

高强度间歇训练对静坐少动女大学生心肺耐力的影响

纪天一¹, 邱俊强²

1. 辽宁中医药大学针灸推拿学院, 沈阳 110000; 2. 北京体育大学

【摘要】 目的 观察静坐少动女大学生在高强度间歇训练(HIIT)干预后心肺耐力的变化,为指导学生制定科学合理的运动计划提供参考依据。**方法** 以北京体育大学 26 名静坐少动女大学生为研究对象,随机分为中强度持续训练(MCT)组($n=13$)和 HIIT 组($n=13$),通过多级递增负荷试验方法测试受试者最大摄氧量, MCT 组进行 30 min 60%最大摄氧量强度的持续训练, HIIT 组以 90%最大摄氧量强度进行每次 3 min 间歇 2 min 共计 6 组的训练。两组均每周训练 3 次,共训练 8 周。在训练前后对受试者进行身体形态、心肺功能、有氧运动能力指标的测试和比较。**结果** 两组训练前后, HIIT 组体质质量指数(BMI) [(22.34±2.73) (21.56±2.39) kg/m²], 体脂百分比 [(31.43±5.65)% (28.85±5.52)%] 与 MCT 组 BMI [(22.98±3.23) (22.35±3.09) kg/m²], 体脂百分比 [(33.15±4.48)% (31.48±4.73)%] 均下降(P 值均<0.01)。在心肺功能方面, HIIT 组肺活量(VC) [(3.30±0.60) (3.61±0.54) L], 肺活量指数 (56.22±10.73, 63.51±10.53)、最大通气量(MVV) [(81.44±20.45, 91.17±15.64) L/min] 升高, MCT 组 VC [(3.08±0.41) (3.19±0.36) L], 肺活量指数 (52.74±8.66, 55.62±7.88) 升高, 且两组之间差异均有统计学意义(P 值均<0.01)。在有氧运动能力方面, 训练前后 HIIT 组 [(2 204.15±232.39) (2 539.23±339.39) mL/min] 与 MCT 组 [(2 136.15±240.76) (2 462.00±318.29) mL/min] 的最大摄氧量均上升(P 值均<0.01)。**结论** HIIT 与 MCT 均能提高静坐少动女大学生肺功能、有氧运动能力,且 HIIT 优于 MCT。

【关键词】 运动活动; 心脏; 肺; 干预性研究; 学生; 女(雌)性

【中图分类号】 G 804.99 G 808 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2020)08-1220-05

Effect of high intensity interval training on cardiorespiratory fitness in sedentary female college students/Ji Tianyi*, Qiu Junqiang.* College of Acupuncture and Tuina, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang(110000), China

【Abstract】 Objective The aim of this study was to observe the changes in cardiorespiratory fitness after high intensity interval training(HIIT), and to provide a reference basis for scientific and reasonable sports plans. **Methods** A total of 26 female college students with sedentary lifestyle were randomly allocated into MCT group ($n=13$) and HIIT group($n=13$). All the participants undertook a graded exercise test to obtain VO_{2max} . The MCT group was trained with 60% VO_{2max} intensity for 30 min, while HIIT group received exercises with 90% VO_{2max} intensity every 3 min, intermittent 2 min, for 6 sessions three times a week for 8 weeks. Before and after 8 weeks of training, the subjects were tested for body shape, cardiorespiratory function and aerobic exercise capacity. **Results** BMI [(22.34±2.73) (21.56±2.39) kg/m²], percentage of body fat [(31.43±5.65)%, (28.85±5.52)%] of HIIT group and BMI [(22.98±3.23) (22.35±3.09) kg/m²], percentage of body fat [(33.15±4.48)%, (31.48±4.73)%] of MCT group showed significant changes before and after training($P<0.01$). For cardiorespiratory function, there was a significant change in VC [(3.30±0.60) (3.61±0.54) L], vital capacity index (56.22±10.73, 63.51±10.53), and MVV [(81.44±20.45, 91.17±15.64) L/min] in HIIT group. There was also a significant change in VC [(3.08±0.41) (3.19±0.36) L] and vital capacity index (52.74±8.66, 55.62±7.88) in MCT group, and there was a significant difference between the two groups($P<0.01$). In terms of aerobic exercise capacity, maximal oxygen uptake in HIIT group [(2 204.15±232.39) (2 539.23±339.39) mL/min] and MCT group [(2 136.15±240.76) (2 462.00±318.29) mL/min] increased significantly after training($P<0.01$). **Conclusion** Both HIIT and MCT can significantly improve lung function and aerobic performance of sedentary female college students, but HIIT is found more effective than MCT training.

