

·临床研究·

高强度间歇训练对肥胖青年血清 adropin 水平和血管内皮功能的影响

魏胜敏¹ 高前进¹ 王二利^{2,3}

摘要

目的: 探讨血清 adropin 在运动改善肥胖青年心血管功能中的作用及机制。

方法: 20 例男性肥胖青年进行为期 8 周的高强度间歇训练。分别于训练前、后测量有氧运动能力[最大有氧速度(MAS)、最大摄氧量(VO_{2max})], 体成分[体质指数(BMI)、体脂百分比(Fat%)], 血脂水平[总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C)], 胰岛素抵抗指数(HOMA-IR), 血流介导的血管舒张功能(FMD)及血清 adropin 水平。

结果: 8 周高强度间歇训练后, 肥胖组 BMI、Fat%、TC、TG、HOMA-IR 显著降低, MAS、 VO_{2max} 、adropin、FMD 显著提高, 多元线性逐步回归分析发现 Δ adropin 是 Δ FMD 的独立影响因素。

结论: 高强度间歇训练改善肥胖青年血管舒张功能与血清 adropin 浓度的改变相关, 血清 adropin 可能在运动干预改善血管内皮功能的过程中起着重要作用。

关键词 高强度间歇运动; 肥胖; 青年; 血管舒张功能; adropin

中图分类号: R493, R587.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-1242(2019)-09-1058-07

Effects of high-intensity interval training on plasma adropin concentration and endothelial function in male obese youth/WEI Shengmin, GAO Qianjin, WANG Erli/Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2019, 34(9): 1058—1064

Abstract

Objective: To assess the effect of high-intensity interval training (HIIT) on plasma adropin concentration, to investigate the affection and mechanisms of plasma adropin in exercise improving cardiovascular function of obese youth.

Method: Twenty male obese youth received a 8-weeks high-intensity interval training. Aerobic capacity (MAS, VO_{2max}), body composition (BMI, Fat%), lipid profile [triglycerides(TG) and total, high-density lipoprotein (HDL) and low-density lipoprotein(LDL) cholesterol], HOMA-IR, flow mediated dilation(FMD) and plasma adropin were measured before and after the HIIT program.

Result: After 8 weeks of HIIT, BMI, Fat%, TC, TG, HOMA-IR were significantly decreased, and MAS, VO_{2max} , adropin, FMD were significantly improved in the male obese youth. Multiple linear stepwise regression analysis revealed that training-induced Δ adropin was the independent factor of training induced Δ FMD.

Conclusion: The training-induced changes in serum adropin level exhibit the positive correlation with the training-induced changes in FMD. Therefore the increase in serum adropin level as response to HIIT may be useful to the increased FMD in male obese youth.

Author's address College of Physical Education, Shijiazhuang University, Shijiazhuang, Hebei 050035

Key word high-intensity interval training; obese; youth; flow mediated dilation; adropin

