

·基础研究·

肥胖对男青年血流动力学运动反应影响的实验研究*

高峰¹ 崔文丽² 郝强³ 马宝玲¹ 张海峰¹ 何玉秀¹

摘要 目的:探究肥胖对血流动力学运动反应的影响,为肥胖相关心血管疾病的运动监控提供理论支持。方法:体重正常和肥胖男青年各10名,连续采集运动前后系统血流动力学指标(BP、HR、DP、SI、CI)和指端血流动力学参数(K'、VDF、VCF、PCII、VCTI)进行分析。结果:肥胖青年男性运动前的SBP、rHR和rPCII明显高于体重正常者;运动后eSI和eCI明显低于体重正常者;运动后eK'和ePCII明显高于体重正常者。相关分析表明,Fat%与rSBP、rHR、eSI、eCI、eK'和ePCII密切相关;系统血流动力学指标和指端血流动力学指标间的偏相关分析表明,rPCII与rHR、eK'和eCI、ePCII和eCI密切相关。结论:肥胖会引发青年男性运动前后指端血流动力学改变。运动前后系统血流动力学和指端血流动力学指标间具有相关性,提示指端容积血流搏波参数有望成为运动心血管机能监测的新指标。

关键词 肥胖;运动;血流动力学;光电容积描记法

中图分类号:R54, R614.2 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2008)-09-0824-04

The influence of obese on the hemodynamic responses to exercises in young men/GAO Feng, CUI Wenli, HAO Qiang, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2008, 23(9): 824—827

Abstract Objective: To examine the influence of obese on the hemodynamic responses to graded exercises. **Method:** To record and analyse the system and fingertip hemodynamic exercise responses parameters before and after graded exercises. **Result:** The parameters of rSBP, rHR and rPCII of obese group(OB) were significantly higher than that of normal weight group (NW) in pre-exercises stage; eSI and eCI of OB were significantly lower than that of NW, ePCII and eK' of OB were significantly higher than that of NW in post-exercise stage. Partial correlation analysis showed that Fat% with system and fingertip hemodynamic parameters existed significant correlations, rPCII and rHR, eK' were significantly correlated with eCI, ePCII and eCI. **Conclusion:** Before and after exercise system and fingertip hemodynamic parameters of obese young men existed significant correlations. Photoplethysmographic parameters seem to be promising for exercises cardiovascular monitoring in the future.

Author's address Physical Education College of Hebei Normal University, Shijiazhuang, 050016

Key words obese; exercises; hemodynamics; photoplethysmography

在血液循环中,血液流经动脉系统并进入外周血管中的微动脉、毛细血管和微静脉等微血管时,该部分微血管的血液容积在心脏的搏动下呈脉动性变化称为血流容积脉搏波,现多采用光电容积描记法(photoplethysmography, PPG)对脉搏波进行描记^[1-4]。血流容积脉搏波的变化可反映心搏功能、血液流动、外周血管和微循环等诸多心血管信息,是人体心血管系统血流动力学研究的重要组成部分。目前对PPG脉搏波生物信息的研究多集中在血氧饱和度测量^[5]、心血管功能检测^[6]、下肢静脉疾病检测^[7-8]和临床血流动力学监控方面^[9],关于肥胖对运动中指端PPG脉搏波运动变化与系统血流动力学变化关系的研究尚未见报道。血流动力学的改变是肥胖患者心脏结构和功能向病理性转归的重要环节,全面掌握肥胖患者运动血流动力学变化特征,对有效监控与肥胖相关的心血管疾病的发生与发展有积极防治意义。因此,本研究利用脉搏技术采集指端PPG脉搏波,采用指端容积脉搏曲线分析软件,从系统血流

力学反应和外周血流动力学反应的关系角度,探究肥胖对青年男性运动血流动力学的影响,为特殊人群运动心血管机能监控和防肥减肥、健身运动处方制定提供理论支持。

1 对象与方法

1.1 研究对象

通过最近1个月体力活动水平问卷调查(该问卷将体力活动水平从低到高分5级,每级评分依次为1—5分)、形态学测量、机能检测、身体成分检测(肥胖判定标准为Fat%>30%)和既往健康体检结

* 基金项目:河北省科技厅科技支撑项目(072761890);河北师范大学青年基金资助课题(L2005Q1)

1 河北师范大学体育学院,石家庄,050016

2 石家庄市中心医院

3 河北师范大学生命科学学院

作者简介:高峰,女,硕士,实验师

收稿日期:2008-01-28

果, 筛选无心血管病史及手指无畸形的健康男大学生 20 名, 基本情况见表 1。

表 1 被试基本情况比较 ($\bar{x} \pm s$)