【Key words】 Motor activity; Heart; Lung; Intervention studies; Students; Female

心肺耐力(cardiorespiratory fitness, CRF)是体质健康的核心要素^[1],是循环系统、呼吸系统和骨骼肌系统供给氧,维持机体活动的能力。CRF 通常用最大摄

氧量(VO_{2max})或峰值摄氧量(VO_{2peak})表示,由运动平板或功率自行车运动实验获得^[2]。近年来大量证据显示,CRF 与心血管疾病死亡率、全因死亡率及多种癌症有重要关联,美国心脏协会(American Heart Association, AHA)指出,CRF 是与呼吸、体温、脉搏、血压并列的第五大生命体征^[3]。本研究旨在通过测量心肺相关指标,观察静坐少动女大学生在高强度间歇训

【作者简介】 纪天一(1993—),女,辽宁沈阳人,硕士,教师,主要研究方向为运动训练监控与干预。

DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2020.08.026

练组 (HIIT) 运动训练干预后心肺耐力的变化, 探讨训练前后的差异, 为指导学生制定科学合理的运动计划提供参考依据。

1 对象及方法

1.1 对象 在北京体育大学在校女大学生中进行研究对象选取, 要求年龄 18~28 岁, 无运动习惯, 且没有运动训练经历。实验前通过《AHA/ACSM 健康/体适能机构运动前筛查问卷》^[4]、PAR-Q (2002 年修订)《体力活动准备问卷》《体力活动调查问卷》^[5] 进行筛查。通过《体力活动调查问卷》筛选出参加中等强度体力活动次数<3 d/周、每次 30 min/次且持续该状况达 3 个月以上, 并且通过 GT3X 加速度传感器监测得出每天持续静坐时间>6 h 的学生 26 名, 随机分为高强度间歇训练组 (HIIT) ($n=13$) 与中等强度持续训练组 (MCT) ($n=13$), 受试者的信息见表 1。

表 1 不同组别女生基本信息比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	人数	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	BMI/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	Fat/%	METs
HIIT	13	23.2±2.9	162.9±3.3	59.2±7.2	22.34±2.73	31.43±5.65	1.43±0.03
MCT	13	21.8±1.7	160.9±4.4	59.3±6.6	22.98±3.23	33.15±4.48	1.41±0.05
<i>t</i> 值		1.49	1.28	-0.02	-0.55	0.86	0.85
<i>P</i> 值		0.15	0.21	0.98	0.59	0.40	0.40

1.2 方法

1.2.1 实验流程 实验于 2018 年 3 月进行并通过北京体育大学伦理委员会审查 (编号: 2019102H), 受试者均签订知情同意书。首先, 受试者进行身高、体重、身体成分等身体指标的测试。之后在早上使用 CHEST HI-101 (日本) 对肺功能进行检测, 检测指标包括肺活量、肺活量指数、时间肺活量及每分钟最大通气量。按照 $\text{VO}_{2\max}$ 的测试结果得出在 90% $\text{VO}_{2\max}$ 与 60% $\text{VO}_{2\max}$ 下的运动速度, 每位受试者在接下来的 8 周训练中采用给定的速度进行运动训练。在第 4 周根据心率对受试者的运动速度作出调整, 以保证按照既定方案进行训练; 8 周运动干预后, 受试者进行身高、体重、体质量指数 (BMI)、体脂百分比 (Fat%) 等身体指