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.09.010

1 石家庄学院体育学院人体科学实验中心,050035; 2 河北公安警察职业学院; 3 通讯作者

作者简介:魏胜敏,女,博士,副教授; 收稿日期:2018-05-13

1058 www.rehabi.com.cn

肥胖(obesity)是指体内脂肪过量而导致体重超过正常标准的一种慢性疾病^[1],由于发病率剧增而备受关注。目前,青年肥胖的发生率在各国迅速膨胀,已经成为影响青年人健康的社会问题^[1-2]。肥胖是诱发心血管疾病发生的重要危险因素^[3],近年来的研究表明,血管内皮功能障碍在血管病变的发生发展过程中发挥了重要作用,几乎与所有心血管疾病存在重要关系^[4]。因此,改善肥胖者的血管内皮功能对心血管疾病的防治具有重要意义。2008年Kumar等^[5]首次发现了一种分泌性蛋白命名为“adropin”,adropin的命名来自于拉丁词根“aduro”和“pinquis”,意思是“促进脂肪燃烧”。Kumar等在肥胖小鼠模型中发现,肥胖小鼠体内的adropin表达降低,而应用过表达转基因技术或腹腔注射重组adropin,肥胖小鼠肝脏脂肪沉积减少,胰岛素敏感性增加,胰岛素抵抗被纠正;Ganesh等^[6]发现adropin基因敲除的小鼠体质量增加,空腹三酰甘油水平增高,胰岛素抵抗和肝脏脂肪沉积,推测adropin参与了维持机体能量收支平衡,adropin相关基因的低表达可能是肥胖的重要因素。后来Lovren等^[7]在体外细胞培养实验中发现,adropin能够通过激活血管内皮生长因子2途径上调一氧化氮合酶的表达,促进NO的合成增加,最终起到对血管内皮细胞的保护作用。近年相关adropin的研究受到广泛关注,研究建议未来人们可以利用adropin的生物学活性作为治疗靶点,在各类心血管疾病的治疗方面发挥重要作用^[8-9]。当前增加身体活动水平仍然是青年肥胖防治策略的重要组成部分。研究显示,高强度间歇训练不但可以改善肥胖者的体成分,还可以使代谢综合征的危险因素显著降低,例如血压降低,胰岛素敏感性提高,血管内皮功能改善,心肺适能提高等^[10-12]。但运动改善肥胖青年血管内皮功能的相关机制尚不完全明确,是否与血清adropin相关需进一步研究。因此,本研究拟通过观察比较肥胖青年运动干预前、后内皮依赖性血流介导的血管舒张功能(flow mediate dilation, FMD),血清adropin、胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)、最大摄氧量(VO_{2max})水平的变化及相互关系,探讨血清adropin在运动改善肥胖青年心血管功能中的作用及机制。

1 对象与方法

1.1 研究对象

从石家庄学院非体育专业2015级大学生中随机选取20例肥胖男大学生(年龄 21.40 ± 1.19 岁, $BMI > 25 \text{ kg/m}^2$, $Fat\% > 26\%$)作为肥胖组,其他纳入标准包括无急慢性疾病、肾病、吸烟,近期无服用激素类药物,平时无运动习惯。运动干预期间的饮食应满足青年人基本生理需要,个体1日总热量摄入根据“个体体重 \times 极轻体力劳动单位体重热能供应量(20—25kCal/kg)”计算;早中晚餐提供的热量比例约为30%、40%、30%,其中糖、脂肪及蛋白质的供能量约占总热量的60%、25%、15%,严格统一作息制度^[13]。同时选取20例健康体重正常的男大学生(同样的纳入标准)(年龄 21.45 ± 1.50 岁, $BMI < 23$)作为对照组。所有受试者预先了解运动干预流程及目的,并填写知情同意书。

1.2 运动方案

实验从2017年4—6月在石家庄学院田径场进行,气温在20—30℃,湿度55%—70%。受试者接受8周的高强度间歇训练,实验前1天进行各项指标的前测,运动干预结束后2天进行各项指标的后测。

高强度间歇训练为期8周,每周的1、3、5下午训练,每周3次,每次训练包括15min的准备活动:10min慢跑和5min连续20m冲刺跑;训练的主要部分为高强度间歇训练,为30s 100%—110%最大有氧速度跑(高强度)和30s 50%最大有氧速度跑(间歇),重复8—10次,共3组,组间休息5min,45min完成;最后10min恢复运动、慢跑和伸展运动(表1)。

最大有氧速度(maximal aerobic speed, MAS)测试, MAS测试方法在年轻人和运动员中使用较多,是年轻人健身锻炼的好的方法^[14-15];受试者充分热身后,进行2000m跑,一定保证尽最大努力完成,记录完成的时间。 $MAS(m/s) = \text{距离}(m) / \text{时间}(s)$ ^[16]。

1.3 身体基本情况及最大摄氧量 VO_{2max} 测试

对所有研究对象进行身高、体重、心率、血压等指标的测试;用日本产DF830体成分仪测定体成分(体脂率)。

采用Astrand-Ryhniui列线图法间接推测受试者 VO_{2max} 。首先受试者以50r/min的速度蹬功率自行车,负荷为1kp持续运动6min;休息3min然后再

表1 高强度间歇训练运动方案

训练周次	1—2	3—4	5—6	7—8
次/周	3	3	3	3
组数/次	3	3	3	3
重复次数/组	6	8	8	10
跑/间歇时间(s)	30/30	30/30	30/30	30/30
MAS%(跑/间歇)	100/50	100/50	110/50	120/50

重复上述步骤,负荷适当增加至3kp,前后两次负荷运动时心率都要在120—170次/min之间。用运动中第5和第6min记录下的心率的平均值查表来推测最大摄氧量^[17]。

