的运动强度不致于太高。当然, 随着高血压患者的运动能力的增强, 间歇运动的方式还可以有更多选择, 也可以采用高强度运动与休息相间歇的方式, 但高血压最佳间歇运动强度与间歇时间是否存在一定的规律还有待于进一步深入研究。

3.1 大强度间歇运动对高血压患者血压的影响

运动是预防和治疗高血压的一种有效手段。Petrella^[15]分析了 39 项研究, 发现运动训练可以使收缩压和舒张压分别降低 13 mmHg 和 18 mmHg, 较明显的降压作用出现在运动训练 10 周以后。但对于最佳运动负荷、运动频率、运动强度还存在一定的争议, 有关大强度间歇运动干预对高血压患者脉压的影响还未见报道, Gasowski 等^[16]发现脉压与中老年高血压患者增加的致命事件显著相关。脉压的大小是收缩压及舒张压综合信息的反映, 其意义并不仅仅是收缩压意义的

延伸。宽脉压将会导致动脉血管受到更大的牵拉, 加快其弹力纤维的退行性改变与断裂, 诱导动脉粥样硬化及血栓的形成^[17]。单纯的收缩型高血压患者比收缩压/舒张压平行升高的高血压患者的心脑血管危险更大, 收缩压不变而脉压加大的高血压患者比脉压不变而收缩压加大的高血压患者的预后更差, 也就是说收缩压一定而舒张压较低的高血压患者的心脑血管风险性更大, 因此在高血压病的降压治疗中应该考虑有针对性地降低脉压, 脉压的降低也可以作为观察和评价高血压患者运动康复疗效的重要依据之一。本研究采用较大强度的间歇有氧练习, 在严格的医务监督及遵循循序渐进原则的基础上, 在确保高血压患者安全的前提下, 所有高血压受试者对较大强度的间歇运动适应良好, 且发现较大强度的间歇练习方案不但可以有效地降低高血压患者的收缩压和舒张压($P<0.05$), 而且可以显著降低其脉压($P<0.05$), 较大强度的间歇运动的降低血压作用明显优于中等强度的持续性运动, 提示较大强度的间歇运动也是高血压运动干预的安全有效的方式, 且高血压患者的运动降压作用与运动强度紧密相关, 这与 Haram P M 等^[18]的研究结果一致。这可能与不同运动强度的间歇练习对机体细胞与分子功能的影响不同有关, 我们还需要做进一步深入探讨。目前已出版的高血压运动干预指南还没有推荐较大强度的间歇运动, 宁可选择中等强度甚至小强度的持续运动^[19]。事实上, 到目前为止还没有找到一种降低高血压患者血压非常理想的药物, 较大强度的间歇运动应该被考虑为高血压运动疗法的重要方式。

3.2 大强度间歇练习后高血压患者的免疫稳态变化

运动与免疫的关系是当前运动医学领域的研究热点,已有许多研究成果^[20-21],其中T细胞与运动的关系倍受关注。T细胞可分为CD4⁺和CD8⁺两大亚群,根据其分泌的细胞因子不同,CD4⁺T细胞又分为Th1细胞和Th2细胞。Th1细胞主要分泌IFN- γ 和IL-2等,介导细胞免疫;Th2细胞分泌IL-4和IL-10等,介导体液免疫。二者各自通过其细胞因子的旁分泌作用,表现出交互抑制现象,从而调节细胞免疫和体液免疫之间的平衡,维持免疫稳态。因此,免疫稳态实质是指免疫细胞的总数及其各亚群的数量百分比,尤其是Th1/Th2型细胞之间以及细胞免疫和体液免疫之间的平衡^[22]。在免疫应答和保持免疫系统自稳状态中,Th1/Th2型细胞扮演了极为重要的角色^[23]。运动作用于机体是一种物理刺激,许多研究证明运动可影响免疫系统的自稳状态^[24]。一次短时间高强度间歇运动,可引起外周血淋巴细胞增加,而长时间运动,外周血淋巴细胞增加的幅度反而下降或不变,甚至低于安静值^[25]。Bruunsgaard等^[26]研究表明,剧烈运动可抑制T-细胞介导的细胞免疫功能,这似乎与运动时机体免疫调节有关。但高强度间歇运动对高血压患者免疫稳态的影响目前还未见报道。