标的测试, 之后在早上进行肺功能的测试, 指标包括肺活量 (VC)、肺活量指数、第 1 秒用力呼气量 (FEV_{1.0}) 及最大通气量 (MVV), 在基础指标测试结束后, 进行 $\text{VO}_{2\max}$ 的测试。

1.2.2 $\text{VO}_{2\max}$ 测定 受试者进食>1 h 后进行 $\text{VO}_{2\max}$ 的测试, $\text{VO}_{2\max}$ 采用多级递增负荷的方法在跑台上进行测试, 受试者以 6 km/h 的速度热身 3 min, 开始测试的速度为 8 km/h, 以后每级递增 1 km/h, 每级负荷持续 3 min, 第 5~9 级速度均为 12 km/h, 从第 6 级开始, 速度不变, 坡度增加 1%, 之后每级坡度递增 1%。实验中测试仪器为 MAX-II (美国) 运动心肺功能测试系统, 每 15 s 记录 1 次数据。递增负荷测试过程中尽量鼓励受试者进行运动, 当受试者满足下列条件即可终止测试: (1) 运动心率达到最大心率 (200-年龄), 或者心率进入平台, 不增长或出现下降; (2) 呼吸商达到 1.15 或长期处于 1.15 左右; (3) 摄氧量出现平台, 持续运动不增长或出现下降; (4) 当受试者出现气急、跛行、身体摇晃、意识不清等状况需立即终止测试; (5) 受试者主观达到最大能力, 无法继续坚持测试。

1.2.3 运动处方及效果观察 根据之前大量研究及预实验将高强度间歇组运动与间歇时间分别定为 3 和 2 min^[4-5], 同时, 为了确保两组的平均能量消耗一致, 通过 $\text{VO}_{2\max}$ 测试计算出 HIIT 组训练时的总能耗, 推算出 60% $\text{VO}_{2\max}$ 强度下持续运动的时间。跑台训练时间安排在每周的周一、周三、周四、周五 18:00—20:00, 受试者可自行选择规定时间段的任意时间到训练场地进行训练, 按照既定负荷强度以跑台的形式进行 3 次/周, 30 min/次的训练, 测试人员在训练全程对受试者的状态进行监督, 以确保顺利完成既定任务。

1.3 统计学处理 所有数据使用 SPSS 20.0 进行处理, 统计结果以 ($\bar{x}\pm s$) 表示。组间指标使用独立样本 *t* 检验分析, 组内指标训练前后对比使用配对样本 *t* 检验分析, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果 见表 2。

表 2 不同组别女生干预前后观测指标比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	干预前后	统计值	BMI/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	Fat/%	VC/L	肺活量指数	FEV _{1.0} /L	MVV/ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	$\text{VO}_{2\max}$ / ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	$\text{VO}_{2\max}$ /体重
HIIT ($n=13$)	干预前		22.34±2.73	31.43±5.65	3.30±0.60	56.22±10.73	2.71±0.72	81.44±20.45	2 204.15±232.39	37.45±3.69
	干预后		21.56±2.39	28.85±5.52	3.61±0.54 [#]	63.51±10.53 [#]	2.94±0.46	91.17±15.64	2 539.23±339.39	44.35±4.72
		<i>t</i> 值	3.92	5.45	-5.83	-7.55	-1.36	-2.95	-6.14	-7.64
		<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.01	0.00	0.00
MCT ($n=13$)	干预前		22.98±3.23	33.15±4.48	3.08±0.41	52.74±8.66	2.31±0.78	79.92±14.59	2 136.15±240.76	36.19±3.42
	干预后		22.35±3.09	31.48±4.73	3.19±0.36	55.62±7.88	2.74±0.42	87.26±22.74	2 462.00±318.29	42.77±4.45
		<i>t</i> 值	3.48	2.75	-2.40	-3.04	-1.99	-1.81	-5.65	-6.12
		<i>P</i> 值	0.01	0.02	0.03	0.01	0.07	0.10	0.00	0.00