1.4 血样和生化指标分析

在上午9点进行血样采集,采集空腹状态下的肘部静脉血5ml,4℃离心分离血清后置于-20℃冰箱保存待测。采用ELISA法测定血清adropin水平。采用酶比色法测定:总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL-C)、低密度脂蛋白(LDL-C);血糖胰岛素(FINS)采用ELISA测定,血糖(FBG)采用氧化酶法测定,并计算胰岛素抵抗指数:HOMA-IR=FBG×FINS/22.5。

1.5 血管舒张功能检测

采用超声诊断技术测定肱动脉血流介导的血管舒张(flow mediated dilation, FMD)功能来代表血管内皮功能。测试时受试者采用仰卧姿势,选取右侧肘关节上方2—5cm处的肱动脉,首先纵向扫描其安静状态下血管舒张末期的基础内径(D₁),然后采用血压计袖带使受试者肱动脉受压,加压至200mmHg,维持3—4min后迅速减压,测定1min内反应性充血后的内径(D₂),FMD=(D₂-D₁)/D₁×100%。

1.6 统计学分析

使用SPSS17.0对数据统计分析,所有数据用均数±标准差表示。利用Shapiro-Wilk检验和Levene检验对数据进行正态分布与方差齐性检验。使用独立样本的t检验比较两组受试者训练前各指标差异的显著性,采用配对样本t检验对肥胖组各指标训练前后进行比较,采用Pearson相关分析所有研究对象入组时血清adropin水平与其他指标的相关性并进行多元线性逐步回归分析。运动训练前后血管舒张功能改变量和各指标改变量之间关系使用Pearson相关分析,并利用多元线性逐步回归分析血管舒张改变量和各指标改变量之间的线性关系。

2 结果

如表2所示,总体来讲,肥胖组BMI、Fat%、TC、TG、LDL-C、FBG、FINS、HOMA-IR显著高于对照组,而肥胖组的MAS、VO_{2max}、血清adropin浓度、FMD显著低于对照组。使用pearson相关分析发现,所有研究对象(包括肥胖组和对照组)训练前的血清adropin与BMI($r=-0.297, P=0.04$),Fat%($r=-0.463, P=0.003$),HOMA-IR($r=-0.597, P=0.000$)呈显著负相关关系,而与VO_{2max}($r=0.495, P=0.001$),FMD($r=0.543, P=0.000$)呈显著正相关关系(如图1-A, B, C所示)。进一步使用多元线性回归分析检查了各指标与adropin的关系,纳入标准 $\alpha \leq 0.05$,变量剔除标准 $\alpha \geq 0.1$,结果发现HOMA-IR, VO_{2max}的偏回归系数具有显著性意义,是血清adropin的主要相关因素,(见图1-A, B)。所得回归方程为 $Y=1.675-0.710X_1+0.233X_2$ ($Y=\text{adropin}, X_1=\text{HOMA-IR}, X_2=\text{VO}_{2\text{max}}$)。

8周的高强间歇训练后肥胖组与训练前相比,BMI, Fat%, TC, TG, HOMA-IR显著降低;MAS和VO_{2max}显著提高;血清adropin, FMD显著提高。对肥胖组青年训练前、后各指标的改变量进行Pearson相关分析,ΔFMD与Δadropin($r=0.560, P=0.01$)和ΔVO_{2max}($r=0.448, P=0.047$)呈显著正相关,其余各指标的改变量之间无相关关系。进一步对FMD改变量和其他各指标改变量之间的关系进行多元线性逐步回归分析,纳入标准 $\alpha \leq 0.05$,变量剔除标准 $\alpha \geq 0.1$,以ΔFMD为因变量,以可能影响ΔFMD的因素如Δ体重、ΔBMI、ΔFat%、ΔTC、ΔTG、ΔHDL-C、ΔLDL-C、ΔFBG、ΔFINS、ΔHOMA-IR、Δadropin为自变量,结果发现Δadropin($r=0.868, P=0.01$)的偏回归系数有显著性意义,是ΔFMD的独立影响因素,得到的回归方程 $Y=0.22+2.061X$ ($Y=\Delta\text{FMD}, X=\Delta\text{adropin}$),如图1-C,D。

3 讨论

研究证实肥胖状态下,脂肪含量的增加使体内adropin水平降低^[5,18-19],进而促进血管内皮功能下降^[20-21],使得血管病变的风险显著增加^[22-23]。有研究表明,肥胖青年在肥胖的早期便出现血管内皮功能障碍,并表现出心血管功能的整体下降^[24]。而内