从本研究检测结果看,高血压患者进行大强度间歇有氧练习后,白细胞、T淋巴细胞亚群分布均无显著性变化,其值均在正常范围内,CD14⁺显著下降,提示白细胞、T淋巴细胞亚群分布等指标在大强度间歇运动中具有一定的稳定性。有关运动对CD14⁺数量影响的研究报道并不多见,但有研究观察到大负荷的运动训练可导致血液中单核细胞增加^[27]。临床研究中发现当机体出现急性炎症时,单核细胞的产生率会提高50%左右^[28]。因此,CD14⁺含量比运动训练前下降提示可能是机体的炎症反应减轻,这是否会是大强度间歇运动减轻心血管炎症反应的证据还有待进一步确认与深入研究。如果是这样,说明大强度间歇运动对于减轻心血管的炎症反应的效果明显好于中等强度的有氧运动,提示大强度间歇运动是治疗和预防高血压及降低心血管危险的有效的方式。

IFN- γ 是体内最重要的调节性细胞因子之一,几乎能激活所有的免疫细胞,尤其是它还参与了机体的抗病毒免疫过程。IFN- γ 分泌不足会出现机体细胞免疫功能的下降。有研究表明运动训练对血清IFN- γ 水平无显著性影响,但可以导致全血IFN- γ mRNA显著下降^[29]。本研究发现,中等强度的持续运动训练前后IFN- γ 无明显变化,而经16周较大强度间歇运动训练后IFN- γ 增加,提示高血压患者大强度间歇运动使

全血IFN- γ 呈总体增加趋势,提示高血压患者未出现过度疲劳,并未出现免疫抑制现象,高血压患者对大强度间歇运动训练出现了良好的适应。利用IFN- γ 对高血压大强度间歇训练进行免疫机能监控具有重要的意义。

IL-4主要是由活化T细胞的Th2亚群产生的,可加强体内Th2反应或体液免疫应答,抑制Th1反应或细胞免疫功能^[30]。以往的研究显示:力量训练对全血IL-4的基因表达及血清IL-4均无显著性影响^[31]。本研究发现,高血压患者进行大强度间歇训练后全血IL-4总体呈现下降,同时IFN- γ /IL-4、T-LTI上升,但训练前后的变化没有显著性差异,而中等强度持续运动后则出现了明显的升高,提示高血压患者在较大强度间歇训练后伴有Th2免疫细胞减少或Th2类免疫反应减弱,而这一变化有利于机体Th1类反应的加强和细胞免疫的提高。这种IFN- γ 与IL-4比值和T-LTI与Ig比值同步回升现象,表明高血压患者较大强度间歇练习可以使细胞免疫功能增强,并不会引起免疫稳态失衡。因此,可以认为较大强度间歇运动期间不会导致内环境稳态失调,当然也不会造成免疫系统的稳态失衡变化。这可能是高血压患者对较大强度间歇练习时机体免疫调节的一种模式,比中等强度持续练习对机体的免疫稳态效果更好,但还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Chobanian A V, Bakris G L, Black H R, et al. The seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure[J]. *Hypertension*, 2003, 42(6): 1206-1252.
- [2] Vasan R S, Larson M G, Leip E P, et al. Impact of high-normal blood pressure on the risk of cardiovascular disease[J]. *N Engl J Med*, 2001, 345(18): 1291-1297.
- [3] Niiranen T J, Kantola I M, Vesalainen, et al. A comparison of home measurement and ambulatory monitoring of blood pressure in the adjustment of antihypertensive treatment[J]. *Am J Hypertens*, 2006, 19: 468-474.
- [4] Pescatello L S, Franklin B A, Fagard R, et al. American College of Sports Medicine position stand: exercise and hypertension[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(3): 533-553.
- [5] Wisloff U, Ellingsen Ø, Kemi O J. High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training?[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 2009, 37(3): 139-146.
- [6] Karvonen M, Kentala K, Mustala O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study[J]. *Ann Med*