注: 干预后的组间比较, [#]*P*<0.05。

由表 2 可见,通过 8 周的训练,两组受试者的 BMI、体脂百分比(Fat%)组间差异无统计学意义。干预后 HIIT 组的 VC、肺活量指数、MVV 升高(P 值均 <0.05)。而 MCT 组 VC、肺活量指数组间差异有统计学意义(P 值均 <0.05)。干预后两组的 VO_{2max} 、 VO_{2max} 与体重的比值组间差异无统计学意义。

3 讨论

3.1 HIIT 与 MCT 对静坐少动女性身体形态学指标的影响 在身体形态方面,有氧运动会影响大学生的身体成分,而脂肪重量是评价身体成分变化的重要指标,关注从运动开始到结束的总能量消耗对于脂肪量的降低来说非常重要^[6]。Bahr^[7] 研究表明,高强度训练较低强度对运动后能量消耗的刺激更大。有研究表明,HIIT 可以减少身体脂肪尤其是腹部脂肪,降低体脂率和 BMI^[8]。Saris 等^[9] 研究表明,HIIT 在短时间内就可以与长时间低强度运动的效果相同,且二者利用的能量物质几乎相同。王京京等^[10] 研究表明,HIIT 可以降低青年肥胖女性腹部内脏脂肪含量,但 MCT 组未出现降低的现象;HIIT 与 MCT 均可降低腹部皮下脂肪的量,但 HIIT 的作用更加显著。有研究发现,如果进行适当的体力活动,则内脏脂肪和皮下脂肪显著下降^[11]。Lee 等^[12] 研究表明,经过 12 周的运动训练后,HIIT 组的身體脂肪百分比出现了显著下降。本研究结果显示,通过 8 周的训练后,两组受试者的 BMI、Fat%、腰臀脂肪比均出现了显著的下降,但组间无显著性变化,因此认为,两种训练方法都有减脂效果。

但 HIIT 是否比 MCT 在降低脂肪方面效果更加显著仍存在争议。Keating 等^[13] 对肥胖人群进行了研究,发现 MCT 组降低体脂的效果甚至要好于 HIIT 组和对照组。现阶段很少有关于 HIIT 对体脂影响的研究,有研究发现,HIIT 可以通过提高有氧及无氧能力进而提高机体氧化脂肪的能力^[14]。因此,在 HIIT 运动过程中,主要消耗碳水化合物来给予身体能量。所以,HIIT 可以显著促进脂肪下降的主要原因在于身体氧化脂肪能力的提升。

3.2 HIIT 与 MCT 对静坐少动女性肺功能的影响 肺功能的检测除了可以对通气功能、气体交换功能及神经-呼吸肌驱动,乃至呼吸肌功能及通气是否顺畅做出检测,还能作为判断有氧能力的重要因素^[15]。生理学研究表明,身体需要氧的时刻供应以保证各系统组织正常的进行运转,而肺在躯体进行气体交换时发挥着重要的作用,气体交换量的大小由肺来决定^[16]。Janyacharoen^[17] 在对静坐少动年轻人实施抗阻训练运动干预后,受试者的 VC、MVV 都出现显著性提高。