表2 受试者各指标高强度间歇训练前、后变化比较

	对照组	肥胖组	
		训练前	训练后
年龄(year)	21.45±1.50	21.40±1.19	21.40±1.19
身高(cm)	172.85±4.98	1.73±4.84	173±4.84
体重(kg)	65.20±5.72	82.30±5.68 ^②	74.8±5.21 ^④
BMI	21.78±0.99	27.49±1.27 ^②	24.97±0.73 ^④
Fat(%)	20.10±1.62	38.39±4.06 ^②	29.88±3.81 ^④
MAS(m/s)	4.00±0.24	3.10±0.43 ^②	3.92±0.22 ^④
VO _{2max} (ml/kg/min)	49.96±1.74	39.96±2.32 ^②	45.56±2.92 ^④
HDL-C(mmol/L)	1.12±0.24	1.08±0.21	1.10±0.16
LDL-C(mmol/L)	2.10±0.29	2.21±0.36 ^①	2.06±0.28 ^③
TC(mmol/L)	3.26±0.17	4.59±0.28 ^②	3.44±0.38 ^④
TG(mmol/L)	0.84±0.26	1.34±0.28 ^②	1.02±0.29 ^④
FBG(mmol/L)	3.55±0.80	4.38±0.83 ^①	3.80±0.68 ^③
FINS(mIU/L)	5.66±0.93	9.54±1.50 ^②	8.30±1.09 ^④
HOMA-IR	0.91±0.30	1.95±0.62 ^②	1.41±0.43 ^④
Adropin(ng/ml)	3.46±0.54	2.85±0.74 ^①	3.53±0.50 ^③
FMD(%)	12.85±1.55	9.29±0.87 ^②	10.94±1.27 ^③

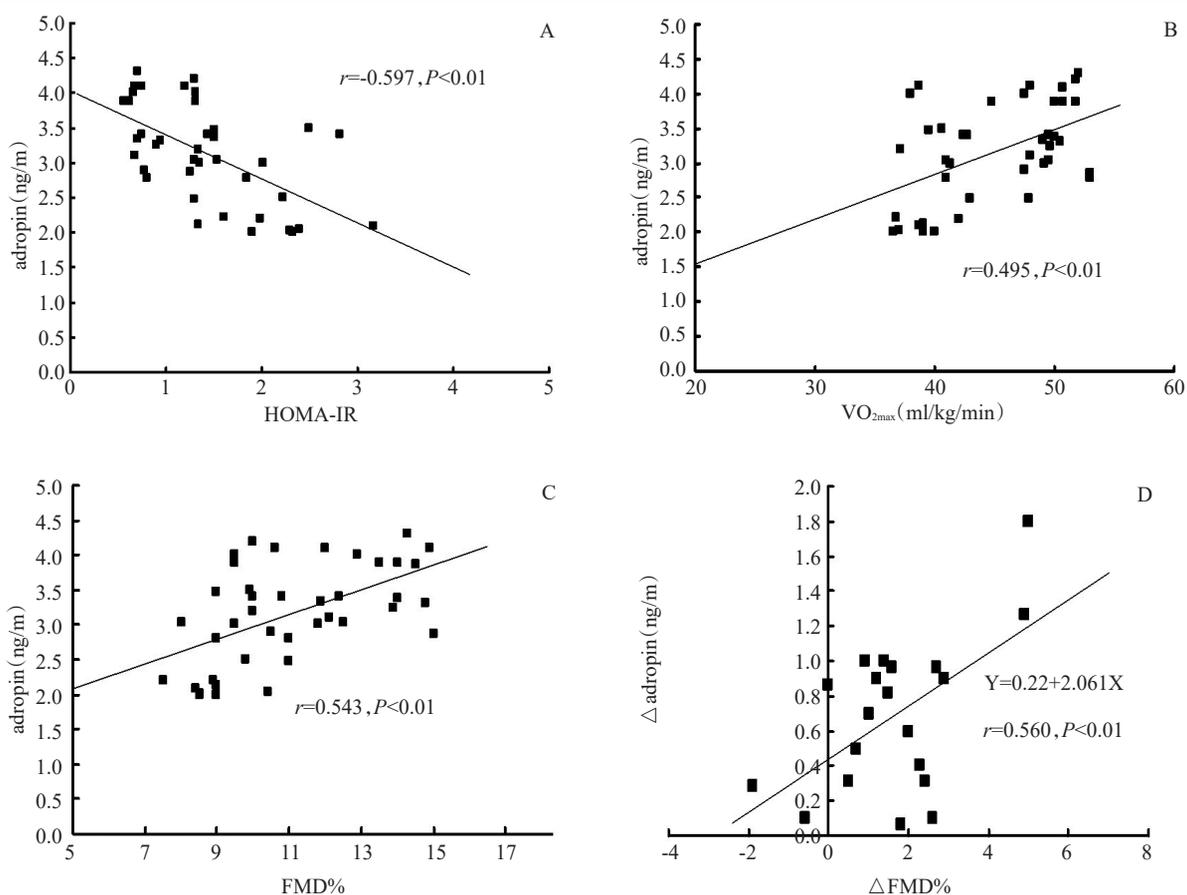
注:与对照组比较,①P<0.05,②P<0.01;与训练前比较,③P<0.05,④P<0.01