	体重正常组 (n=10)	肥胖组 (n=10)
体力活动水平	1.5±0.5	1.6±0.6
年龄(岁)	22.2±1.1	21.6±1.3
身高(cm)	170.6±3.7	172.2±5.3
体重(kg)	67.2±8.3	94.7±12.7 ^①
身体质量指数(BMI)	22.1±2.2	32.2±3.7 ^①
腰臀比(WHR)	0.7±0.04	0.9±0.04 ^①
体脂百分比(Fat%)	16.0±6.2	33.9±3.1 ^①
体表面积(BSA)(m ²)	1.7±0.1	2.1±0.2 ^①

①与体重正常组比较 $P<0.001$

1.2 方法

1.2.1 测试程序: 首先对被试者进行测试流程培训, 使其熟悉测试环境和测试所用仪器, 随机安排测试时间和顺序; 测试前 24h 避免剧烈运动和含酒精、咖啡的饮料和食品; 测试前 1h 禁止进食、饮水; 正式运动方案测试时, 首先静坐于功率自行车至心率平稳后, 测量运动前血压, 检测运动前心血管功能状况; 然后开始运动, HC2180DCU 动态血流参数监测系统连续采集分析 PPG 脉搏波信号; 记录每个运动负荷末 RPE(主观劳累强度); 测定运动方案终止的即刻血压, 检测运动后即刻心血管功能。

1.2.2 中等强度递增运动负荷方案: 为采集到连续稳定的运动 PPG 脉搏波, 要求被试者在运动期间保持平稳呼吸、不要憋气和急促呼吸, 避免呼吸对血流容积脉搏波曲线干扰。本运动负荷方案在参考 ACSM 递增功率自行车运动方案^[10]基础上通过预试验设计为 3 级中等强度递增运动负荷, 第 1 级负荷 (0W/1min) 为热身负荷和 PPG 脉搏波信号采集调试阶段, 第 2 级负荷 75W/3min, 第 3 级负荷为 100W/3min, 踏车转速设定为 60r/min。

1.2.3 运动前后心血管功能检测: 被试安静坐于功率自行车上, 左臂与心脏位于同一高度测定左臂肱动脉血压, 右食指佩戴 HC2180DCU 动态血流参数监测系统的指夹式光电传感器, 输入被试者的身高、体重、血压、年龄等数据开始记录, 待 PPG 脉搏波形稳定后开始数据采集, 指端容积脉搏曲线分析软件对信号进行分析计算, 输出测试指标: 心率(HR)、心脏指数(CI)、心搏指数(SI)等反映人体系统血流动力学状况的指标; 该设备心血管功能检测指标(CI、CO、SI) 与金标准 Swan-Ganz 导管法进行效度检验具有极显著相关性^[11]。

1.2.4 动态血流参数监测: 调整最适车座高度; 右手无名指佩戴光电传感器, HC2180DCU 动态血流参数监测系统连续采集 PPG 脉搏波, 本研究设定每 10s 自动对 PPG 脉搏波形进行采集计算, 输出容积脉搏

波参数。通过确定所采集的人体 PPG 脉搏波波形曲线的起点和终点, 然后对波形进行分析, 确定单波个数, 从而计算出心率, 再对几个单波的数据做平均, 得到单波数据, 然后计算出容积脉搏波的波形系数 K' (K' 主要反映血流容积脉搏波形特征, K' 与血管的硬度和外周阻力成正相关), 通过对 K' 的分段转换推算出容积脉搏血流的平均容积^[12]。在此基础上, 导出其他反映的指端血流动力学特征的参数: 血管充盈分数 (vasodilatation fraction, VDF, 表示指端血管在心脏快速射血作用下血管的扩张能力)、血管回缩分数 (vasoconstriction fraction, VCF, 表示指端血管在心脏射血后的回缩能力)、脉搏波积分指数 (pulse contour integral index, PCII, 表示一个 PPG 脉搏波周期指端血流做功量)、血管回缩期指数 (vasoconstriction time index, VCTI, 反映指端组织灌注和血液回流过程的时相)。

1.3 统计学分析

采用 SPSS11.0 软件包对数据进行分析处理, 所有数据采用平均数±标准差, 组间血流动力学比较采用独立样本 t 检验; 采用双变量相关分析, 分析肥胖与血流动力学反应的相关性; 采用偏相关分析分析系统血流动力学反应和指端血流动力学反应相关性; 所有统计学检验, 显著性水平均设为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 肥胖对系统和指端血流动力学的影响