在正常情况下,肺功能与心血管相互影响,并且受到心血管的支配,所以在研究 VO_{2max} 时伴随研究肺功能必不可少。Daussin 等^[18] 关于健康人群的研究表明,HIIT 可以提高外周骨骼肌以及心肺功能发生更大更好的适应性变化;Logan 等^[19] 经过研究发现,男性青年在进行 8 周的运动干预后(每周两次 HIIT+抗阻训练),心肺功能和体成分均出现了显著提升,但并未发现运动总量和各项指标之间的量效关系,由此可看出,HIIT 不需搭配过多的抗阻练习就可以使机体得到较好训练效果。车广伟^[20] 经过研究发现,有氧运动可以使 VC、MVV、FVC 和 FEV1.0 显著提升。学者在长期研究中发现,HIIT 可以有效改善心脏病^[21] 和糖尿病^[22] 患者的心肺功能,而且相较于以往的中低强度持续训练来说,效果更好。本研究结果发现,8 周运动干预后 HIIT 组的 VC、肺活量指数提高,MVV 提升。而 MCT 组 VC、肺活量指数差异有统计学意义。同时 HIIT 组的 VC、肺活量指数的变化值与 MCT 组组间差异有统计学意义,而 VC 以及肺活量指数的提高说明受试者在每次呼吸时其气体交换量有所提高,并且可以说明身体摄取氧气和排出废除气体的能力较好,机体内部的氧供应相对充足。因此可以认为 HIIT 组较 MCT 组 VC、肺活量指数有显著的提升,HIIT 相较 MCT 可以显著提高受试者的肺功能。说明 HIIT 能够对肺组织和胸廓的弹性有所提升,进而使呼吸时气道阻力减少,通畅程度增加,扩大呼吸深度,人体呼吸肌功能得到提高,肺的呼吸效率和功能得到提升和改善^[23]。但是由于相关研究较少,还需要更多的研究来证实 HIIT 与 MCT 两种运动对肺功能的影响。

3.3 HIIT 与 MCT 对静坐少动女性 VO_{2max} 的影响 VO_{2max} 可以有效反映身体供能、心肺耐力状况、利用 O_2 以及骨骼肌运输能力^[24-25],同时也被认为可以有效预测心血管疾病的发病风险^[26]。 VO_{2max} 虽然在一定程度上受遗传因素的影响,但受体力活动的影响更大^[27],心肺耐力就是 VO_{2max} 的制约条件之一。

有研究表明,HIIT 越来越受到大众的喜欢且这种运动方式可以有效提高心肺功能,在 HIIT 运动过程中,心脏以及呼吸功能会随着肌肉的刺激而发生运动性适应,而在间歇期,在确保人体器官得到适当的休息及恢复的同时,可将 CO、VE 和 VO_2 保持在较高水平,为了显著提高训练效果,可以通过在运动过程中持续刺激心血管系统来达到目的^[27-28]。本研究结果发现,8 周运动干预后,两组的 VO_{2max} 都出现上升,差异无统计学意义,与相关研究结果一致^[29-34];认为不论是 HIIT 还是 MCT,8 周的训练都能够显著提升 VO_{2max} 水平,都可以显著提高身体利用氧气的能力。

然而并不是所有的研究都认为 HIIT 训练可以提

高 VO_{2max} 。有研究证实, HIIT 相对于 MCT 对于 VO_{2max} 的改善更加明显^[35], 并且 HIIT 训练过程中的间歇可以有利于身体加快恢复从而提高身体运动能力^[36-37]。HIIT 被认为是提高有氧耐力的能力的有效方式, 但过短的间歇时间 (<45 s) 则无显著效果^[38-39]。Burgomaster 等^[40]以 Wingate 无氧测试方案为 HIIT 运动方案, 运动干预时间为 2 周、每周 3 次, 干预结束后发现受试者进行次极量运动的持续时长变为原来的 2 倍, 但是 VO_{2max} 未发生变化, 可能与干预时间、运动强度较低有关。研究结果出现的不统一可能是因为现阶段关于 HIIT 对机体运动干预的研究中, HIIT 的运动方案 (包括强度、训练时间、间歇时间等) 以及研究的对象有所差异, 不同 HIIT 方案对 VO_{2max} 水平的具体影响还需进一步研究验证。