皮细胞结构和功能的改变是多种心血管疾病的共同病理基础。二十多年来的研究表明,血管内皮细胞

是介于血流和血管壁之间的一层单核细胞,可分泌一系列血管活性物质实现对血管舒缩功能的调节,肥胖引起的血管内皮功能障碍主要表现为NO合成减少,致使内皮依赖性血管舒张功能下降,最终导致一系列心血管事件的发生^[25]。因此,改善肥胖青年的血管内皮功能障碍是降低心血管疾病发病风险的有效策略。有充分的证据表明运动可有效改善血管内皮功能障碍,显著降低心血管疾病危险因素的数量^[26-27]。由于adropin参与了肥胖及血管内皮功能障碍的病理机制,不难推断,通过提高血清adropin水平可能有利于改善肥胖青年血管内皮功能,进而有利于其心血管整体功能的提高。

目前运动干预对肥胖及血清adropin水平的影响已经受到广泛关注。但是运动改善肥胖青年血管内皮功能是否与adropin水平改善有关,目前尚不清楚。本研究结果显示,经过8周的高强度间歇运动,肥胖青年体重、BMI、体脂率Fat%、胰岛素抵抗指数

图1 血清adropin的主要相关因素多元线性回归分析



HOMA-IR、总胆固醇、甘油三酯均显著降低,这进一步证明了高强度间歇运动可以有效降低肥胖青年体重,改善其体成分及糖脂代谢,提高心血管功能,这与目前国内外的研究结果是一致的^[28]。此外,我们使用的多普勒超声测量肱动脉FMD是目前应用最广泛的测量血管内皮功能的方法,其具有无创性、可重复性、易于操作和检测廉价等特点。是通过采集管壁运动回声经探头所产生的射频信号,利用相位跟踪方法实时显示管径变化曲线,自动计算分析多项血管弹性指标,反映血管弹性的一项新技术,该技术能动态跟踪和描记动脉内膜的运动轨迹并计算血管内径的变化幅度,分辨率高达0.01mm^[29-32]。其原理是测量在受到切应力的作用下肱动脉直径暂时的变化,也就是将可充气的袖带固定在前臂(超声探头的远端)充气至200mmHg时停留3min,然后放掉袖带中的气体,放气后肱动脉内突然增加的血流对血管壁产生切应力,切应力将激活血管内皮细胞释放NO,NO引起血管平滑肌细胞松弛从而使血管扩张^[33]。因此,FMD可以反映全身血管舒张功能,其增高表明血管内皮功能障碍得到有效缓解。本研究结果表明8周高强度间歇训练后肥胖青年FMD得到显著提高,提示8周的运动干预可以有效改善肥胖青年的血管内皮功能障碍。

由于adropin在血管内皮功能障碍中发挥了重要作用,因此本研究采用ELISA法对受试者的血清adropin水平进行了检测。adropin主要分布于肝脏,脑,骨骼肌,脐静脉和冠状静脉内皮细胞等组织器官,近年来其重要性已受到越来越多研究者的重视。有学者观察了人体血清adropin浓度的稳定性,通过不同时间段、不同情况下多次采血检测adropin浓度,发现人体血清adropin浓度较为稳定,不受进食、昼夜节律等的影响,并认为空腹12h后采血检测最能准确反映个体血清adropin的水平^[20]。因此,我们在上午9点进行空腹采血,研究发现肥胖组青年血清adropin水平显著低于正常体重的对照组青年,这提示肥胖青年体内存在adropin分泌不足现象,这与Butler等^[18-19]的研究结果一致。低水平的adropin除了不能通过激活VEGFR2途径上调eNOS的表达之外,还通过代谢途径促进胰岛素抵抗,脂类代谢异常,出现细胞因子级联反应,最终使内皮细胞损