由于体脂的增加肥胖男性的心血管机能出现代偿性变化(表 2—3)。

表 2 运动前后系统血流动力学比较 ($\bar{x} \pm s$)

	体重正常组 (n=10)	肥胖组 (n=10)
运动前血流动力学状态		
rSBP(mmHg)	126.4±6.7	136.1±7.5 ^①
rDBP(mmHg)	80.4±9.4	81.8±8.7
rHR(bpm)	67.1±7.65	78.4±1.95 ^②
rDP(mmHg)	47±3.9	54.3±6.9
rSI(ml/beat·m ²)	49.3±9.3	42.4±4.9
rCI(L/min·m ²)	3.4±0.6	2.9±0.5
运动后血流动力学反应		
eSBP(mmHg)	173.0±12.4	170.3±10.3
eDBP(mmHg)	82.3±7.8	84.1±11.7
eHR(bpm)	163.2±20.1	156.8±8.17
最大心率百分数(HRmax%)	80±4	83±10
心率储备百分数(HRR%)	65±7	73±16
eDP(mmHg)	81.7±11.4	86.2±15.8
eSI(ml/beat·m ²)	64.6±4.9	52.3±6.9 ^②
eCI(L/min·m ²)	11.8±1.3	8.1±1.1 ^②

① $P<0.01$; ② $P<0.001$

2.2 肥胖与血流动力学相关分析

不同生理状态下 Fat% 与血流动力学指标间的相关分析(表 4), 显示体脂成分的变化与血流动力学存在相关性; 进一步对系统血流动力学指标和指端

表3 运动前后指端血流动力学比较 ($\bar{x} \pm s$)

	体重正常组(n=10)	肥胖组(n=10)
运动前血流动力学状态		
rK'	0.44±0.01	0.47±0.03
rPCII	0.57±0.15	0.74±0.11 ^①
rVDF	0.29±0.01	0.28±0.08
rVCF	0.71±0.01	0.71±0.08
rVCTI	0.71±0.01	0.71±0.07
中等强度递增运动负荷后血流动力学反应		
eK'	0.40±0.04	0.59±0.03 ^③
ePCII	0.30±0.38	0.34±0.35 ^②
eVDF	0.34±0.02	0.36±0.03
eVCF	0.66±0.02	0.64±0.03
eVCTI	0.69±0.02	0.64±0.07

VDF: 血管充盈分数; VCF: 血管回缩分数; PCII: 脉搏波积分指数; VCTI: 血管回缩期指数; ① $P<0.05$; ② $P<0.01$; ③ $P<0.001$

表4 肥胖与血流动力学相关分析

	SBP	DBP	DP	SI	CI	K'	PCII	VDF	VCF	VCTI	HR
运动前											
Fat%	0.65 ^①	0.04	0.47	-0.41	-0.33	0.25	0.43	-0.12	0.14	0.03	0.67 ^①
亚极量运动负荷后											
Fat%	0.08	0.24	0.27	-0.78 ^②	-0.84 ^②	0.79 ^②	0.63 ^①	0.47	-0.47	-0.54	0.12

① $P<0.05$; ② $P<0.01$

表5 系统血流动力学与指端血流动力学偏相关分析

	SBP	DBP	DP	SI	CI	HR
运动前 Pearson 相关系数						
rK'	0.05	-0.03	0.06	-0.031	-0.21	0.44
rPCII	0.19	-0.03	0.15	-0.09	-0.41	-0.67 ^②
rVDF	0.16	-0.25	0.072	0.19	0.070	-0.02
rVCF	0.16	0.25	0.064	0.18	0.075	0.00
rVCTI	-0.21	0.22	0.012	0.00	0.012	-0.14
运动前偏相关系数						
rK'	-0.02	0.08	-0.15	-0.14	-0.38	0.15
rPCII	-0.01	-0.07	-0.11	-0.31	-0.61 ^①	-0.14
rVDF	-0.26	0.15	0.15	0.03	-0.14	-0.10
rVCF	0.25	0.15	0.14	0.03	0.13	0.09
rVCTI	0.22	0.027	0.01	0.00	0.22	-0.26
亚极量运动负荷后 Pearson 相关系数						
eK'	0.25	0.29	0.22	-0.73 ^②	-0.84 ^②	0.12
ePCII	0.21	0.23	0.24	-0.59 ^②	-0.75 ^②	-0.21
eVDF	0.41	0.37	0.21	-0.35	-0.33	0.23
eVCF	-0.42	0.38	0.21	0.37	0.31	-0.19
eVCTI	-0.27	0.28	0.06	0.30	0.30	-0.35
亚极量运动负荷后偏相关系数						
eK'	0.26	0.38	-0.49	-0.53 ^①	0.03	0.23
ePCII	0.04	0.18	-0.21	-0.50 ^①	-0.07	0.20
eVDF	0.40	0.07	0.03	0.14	0.20	0.40
eVCF	0.41	0.07	0.01	0.11	-0.16	-0.41
eVCTI	0.10	0.35	0.23	0.35	0.34	-0.37