4 参考文献

- [1] PESCATELLO L S, ARENA R, RIEBE D, et al. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription [J]. Wolters Kluwer, 2014, 77 (4): 311.
- [2] HAMILTON M T, HAMILTON D G, ZDERIC T W. Exercise physiology versus inactivity physiology: an essential concept for understanding lipoprotein lipase regulation [J]. Exerc Sport Sci Rev, 2004, 32 (4): 161-166.
- [3] KATZMARZYK P T. Physical activity, sedentary behavior, and health: paradigm paralysis or paradigm shift? [J]. Diabetes, 2010, 59 (11): 2717-2725.
- [4] BALADY G J, CHAITMAN B, DRISCOLL D, et al. AHA/ACSM joint position statement: recommendations for cardiovascular screening, staffing, and emergency policies at health/fitness facilities [J]. Med Sci Sports Exerc, 1998, 30 (6): 1009-1018.
- [5] TAYLOR A W. Canada's physical activity guide to healthy active living [J]. J Aging Phys Act, 2002, 12 (3): 342.
- [6] 齐玉刚, 黄津虹, 谭思洁. HIIT 和持续性有氧运动对肥胖女大学生减肥效果的比较研究 [J]. 中国体育科技, 2013, 49 (1): 30-33.
- [7] BAHR R. Excess postexercise oxygen consumption: magnitude, mechanisms and practical implications [J]. Acta Physiol Scand Suppl, 1992, 605 (1): 1-70.
- [8] TRAPP E G, CHISHOLM D J, FREUND J, et al. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women [J]. Int J Obes (Lond), 2008, 32 (4): 684-691.
- [9] SARIS W H, SCHRAUWEN P. Substrate oxidation differences between high- and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men [J]. Int J Obes Relat Metab Disord, 2004, 28 (6): 759-765.
- [10] 王京京, 韩涵, 张海峰. 高强度间歇训练对青年肥胖女性腹部脂肪含量的影响 [J]. 中国运动医学杂志, 2015, 34 (1): 15-20.
- [11] PHILIPSEN A, HANSEN A L, JRGENSEN M E, et al. Associations of objectively measured physical activity and abdominal fat distribution [J]. Med Sci Sports Exerc, 2015, 47 (5): 983-989.
- [12] LEE S S, YOO J H, YONG S S. Effect of the low-versus high-intensity

- exercise training on endoplasmicreticulum stress and GLP-1 in adolescents with type 2 diabetes mellitus [J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27 (10): 3063-3068.
- [13] KEATING S E, MACHAN E A, O'CONNOR H T, et al. Continuous exercise but not high intensity interval training improves fat distribution in overweight adults [J]. J Obes, 2014, 2014 (2): 834-836.
- [14] BOUTCHER S H. High-intensity intermittent exercise and fat loss [J]. J Obes, 2010, 2011 (4): 865-868.
- [15] 赵立, 李振华, 鲁继斌, 等. 呼吸模式和通气效率对慢性阻塞性肺疾病及间质性肺疾病运动耐力的影响 [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2004, 27 (8): 564-566.
- [16] 王瑞元, 苏全生. 运动生理学 [M]. 北京: 人民体育出版社, 2012.
- [17] JANYACHAROEN T, THAYON M, BUSHONG W, et al. Effects of resistance exercise on cardiopulmonary factors in sedentary individuals [J]. J Phys Ther Sci, 2016, 28 (1): 213-217.
- [18] DAUSSIN F N, ZOLL J, DUFOUR S P, et al. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects [J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2008, 295 (1): 264-272.
- [19] LOGAN G R, HARRIS N, DUNCAN S, et al. Low-active male adolescents: a dose response to high-intensity interval training [J]. Med Sci Sports Exerc, 2016, 48 (3): 481-490.
- [20] 车广伟. 不同运动形式对女大学生心肺功能的影响 [J]. 少林与太极, 2015, 5 (17): 9-10.
- [21] MUNKAB P S, BUTT N, ISAKSEN K, et al. High-intensity interval training may reduce in-stent restenosis following percutaneous coronary intervention with stent implantation: a randomized controlled trial evaluating the relationship to endothelial function and inflammation [J]. Am Heart J, 2009, 158 (5): 734-741.
- [22] BOUDOU P, SOBNOWI E, MAUVAIS-JARVIS F, et al. Absence of exercise-induced variations in adiponectin levels despite decreased abdominal adiposity and improved insulin sensitivity in type 2 diabetic men [J]. Eur J Endocrinol, 2003, 149 (5): 421-424.
- [23] 王步标, 华明. 运动生理学 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [24] ARMSTRONG N, WELSMAN J R. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11-to 17-year-old humans [J]. Eur J Appl Physiol, 2001, 85 (6): 546-551.
- [25] ARMSTRONG N, WELSMAN J, WINSLEY R. Is peak VO_2 a maximal index of children's aerobic fitness? [J]. Int J Sports Med, 1996, 17 (5): 356-359.
- [26] BALADY G J, ARENA R, SIETSEMA K, et al. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association [J]. Circulation, 2010, 122 (2): 191-225.
- [27] 杨锡让. 实用运动生理学: 运动生理学 [M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2007.
- [28] 王清. 我国优秀运动员竞技能力状态诊断和监测系统研究与建立 [M]. 北京: 人民体育出版社, 2004: 25-27.
- [29] BATRA A, ZATOŃ M. Effect of high intensity interval training on cardiopulmonary function in Taekwon-do ITF athletes [J]. J Comb Sports Martial Arts, 2016, 7 (1): 73-79.