伤^[34]。此外,对训练前所有研究对象各指标的Pearson相关分析发现血清adropin与BMI, Fat%, HOMA-IR呈显著负相关关系,而与VO_{2max}, FMD呈显著正相关关系(如图1-A,B,C所示)。进一步使用多元线性逐步回归分析检查了各指标与adropin的关系发现,HOMA-IR, VO_{2max}的偏回归系数具有显著性意义,是血清adropin的主要影响因素(见图1-A,B),所得回归方程为 $Y=1.675-0.710X_1+0.233X_2$ ($Y=$ adropin, $X_1=$ HOMA-IR, $X_2=$ VO_{2max})。也就是说通过胰岛素抵抗指数和最大摄氧量能推测血清adropin的值,因此,降低胰岛素抵抗和提高最大摄氧量水平能够提高血清adropin水平。

本研究结果显示,8周的高强度间歇运动干预显著提高了肥胖男青年的VO_{2max},降低了HOMA-IR,显著提高了血清adropin水平。对肥胖青年训练前、后各指标的改变量进行Pearson相关分析发现,血清adropin改变量(Δ adropin)和最大摄氧量改变量(Δ VO_{2max})与FMD的改变量(Δ FMD)呈显著正相关,其余各指标的改变量之间无相关关系。进一步对FMD的改变量和其他各指标改变量之间的关系进行多元线性逐步回归分析,结果发现 Δ adropin($t=0.868, P=0.01$)的偏回归系数有显著性意义,是 Δ FMD的独立影响因素,得到的回归方程 $Y=0.22+2.061X$ ($Y=\Delta$ FMD, $X=\Delta$ adropin)(如图1-D)。逐步回归分析的主要作用在于判断在所有的自变量中,哪些自变量对因变量的影响较大,从而选择作为必需的自变量,至于那些对因变量影响较小的自变量可以舍去而不予考虑,这样,在计算多元回归方程时,只要保留起主要作用的自变量,用较少的自变量描述因变量的变动。据此,不仅训练前adropin与FMD正相关,而且运动干预诱导的 Δ adropin是 Δ FMD的独立影响因素。近年越来越多的证据表明,运动干预提高肥胖者血清adropin水平是运动有效防治心血管病的重要机制^[18,35-36]。

对于青年肥胖者而言,肥胖通过复杂的机制引起血管内皮功能障碍,启动早期动脉粥样硬化诱发心血管疾病发生,其中血清adropin在血管内皮功能障碍中扮演了重要角色^[7-9,18,20-23]。因此,通过改善其血管内皮功能可以有效降低心血管疾病发病的风险。本研究结果提示,在肥胖青年减肥过程中,采用

高强度间歇训练提高血清 adropin 水平的措施可有利于改善血管内皮功能。但是,运动通过提高血清 adropin 水平改善血管内皮功能的机制还有待于进一步阐明。

4 结论

8周的高强度间歇训练干预可以有效提高肥胖青年的有氧运动能力,降低肥胖青年的体重,改善体成分,提高胰岛素敏感性及脂代谢水平,并且可以提高血清 adropin 水平,改善其血流介导的血管舒张功能;运动干预改善肥胖青年心血管功能的机制可能与运动提高血清 adropin 水平有关。

