

· 基础研究 ·

运动血压反应与血流调控血管舒张功能的关系

梁 崎¹ 王于领¹ 刘东红² 甘晗靖³ 孙 冰² 王礼春² 麦炜颐² 马 虹^{2,4}

摘要 目的:探讨中年人群肱动脉血流调控血管舒张功能与单次极量运动和恢复期血压反应之间的关系。**方法:**健康中年志愿者 76 人,完成 1 次症状限制性运动平板试验及 1 次经体表高频超声检测肱动脉血流调控内皮依赖舒张功能(flow-mediated dilation, FMD)和非内皮依赖血管舒张功能(nitroglycerin-mediated dilation, NMD)的检测。按性别分为两组,分别将各个血压指标与 FMD、NMD 及各个可能的影响因素做 Pearson 相关,并通过多元逐步回归的方法,检测出运动高峰期和恢复早期血压的影响因子。**结果:**男性志愿者中,FMD 与运动前收缩压(SBP)、脉压(PP)、2 级运动的 SBP、平均动脉压(MAP)呈负相关,经过多元逐步回归分析,仅有运动前 SBP 为运动高峰期 SBP 的独立预测因子($P=0.008$),与运动后恢复期 1 分钟 SBP 相关的因子有运动前 SBP ($P<0.001$)及年龄($P=0.013$),分别解释恢复期 1min SBP 变化的 39.1%和 24.4%。女性志愿者中,FMD 与运动高峰期 SBP($P=0.047$),恢复期 1min SBP、PP、MAP 显著负相关 ($P=0.007, 0.016, 0.014$),经过多元逐步回归分析,运动前 SBP 是运动高峰期 SBP 的独立预测因子 ($P=0.003$),FMD($P=0.013$)为除运动前 SBP 外($P=0.004$)与恢复期 1min 的 SBP 相关的因子,分别解释恢复期 1min SBP 变化的 17.1%和 12.5%。**结论:**血管内皮舒张功能与运动血压反应有关,运动高峰期及恢复早期过高的 SBP 可能提示血管内皮功能不全,运动及恢复期血压检测有助于发现内皮功能不全的个体。

关键词 运动;血压;运动试验;血流调控血管舒张功能;内皮功能不全

中图分类号:R544, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2007)-10-0888-05

The relationship between flow-mediated dilation and blood pressure response to exercise/LIANG Qi, WANG Yuling, LIU Donghong, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2007, 22(10):888—892

Abstract Objective: To examine the relationship between endothelial vasodilator function and blood pressure response to exercise in mid-aged people. **Method:** Healthy subjects, 36 men and 40 women with mean age 49.6 ± 4.1 years performed syndrome-limited exercise test on treadmill. Blood pressure was measured with automatic BP instrument. Endothelial vasodilator function was assessed as brachial artery flow-mediated dilation during reactive hyperemia in another day. **Result:** Among men, flow-mediated dilation (FMD) correlate negatively with pre-exercise SBP, PP, 2-stage SBP and MAP. After step-by-step multifactor regression analysis, resting SBP was found to be the only independent predictable factor of peak exercise SBP ($P=0.008$). Resting SBP also explained 39.1% ($P<0.001$) of the variance in SBP at 1 minute after exercise and age explained additional 24.4% ($P=0.013$). Among women, flow-mediated dilation (FMD) significantly and correlate negatively with peak exercise SBP, and SBP, PP MAP at 1 minute after exercise. After step-by-step multifactor regression analysis, resting SBP was found to be the only dependent predictable factor of peak exercise SBP ($P=0.003$) and explained 17.1% of the variance in SBP at 1 minute after exercise ($P=0.004$) and FMD explained the additional 12.5% ($P=0.013$). **Conclusion:** We suggest that endothelial vasodilator function may contribute to blood pressure response to exercise. Exaggerated SBP at peak exercise and during early stage of recovery may imply endothelial dysfunction.

Author's address Dept. of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510080

Key words exercise; blood pressure; exercise treadmill test; flow-mediated dilation; endothelial dysfunction

既往的研究表明,运动及恢复期异常的血压增高与心血管疾病的发生危险性增加有关^[1],并且与炎症因子及颈动脉硬化密切相关^[2-3],提示其与血管内皮功能不全关系密切,并且可能是内皮功能不全的标志^[4]。但是目前关于血管内皮舒张功能和运动及恢复期血压变化之间的研究并不多。本研究的目的即在于探讨运动及恢复期血压变化的影响因素,了解肱动脉血流调控血管舒张功能(flow-

mediated dilation, FMD) 以及非内皮依赖血管舒张(nitroglycerin-mediated dilation, NMD) 是否与运动

1 中山大学附属第一医院康复医学科,广州,510080

2 中山大学附属第一医院心血管内科

3 深圳市人民医院超声科

4 通讯作者:马虹(广州中山大学附属第一医院心血管内科)