① $P<0.05$; ② $P<0.01$

者的心血管系统也会随之产生一系列适应性和代偿性变化; 循环血量和心输出量增加, 以满足机体的需要; 与心输出量增加相适应, 血管阻力增加以保持血压正常^[14-16]。肥胖患者以上血流动力学的改变, 可引起左心室肥大、加快动脉粥样硬化的形成、导致心律失常、增加血栓形成的危险性和引起一系列病理变化。

运动是改善肥胖导致的心血管异常的有效手段^[17-19], 微循环是人体血液循环系统的重要组成部分

血流动力学指标之间相关程度进行偏相关分析 (表5), 显示在剔除 Fat% 影响因素后, 系统血流动力学指标和指端血流动力学指标仍相关, 研究显示: 肥胖可以影响人体血流动力学状态, 指端血流动力学改变可作为评价机体血流动力学变化的指标。

3 讨论

肥胖是高血压、缺血性心脏病、冠心病等心血管疾病的重要危险因素^[13]。临床医学采用多普勒超声心动图仪、CT、运动心电图仪等手段的研究也充分证实, 随着脂肪的堆积、体重和年龄的增加, 肥胖患

分, 随年龄的增加, 人体微循环功能逐渐衰退, 但是体脂的增加会对青年男性运动前后末梢循环产生怎样的影响呢? 本研究采用 PPG 技术对不同体成分的青年男性运动前后指端血流动力学变化, 以及指端血流动力学与系统血流动力学相关性进行分析发现: 在运动前安静时, 肥胖者脂肪的过多积累对血流动力学的影响不仅表现为系统血流动力学指标 rSBP 和 rHR 显著高于体重正常者, 而且指端血流动力学参数 PCII 也显著高于体重正常者, 这说明肥胖已引发青年肥胖者血管外周阻力增大, 在安静状态下肥胖组心血管生理内负荷要高于体重正常组, 且这种差异在系统血流动力学和指端血流动力学特征上均有表现 (见表2和表3)。中等强度递增运动负荷后, 肥胖者脂肪的过多积累对运动后血流动力学的影响不仅表现为系统血流动力学指标 eSI 和 eCI 显著高于体重正常组 (见表2); 且指端血流动力学参数 eK' 和 ePCII 也显著高于体重正常者 (见表3)。不少研究证实^[14-15], 安静状态下肥胖者循环血容量、血浆容量显著高于血压水平类似的非肥胖对照者, 其心搏出量和心输出量的增加反映前负荷的增长和高血流动力学循环状态, 这说明由于体脂增加, 代谢需求旺盛, 肥胖者运动中需要更多的血液供应。因此在克服同样的外部运动负荷时, 肥胖组比体重正常组 eSI 和 eCI 高, 且反映一个 PPG 脉搏波周期指端血流做功量的 PCII 值也显著高于体重正常组; 同时 eK' 的增加也反映肥胖组血液循环的外周阻力大于体重正常组。大量临床研究发现, 心搏出量及心输出量与体重有显著性独立相关关系, 并与 BMI 值呈直线相

关。可见,在承担相同的外部运动负荷时,并且在内部运动负荷心率强度差异不显著时,肥胖者系统心血管负荷和外周心血管生理负荷均高于体重正常组。

既然运动前后肥胖青年男性不仅存在系统血流动力学指标之间的差异,而且指端血流动力学之间也存在差异。那么,肥胖到底与哪些血流动力学指标之间存在显著相关性呢?通过对运动前后 Fat%与血流动力学指标相关分析发现(见表 4):青年肥胖男性在安静状态时 Fat%与收缩压和心率显著相关;运动后 Fat%与 eSI、eCI、eK' 和 ePCII 显著相关。可见,要全面评价肥胖者的血流动力学状态,指端血流动力学指标是不可忽视的。但是哪些指端血流动力学指标和人体系统血流动力学指标之间存在紧密地联系呢?进一步对系统血流动力学与局部指端血流动力学偏相关分析研究结果表明(见表 5),在剔除血脂因素后 rPCII 和 rHR、eK' 与 eCI、ePCII 和 eCI 仍具有显著相关性。