493.

[7] PALERMO A, TUCCINARDI D, DEFEUDIS G, et al. BMI and BMD: the potential interplay between obesity and bone fragility[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2016, 13(6):544.

[8] 全国学生体质与健康调研组. 2014 年全国学生体质与健康调研手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.

[9] 李辉, 宗心南, 季成叶, 等. 中国 2~18 岁儿童青少年超重和肥胖筛查体重指数界值点的研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2010, 31(6):616-620.

[10] 马冠生, 季成叶, 马军, 等. 中国 7~18 岁学龄儿童青少年腰围界值点研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2010, 31(6):609-615.

[11] 中华医学会儿科学分会内分泌遗传代谢学组, 中华医学会儿科学分会心血管学组, 中华医学会儿科学分会儿童保健学组, 等. 中国儿童青少年代谢综合征定义和防治建议[J]. *中华儿科杂志*, 2012, 50(6):420-422.

[12] 马军, 吴双胜. 中国学龄儿童青少年超重肥胖流行趋势分析[J]. *中国学校卫生*, 2009, 30(3):195-197.

[13] VISHAL S, SUSANNE C, JANE N, et al. A systematic review and meta-analysis estimating the population prevalence of comorbidities in children and adolescents aged 5 to 18 years[J]. *Obes Rev*, 2019, 20(10):1-9.

[14] 张萌萌, 张秀珍, 邓伟民, 等. 骨代谢生化指标临床应用专家共识(2019)[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2019, 25(10):1357-1372.

[15] MOTYL K J, MCCABE L R, SCHWARTZ A V. Bone and glucose metabolism: a two-way street[J]. *Arch Biochem Biophys*, 2019, 503(1):10.

[16] NIKOLIC S, CURIC N, ILINCIC B, et al. Relation between osteocalcin and the energy metabolism in obesity[J]. *Vojnosanitetski Pregled*, 2019, 76(3):266-271.

[17] UMER S, MOSLEY T H, KULLO I J. Serum osteocalcin is associated with measures of insulin resistance, adipokine levels, and the presence of metabolic syndrome[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2010, 30(7):1474-1478.

[18] MAGALHÃES K B D S, MARCELO M M, ERIK T D, et al. Metabolic syndrome and central fat distribution are related to lower serum osteocalcin concentrations[J]. *Ann Nutr Metabol*, 2013, 62(3):181-186.

[19] KORD-VARKANEH H, TANGESTANI H, MANSOURI S, et al. Association of body mass index and waist circumference with osteocalcin and C-terminal telopeptide in Iranian elderly: results from a cross-sectional study[J]. *J Bone Miner Metab*, 2019, 37(1):174-184.