作者简介:梁崎,女,博士,主治医师

收稿日期:2007-04-17

血压反应相关, 进一步明确运动及恢复期血压变化的意义。

1 资料与方法

1.1 一般资料

在社会上募集健康中年志愿者, 经病史询问, 既往体检结果, 血压心率测量, 心电图, 空腹血糖检查, 血浆总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白和高密度脂蛋白测定, 排除患有明确心脑血管疾病、糖尿病、肝肾疾病、呼吸系统疾病、急性和慢性感染等患者, 血脂异常但无动脉粥样硬化表现者不剔除, 共入选志愿者 76 人, 男性 36 人, 女性 40 人。在进入研究之前, 均详细告知研究方法, 可能的危害, 在获得志愿者的书面同意后开始本研究。

志愿者平均年龄 49.6 ± 4.1 岁, 平均 BMI $22.9 \pm 2.3 \text{ kg/m}^2$ 。吸烟者 15 人, 均为男性, 女性志愿者中有 22 人未绝经, 18 人已绝经或已行子宫附件切除术, 血浆总胆固醇含量平均为 $5.15 \pm 0.94 \text{ mmol/L}$, 低密度脂蛋白 $1.29 \pm 0.71 \text{ mmol/L}$, 高密度脂蛋白 $1.16 \pm 0.34 \text{ mmol/L}$, 甘油三酯 $2.11 \pm 0.88 \text{ mmol/L}$ 。

1.2 运动平板试验

运动平板试验在 Marquette Case8000 (GE, USA) 运动心电检测系统中完成。血压测量采用专用的 Tango 运动血压测量仪 (SunTech, USA), 由程序控制自动检测。血压计袖带绑缚在右上臂, 下缘距离肘窝约 2—3cm, 听诊器放置于肱动脉搏动最强处。运动前记录一次立位心电图及立位血压, 运动全程监测心率和心电图变化, 每一级别末记录一次血压, 运动高峰期记录一次血压后终止运动。恢复期 1min 测量 1 次血压, 然后每 3min 测量 1 次, 共 3 次。所有志愿者均采用 Bruce 方案, 起始速度为 2.7 km/h , 坡度为 5%, 每 3min 为 1 级别, 均为症状限制性运动试验, 运动终止的指标为: 疲乏; 严重心绞痛; 外周灌注不足表现; 低血压; 严重心律失常等。观察 9min, 停止心电图和血压监测, 志愿者坐位休息 30min。

1.3 肱动脉血流调控内皮依赖舒张功能检测

经体表高频超声检测肱动脉血流调控 FMD 和非内皮依赖血管舒张功能 NMD 的检测由中山大学附属第一医院超声科心脏超声的固定的专门技术人员在另一日完成。

检测过程: 室温恒定为 $20-25^\circ\text{C}$, 受试者休息 10min 后平卧, 暴露右侧上臂及前臂, 肘窝上端包裹血压计袖带, 首先测量肱动脉内径, 之后袖带充气加压至 240 mmHg , 维持 4—5min, 迅速松开血压计皮球的阀门, 在 15s 至 120s 内记录肱动脉内径的搏动

变化, 10min 后舌下含服硝酸甘油 0.5 mg , 3—4min 后在同一位置测量肱动脉内径变化, 在血管变化稳定后, 再延长观测 5min。将松压后及投药后肱动脉内径的变化差值与肱动脉的基础内径比较, 计算出的百分数分别为 FMD 和 NMD, 计算公式如下:

$$\text{FMD} (\%) = (\text{松压后肱动脉内径} - \text{肱动脉的基础内径}) / \text{肱动脉的基础内径} \times 100\%$$

$$\text{NMD} (\%) = (\text{投药后肱动脉内径} - \text{肱动脉的基础内径}) / \text{肱动脉的基础内径} \times 100\%$$

1.4 统计学分析

正态分布的数值变量以均数 $\pm$ 标准差表示, 两组间均数比较采用 t 检验, 多因素的作用采用多元直线逐步回归, 两变量之间的相关关系采用 Pearson 相关分析。所有统计分析均使用 SPSS13.0 软件包完成, 以 $P < 0.05$ 为具有显著性差异。

2 结果

2.1 运动平板试验结果

所有志愿者均完成极量运动试验, 终止运动的原因均为疲劳, 运动时间平均为 $542 \pm 105 \text{ s}$, 完成运动的代谢当量水平为 $10.7 \pm 1.9 \text{ METs}$, 9 例志愿者出现无症状的缺血性 ST 段压低。