- Exp Biol Fenn, 1957, 35(3): 307-315.
- [7] Hansen D, Dendale P, Vanloon L J, et al. The impact of training modalities on the clinical benefits of exercise intervention in patients with cardiovascular disease risk or type 2 diabetes mellitus[J]. Sports Med, 2010, 40(11): 921-940.
- [8] Helgerud J, Karlsen T, Kim W Y, et al. Interval and strength training in CAD patients [J]. Int J Sports Med, 2011, 32(1): 54-59.
- [9] Ericsson M, Sjaland C, Andsson K B, et al. Exercise training prior to cardiac specific serca 2 disruption attenuates the decline in cardiac function in mice[J]. J Appl Physiol, 2010, 109(6): 1749-1755.
- [10] Syrkin A L, Poltavskaja M G, Svet A V, et al. Interval training in patients with chronic heart failure[J]. Kardiologija, 2008, 48(7): 65-71.
- [11] Ziemann E, Grzywacz T, Luszczuk M, et al. Aerobic and anaerobic changes with high intensity interval training in active college-aged men[J]. J Strength Cond Res, 2011, 25(4): 1104-1112.
- [12] Gibala M J, Mcgee S L. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? [J]. Exerc Sport Sci Rev, 2008, 36(2): 58-63.
- [13] Little J P, Safdar A, Wilkin G P, et al. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms[J]. J Physiol, 2010, 588(Pt 6): 1011-1022.
- [14] Gibala M. Molecular responses to high-intensity interval exercise[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2009, 34(3): 428-432.
- [15] Petrella R J. How effective is exercise training for the treatment of hypertension? [J]. Clin J Sport Med, 1998, 8(3): 224.
- [16] Gasowski J, Fagard R H, Staessen J A, et al. Pulsatile blood pressure component as predictor of mortality in hypertension: a meta-analysis of clinical trial control groups[J]. J Hypertens, 2002, 20(1): 145-151.
- [17] 张大鹏, 路方红. 脉压与中老年心脑血管疾病[J]. 中华内科杂志, 2003, 42(3): 205-207.
- [18] Haram P M, Kemi O J, Lee S J, et al. Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise in the metabolic syndrome of rats artificially selected for low aerobic capacity[J]. Cardiovasc Res, 2009, 81(4): 723-732.
- [19] Young C E, Karas R H, Kuvin J T. High-density lipoprotein cholesterol and coronary heart disease[J]. Cardiol Rev, 2004, 12(2): 107-119.
- [20] 乔玉成. 健身运动对神经-内分泌-免疫网络的调整作用[J]. 体育科学, 2003, 23(5): 103.
- [21] Pedersen B K, Lauriehoffma-goet Z. Exercise and the immune system: reuglation, integration, and adaptation[J]. Physiol Rev, 2000, 80(3): 1055-1081.
- [22] 周光炎. 免疫学原理[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2000.
- [23] Lucey D R, Clerici M, Shearer G M. Type1 and type2 cytokine dysregulation in human infectious, neoplastic, and inflammatory disease[J]. Clinical Micrology Reviews (CMR), 1996, 19(4): 532-562.
- [24] Elenkov I J, Chrousos G P. Stress hormones, Th1/Th2 Pattenrs, Pro/Ant- inflammatory cytokines and susceptibility to disease[J]. Trends Endocrinol Metab, 1999, 10(9): 359-368.
- [25] Green K J, Rowbottom D G, Mackinnon L T. Exercise and T-lymphocyte function: a comparison of proliferation in PBMC and NK cell-depleted PBMC culture[J]. J Appl Physiol, 2002, 92(6): 2390-2395.
- [26] Bruunsgaard H, Ahartko P P, Mohr T, et al. Decreased in vivo cell-mediated immunity, but normal vaccination response following intense, long-term exercise[J]. Med Sci Sports Exercise, 1998, 30: 182-189.
- [27] Warreh P M, Constantini W N. Sports endocrinology[M]. New Jersey: Humana Press Inc, 2000: 290-291.
- [28] 窦肇华, 张远强, 郭顺根. 免疫细胞与疾病[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2004: 195.
- [29] Moldoveanu I A, Shephard J R, Shek N P. The cytokine responses to physical activity and training[J]. Sports Med, 2001, 31(2): 115-144.
- [30] 金伯泉. 细胞和分子免疫学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 131-239.
- [31] Nieman D C, Davis J M, Brown V A, et al. Influence of carbohydrate ingestion on immune changes after 2h of intensive resistance training[J]. J Appl Physiol, 2004, 96(4): 1292-1298.