以上研究显示,肥胖不但可以引发青年男性运动前后系统血流动力学改变,而且还可以导致运动前后指端血流动力学改变,且运动前后系统血流动力学和指端血流动力学指标间具有相关性。提示,肥胖可引发心血管耐力的下降,因此在青年男性肥胖者运动处方制定和运动心血管机能监测时,除借助借助心率和血压指标进行心血管机能评价外,指端血流动力学也是有效的监控指标。但是,我们在实际使用中,也发现 PPG 技术在运动血流动力学的监测中,当体位剧烈变动会引起 PPG 脉搏波描记曲线的漂移而产生 PPG 脉搏波描记伪差,影响 PPG 脉搏波参数计算的准确性。因此目前仅适用于功率自行车等上肢可以保持相对平稳的中等运动强度血流动力学的监控。虽然 PPG 技术具有以上应用的局限性,但 PPG 技术的测试简便和直观的优点又是其他血流动力学检测无法替代的特点。可以预见,随着 PPG 脉搏波伪差分析技术的不断发展和改进,基于 PPG 技术的指端容积血流脉搏波参数有望成为运动心血管机能监测的新指标。

参考文献

- [1] 罗志昌,张松,杨益民,等.微循环容积脉搏血流特征信息的研究[J].北京生物医学工程,2001,20(2):98—100.
- [2] 孟兆晖,白净,王苏中,等.高血压病人的光电容积脉搏波的频域分析[J].北京生物医学工程,2002,21(1):1—4.
- [3] Chellappan K, Zahed, E, Ali M. Effects of Physical Exercise on the Photoplethysmogram Waveform [Z]. Research and Development, SCORed 5th Student Conference, Malaysia, 2007.
- [4] 罗志昌,张松,杨益民.脉搏波的工程分析与临床应用[M].北京:科学出版社,2006. 139—143.
- [5] Aymen A, Ashraf MG, Ouda W, et al. Different Responses of Ear and Finger Pulse Oximeter Wave Form to Cold Pressor Test[J]. Anes. Analg, 2001, 92(66):1483—1486.
- [6] Allen J, Overbeck K, Stansby G, et al. Photoplethysmography assessments in cardiovascular disease[J]. Meas Cont, 2006, 39:80—83.
- [7] 李刚,李尚颖,林凌,等.基于动态光谱的脉搏血氧测量精度分析[J].光谱学与光谱分析,2006,26(10):1821—1824.
- [8] Ryszard J, Marek W, Dominika P, et al. Evaluation of venous pump in upper extremities by photoplethysmography [J]. International Journal of Angiology 2005, 22—25.
- [9] John Allen, Alan Murray. Age-related changes in the characteristics of the photoplethysmographic pulse shape at various body sites[J]. Physiol Meas, 2003, 24:297—307.
- [10] Heyward VH. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription[M]. Human Kinetics, 2002. 70—71.
- [11] 郝兴海,徐敏,郑慧萍,等.指端容积脉搏波曲线法与 Swan-Ganz 导管法心血管功能监测的临床对照研究[J].医疗装备,2005,18(7):6—8.
- [12] 杨益民,李旭雯,罗志昌,等.应用光电容积脉搏波法研制新型血流参数监护系统[J].中国医疗器械信息,2001,7(5):6—8.
- [13] 朱智明,吴宏超,宾建平,等.肥胖—21 世纪心血管系统疾病的主要危险因素[J].海军医学杂志,2000,21(2):176—179.
- [14] 张勤,吴桐,庄建军,等.肥胖对 2 型糖尿病患者左室舒张功能的影响[J].心血管康复医学杂志,2006,15(6):533—535.
- [15] 陈栋,杨宏,袁艳,等.利用通气阈控制男性肥胖高血压患者运动强度的研究[J].中国康复医学杂志,2007,22(5):426—438.
- [16] 许纲,丁树哲.有氧运动对高血压患者血管内皮功能的影响[J].中国康复医学杂志,2006,21(2): 190—192.
- [17] 李筱雯,艾华,张宝慧,等.肥胖者或超重者血脂联素和心血管危险因素在减体重后的变化[J].中国康复医学杂志,2006,21(2): 132—135.
- [18] 傅兰英,刘小学,王小引,等.超重与肥胖青少年减肥现状及干预效果研究[J].中国康复医学杂志,2007,22(1):65—66.
- [19] 梁崎,王于领,刘东红,等.运动血压反应与血流调控血管舒张功能的关系[J].中国康复医学杂志,2007,22(10): 888—892.