参考文献

- [1] Hirko KA, Kantor ED, Cohen SS, et al. Body mass index in young adulthood, obesity trajectory, and premature mortality[J]. *Am J Epidemiol*, 2015, 182(5):441—450.
- [2] Stokes A, Collins JM, Grant BF, et al. Obesity progression between young adulthood and mid-life and incident diabetes: a retrospective cohort study of U.S. adults[J]. *Diabetes Care*, 2018, 41(5):1025—1031.
- [3] Molica F, Morel S, Kwak BR, et al. Adipokines at the crossroad between obesity and cardio-vascular disease[J]. *Thromb Haemost*, 2015, 113(3):553—566.
- [4] Engin A. Endothelial dysfunction in obesity[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2017, 960:345—379.
- [5] Kumar KG, Trevaskis JL, Lam DD, et al. Identification of adropin as a secreted factor linking dietary macronutrient intake with energy homeostasis and lipid metabolism[J]. *Cell Metab*, 2008, 8: 468—481.
- [6] Ganesh Kumar K, Zhang J, Gao S, et al. Adropin deficiency is associated with increased adiposity and insulin resistance[J]. *Obesity*. 2012, 20(7): 1394—1402.
- [7] Lovren F, Pan Y, Quan A, et al. Adropin is a novel regulator of endothelial function[J]. *Circulation*, 2010, 122(11 Suppl): S185—S192.
- [8] Li L, Xie W, Zheng XL, et al. A novel peptide adropin in cardiovascular diseases[J]. *Clin Chim Acta*, 2016, 453:107—113.
- [9] 张秀玲, 张磊, 梁江久. Adropin 与心血管疾病关系的研究进展[J]. *中国心血管杂志*, 2017, 22(2): 155—158.
- [10] Sawyer BJ, Tucker WJ, Bhammar DM, et al. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on endothelial function and cardiometabolic risk markers in obese adults[J]. *J Appl Physiol*, 2016, 121: 279—288.
- [11] 詹晓梅, 潘珊珊, 陈文鹤. 运动干预对肥胖青少年体成分、血脂、胰岛素抵抗及超敏C反应蛋白的影响[J]. *上海体育学院学报*, 2012, (6):62—66.
- [12] Ouerghi N, Ben Fradj MK, Bezrati I, et al. Effect of high-intensity interval training on plasma Omentin-1 concentration in overweight/obese and normal-weight youth[J]. *Obes Facts*, 2017, 10: 323—331.
- [13] 李娟, 唐东辉, 陈巍. 有氧运动结合抗阻力训练对男性肥胖青少年心血管功能的改善及可能机制[J]. *体育科学*, 2013, 33(8): 37—42.
- [14] Nikolaidis PT. Can maximal aerobic running speed be predicted from submaximal cycle ergometry in soccer players? The effects of age, anthropometry and positional roles[J]. *Adv Biomed Res*, 2015, 4:226.
- [15] Khammassi M, Ouerghi N, Hadj-Taieb S, et al. Impact of a 12-week high-intensity interval training without caloric restriction on body composition and lipid profile in sedentary healthy overweight/obese youth[J]. *J Exerc Rehabil*, 2018, 14(1):118—125.
- [16] Bellenger CR, Fuller JT, Nelson MJ, et al. Predicting maximal aerobic speed through set distance time-trials[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2015, 115(12): 2593—2598.
- [17] 全国体育学院教材委员会. 运动生理学实验指导[M]. 北京: 人民体育出版社. 2005-11.
- [18] Fujie S, Hasegawa N, Kurihara T, et al. Association between aerobic exercise training effects of serum adropin level, arterial stiffness, and adiposity in obese elderly adults[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2017, 42(1): 8—14.
- [19] Butler AA, Tam CS, Stanhope KL, et al. Low circulating adropin concentrations with obesity and aging correlate with risk factors for metabolic disease and increase after gastric bypass surgery in humans[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2012, 97(10):3783—3791.
- [20] Oruc CU, Akpınar YE, Dervisoglu E, et al. Low concentrations of adropin are associated with endothelial dysfunction as assessed by flow-mediated dilatation in patients with metabolic syndrome[J]. *Clin Chem Lab Med*, 2017, 55(1): 139—144.
- [21] Topuz M, Celik A, Aslantas T, et al. Plasma adropin levels predict endothelial dysfunction like flow-mediated dilatation patients with type 2 diabetes mellitus[J]. *J Investig Med*, 2013, 61(8): 1161—1164.
- [22] Yosae S, Soltani S, Sekhavati E, et al. Adropin- a novel biomarker of heart disease: a systematic review article[J]. *Iran J Public Health*, 2016, 45(12): 1568—1578.
- [23] Goetze JP, Albrethsen J. Adropin: a new regulatory peptide