[20] WEILER H A, JULIE L, JOHN K, et al. Osteocalcin and vitamin D status are inversely associated with homeostatic model assessment of insulin resistance in Canadian aboriginal and white women: the First Nations Bone Health Study[J]. *J Nutr Biochem*, 2013, 24(2):412-418.

[21] HOLECKI M, ZAHORSKA-MARKIEWICZ B, CHUDEK J, et al. Changes in bone mineral density and bone turnover markers in obese women after short-term weight loss therapy during a 5-year follow-up[J]. *Polish Archiwum Medycyny Wewnętrznej-polish Arch Inter Med*, 2010, 120(7/8):248-254.

[22] 张伟楠. 青年男性不同肥胖表型与骨代谢标志物水平研究[D]. 承德: 承德医学院, 2018.

[23] TAN A, GAO Y, YANG X, et al. Low serum osteocalcin level is a potential marker for metabolic syndrome: results from a Chinese male population survey[J]. *Metab Clin Exper*, 2011, 60(8):1186-1192.

[24] S S H, ZAINAB Z, M O B, et al. A high weekly dose of cholecalciferol and calcium supplement enhances weight loss and improves health biomarkers in obese women[J]. *Nutr Res*, 2018, 59:53-64. DOI: 10.1016/j.nutres.2018.07.011.

收稿日期: 2020-01-18; 修回日期: 2020-03-02

+++++

(上接第 1223 页)

[30] KATSIKADELIS M, PILIANIDIS T, MANTZOURANIS N, et al. The influence of 10 weeks high-intensity interval Multiball training on aerobic fitness in adolescent table tennis players[J]. *J Biol Exerc*, 2017, 13(1):1-13.

[31] GOJANOVIC B, SHULTZ R, FEIHL F, et al. Overspeed hiit in lower-body positive pressure treadmill improves running performance[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2015, 47(12):2571-2578.

[32] ROXBURGH B H, NOLAN P B, WEATHERWAX R M, et al. Is moderate intensity exercise training combined with high intensity interval training more effective at improving cardiorespiratory fitness than moderate intensity exercise training alone? [J]. *J Sports Sci Med*, 2014, 13(3):702-707.

[33] MENZ V, SEMSCH M, MOSBACH F, et al. Cardiorespiratory effects of one-legged high-intensity interval training in normoxia and hypoxia: a pilot study[J]. *J Sports Sci Med*, 2016, 15(2):208-213.

[34] LARSEN S, DANIELSEN J H, SØNDERGÅRD S D, et al. The effect of high-intensity training on mitochondrial fat oxidation in skeletal muscle and subcutaneous adipose tissue[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2015, 25(1):59-69.

[35] GUNNARSSON T P, BANGSBO J. The 10-20-30 training concept improves performance and health profile in moderately trained runners [J]. *J Appl Physiol*, 2012, 113(1):16-24.

[36] DALLECK L, BUSHMAN T T, CRAIN R D, et al. Dose-response relationship between interval training frequency and magnitude of improvement in lactate threshold[J]. *Int J Sports Med*, 2010, 31(8):567-571.

[37] HAFSTAD A D, BOARDMAN N T, LUND J, et al. High intensity interval training alters substrate utilization and reduces oxygen consumption in the heart[J]. *J Appl Physiol*, 2011, 111(5):1235-1241.

[38] THEVENET D, TARDIEUBERGER M, BERTHOIN S, et al. Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2007, 99(2):133-142.

[39] TOUBEKIS A G, SMILIOS I, BOGDANIS G C, et al. Effect of different intensities of active recovery on sprint swimming performance[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2006, 31(6):709-716.

[40] BURGOMASTER K A, HUGHES S C, HEIGENHAUSER G J, et al. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans[J]. *J Appl Physiol*, 2005, 98(6):1985-1990.

收稿日期: 2020-03-29; 修回日期: 2020-05-06