- in cardiovascular endocrinology[J]. Regul Pept, 2014, 190-191:41—42.
- [24] Ayer J, Charakida M, Deanfield JE, et al. Lifetime risk: childhood obesity and cardiovascular risk[J]. Eur Heart J, 2015, 36(22):1371—1376.
- [25] Angelo A, Saula VK. Mechanisms of endothelial dysfunction in obesity[J]. Clin Chimica Acta, 2005, 360(1-2): 9—26.
- [26] Lee JH, Lee R, Hwang MH, et al. The effects of exercise on vascular endothelial function in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis[J]. Diabetol Metab Syndr, 2018, 10:15.
- [27] Crozier J, Roig M, Eng JJ, et al. High-intensity interval training after stroke: an opportunity to promote functional recovery, cardiovascular health, and neuroplasticity[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2018, 32(6-7): 543—556.
- [28] Blackwell JEM, Doleman B, Herrod PJJ, et al. Short-term (<8 weeks) high-intensity interval training in diseased cohorts[J]. Med Sci Sports Exerc, 2018, 50(9):1740—1749.
- [29] Lambiase MJ, Dorn J, Thurston RC, et al. Flow-mediated dilation and exercise blood pressure in healthy adolescents [J]. J Sci Med Sport, 2014, 17(4):425—429.
- [30] Maruhashi T, Soga J, Fujimura N, et al. Endothelial Dysfunction, Increased Arterial Stiffness, and Cardiovascular Risk Prediction in Patients With Coronary Artery Disease: FMD-J (Flow-Mediated Dilation Japan) Study A[J]. J Am Heart Assoc, 2018, 7(14).
- [31] 任亚娟, 肖沪生, 银浩强, 等. 肱动脉血流介导的血管舒张功能检测的方法学研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2010, 21(4): 276—278.
- [32] 冯蕾, 周素珍, 赵占胜, 等. 循环运动训练对2型糖尿病妇女心肺适能及血流介导的血管舒张功能的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(6): 680—685.
- [33] 崔亚萌, 王小飞. 血流介导的血管舒张功能在临床中的应用[J]. 心血管病学进展, 2015, 36(4):458—461.
- [34] 张亚南, 李安荣, 陈旭东, 等. Adropin蛋白的研究进展及临床意义[J]. 医学综述, 2016, 22(1): 20—23.
- [35] Zhang H, Jiang L, Yang YJ, et al. Aerobic exercise improves endothelial function and serum adropin levels in obese adolescents independent of body weight loss[J]. Sci Rep, 2017, 7(1):17717.
- [36] Fujie S, Hasegawa N, Sato K, et al. Aerobic exercise training-induced changes in serum adropin level are associated with reduced arterial stiffness in middle-aged and older adults[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2015, 309: H1642—H1647.

(上接第 1057 页)

- sor muscles in post-stroke hemiparetic subjects[J]. Clinical Neurophysiology, 2004, 115(4):790—796.
- [17] Carr LJ, Harrison LM, Stephens JA. Evidence for bilateral innervation of certain homologous motoneurone pools in man[J]. J Physiol, 1994, 475(2):217—227.
- [18] Yu SH, Park SD. The effects of core stability strength exercise on muscle activity and trunk impairment scale in stroke patients[J]. J Exerc Rehabil, 2013, 9(3):362—367.
- [19] Lee SW, Shin DC, Song CH. The effects of visual feedback training on sitting balance ability and visual perception of patients with chronic stroke[J]. J Phys Ther Sci, 2013, 25(5):635—639.
- [20] 金冬梅, 燕铁斌, 谭杰文. 平衡测试仪的信度研究[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2002, (4):203—205.
- [21] 王盛, 杨菊, 朱奕, 等. 平衡反馈训练仪用于脑损伤偏瘫患者静态平衡测试的信度与效度研究[J]. 中国康复医学杂志, 2011, (11):1035—1038.
- [22] Hashemirad F, Talebian S, Hatf B, et al. The relationship between flexibility and EMG activity pattern of the erector spinae muscles during trunk flexion-extension[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2009, 19(5):746—753.
- [23] Jung K, Kim Y, Chung Y, et al. Weight-shift training improves trunk control, proprioception, and balance in patients with chronic hemiparetic stroke[J]. Tohoku J Exp Med, 2014, 232(3):195—199.
- [24] Cabanas-Valdes R, Cuchi GU, Bagur-Calafat C. Trunk training exercises approaches for improving trunk performance and functional sitting balance in patients with stroke: a systematic review[J]. NeuroRehabilitation, 2013, 33(4):575—592.