2.2 男女志愿者运动血压反应及血管舒张功能的比较

男性志愿者肱动脉基础内径值大于女性, FMD 及 NMD 均低于女性, 两组之间比较具非常显著性差异。男性志愿者中, 吸烟者和非吸烟者 FMD 分别为 7.93 ± 2.9 和 6.77 ± 1.7 , $P = 0.178$, 女性志愿者未绝经组和已绝经组比较, FMD 分别为 12.4 ± 4.1 和 10.1 ± 4.6 , $P = 0.136$ 。运动总时间男性比女性长, 运动前、2 级运动末、运动高峰期以及恢复期男性的 SBP、PP 和 MAP 均高于女性, DBP 水平两组相近。见表 1。

2.3 男性志愿者运动及恢复期血压与 FMD 及 NMD 的 Pearson 相关关系

男性志愿者中, FMD 与 NMD 呈正相关, $r = 0.374$, $P = 0.025$, FMD 与运动前 SBP ($r = -0.405$, $P = 0.014$)、PP ($r = -0.470$, $P = 0.004$) 2 级运动的 SBP ($r = -0.394$, $P = 0.017$) 及 MAP ($r = -0.383$, $P = 0.021$) 呈负相关, 与运动高峰期 SBP、MAP、PP 及恢复期 SBP、PP、MAP 以及每秒血压增加毫米汞柱数及 SBP 相对于运动前增加倍数均不相关 ($P > 0.05$)。NMD 与运动前 PP ($r = -0.350$, $P = 0.037$) 呈弱的负相关关系, 与其他血压变化指标均无相关关系。FMD 及 NMD 与运动前、运动中及恢复期的 DBP 均未显示相关关系。

表1 男女两组间FMD、NMD及运动血压变化情况的比较

	男性	女性	t	P
FMD(%)	7.74±2.82	11.13±4.38	-3.964	<0.001
NMD(%)	23.96±6.44	27.62±7.65	-2.245	0.028
肱动脉基础内径(mm)	4.03±0.37	3.11±0.42	-10.0	<0.001
运动总时间(s)	529.8±99.4	495.7±88.0	4.523	<0.001
运动前SBP(mmHg)	129.1±13.0	120.6±13.1	2.754	0.007
运动前PP(mmHg)	44.8±12.7	39.2±11.3	2.022	0.047
运动前MAP(mmHg)	92.7±8.0	87.7±8.3	2.693	0.009
2级运动SBP(mmHg)	173.8±21.1	159.3±25.1	2.593	0.011
2级运动PP(mmHg)	92.2±17.6	77.1±26.2	2.906	0.005
2级运动MAP(mmHg)	114.1±13.1	107.6±14.7	2.040	0.045
运动高峰期SBP(mmHg)	211.4±26.1	181.7±26.9	4.885	<0.001
运动高峰期PP(mmHg)	115.5±29.5	92.7±26.8	4.647	<0.001
运动高峰期MAP(mmHg)	137.7±15.6	120.5±16.6	3.540	0.001
恢复期1min SBP(mmHg)	188.1±32.1	164.8±29.4	3.291	0.002
恢复期1min PP(mmHg)	103.9±30.3	77.3±24.8	4.212	<0.001
恢复期1min MAP(mmHg)	122.1±18.5	111.6±18.7	2.452	0.017
恢复期4min SBP(mmHg)	144.7±20.0	129.3±16.9	3.648	0.000
恢复期4min PP(mmHg)	67.4±22.4	48.6±17.5	4.111	0.000
恢复期4min MAP(mmHg)	98.1±12.1	91.5±10.5	2.535	0.013

2.4 男性志愿者运动高峰期SBP及恢复期1min SBP影响因素的多元逐步回归分析

我们以运动前SBP、FMD、NMD、年龄、BMI、吸烟情况、运动总时间、血浆总胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白和甘油三酯浓度、心血管病家族史,以及运动诱发缺血性ST段改变等可能影响血管功能及运动血压变化的因素为自变量进行多元逐步回归分析,以确定影响男性运动高峰期SBP和恢复期1min SBP的因素。由于运动前PP反映动脉的僵硬程度,也可能影响运动血压变化,故也引入进行分析,但由于其与SBP高度相关($r=0.798$, $P<0.001$),故分别引入方程。

经过多元逐步回归分析,显示仅有运动前SBP为运动高峰期SBP的独立预测因素,其回归方程为:运动高峰期SBP=99+0.432×运动前SBP ($P=0.008$)。运动前PP与运动高峰期SBP无相关关系。与运动结束后恢复期1min SBP相关的因素有运动前SBP及年龄,其回归方程为:

恢复期1min SBP=-137.8+1.55×运动前SBP+2.52×年龄(P 分别为<0.001和0.013),标准化回归系数分别为0.625和0.322, R^2 分别为0.391和0.244,即恢复期1min SBP的变化,有39.1%由运动前SBP解释,另有24.4%由年龄解释。

2.5 女性志愿者运动及恢复期血压与FMD及NMD的Pearson相关关系

女性志愿者中,FMD与NMD呈正相关, $r=0.504$, $P=0.001$,FMD与运动前SBP、PP、MAP均不相关,与2级运动血压亦不相关,但是,FMD与运动高峰期SBP、MAP负相关($r=-0.316$, -0.313 , $P=0.047$, 0.050),与恢复期1min SBP、PP、MAP显著负

相关($r=-0.421$, -0.377 , -0.385 , $P=0.007$, 0.016 , 0.014)。与恢复期4min血压无相关关系,与每秒血压增加毫米汞柱数及SBP相对于运动前增加倍数均不相关。NMD与所有血压变化指标均无相关关系($P>0.05$)。FMD及NMD与运动前、运动中及恢复期的DBP均未显示出相关关系。

2.6 女性志愿者运动高峰期SBP及恢复期1min SBP影响因素的多元逐步回归分析

我们以运动前SBP、FMD、NMD、年龄、BMI、血浆总胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白和甘油三酯浓度、月经情况、运动总时间、心血管病家族史、运动诱发缺血性ST段改变等可能影响血管功能及运动血压变化的因素为自变量进行逐步多元回归分析,以确定影响女性运动高峰期SBP和恢复期1min SBP的因素。

经过多元逐步回归分析,在女性志愿者中,与男性相同,只有运动前SBP是运动高峰期SBP的独立预测因素,其回归方程为:运动高峰期SBP=66.6+0.464×运动前SBP(常数项和运动前SBP的 t 值分别为0.071和0.003), $R^2=0.216$,说明运动高峰期SBP的变化有21.6%可由运动前SBP的变化解释。

恢复期1min的SBP则与运动前SBP及FMD均相关,其回归方程为:恢复期1min SBP=79.2+0.928×运动前SBP-2.379×FMD($P=0.004$, 0.013),标准化的回归系数分别为0.414和-0.354, R^2 分别等于0.171($P=0.004$),和0.125($P=0.013$),即恢复期1min SBP的变化有17.1%由运动前SBP解释,而另有12.5%由FMD解释。女性FMD与恢复期1min SBP的相关关系见图1。

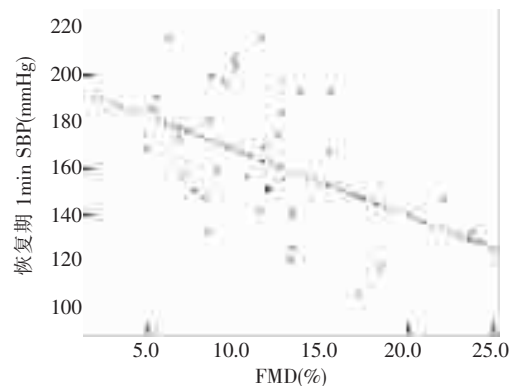


图1 女性FMD与恢复期1min SBP的相关关系

3 讨论

本研究探讨了中年健康人群运动及恢复期血压变化的影响因素。之所以按性别分别进行统计分析有以下原因:女性肱动脉基础内径小于男性,可能对FMD有影响;^[5]女性人群运动前、运动中及恢复期的

血压变化均明显低于男性; 女性患者中有部分为未绝经者, 男性则有部分为吸烟者, 这两个因素均是血管舒张功能的影响因素^[6-7], 而且研究结果也表明女性志愿者的 FMD 及 NMD 均优于男性。

研究结果显示, 无论男女, 运动高峰期 SBP 的唯一预测因素为运动前 SBP 水平。运动前 SBP 越高, 运动高峰期 SBP 越高。运动前 SBP 水平与血管内皮功能有关, 如血管内皮功能受损, 一氧化氮合成减少, 血管的张力增加即可出现血压升高^[8-9]。研究结果显示男性 FMD 与运动前的 SBP 呈负相关, FMD 越高运动前 SBP 越低。已有 Playnik 等的研究表明, 在健康的无心血管疾病的人群中, 随着 SBP 的升高, FMD 降低^[10]。虽然在逐步直线回归模型中, FMD 不是运动高峰期血压的影响因素, 但是由于 FMD 与运动前的 SBP 相关, 所以不能排除 FMD 可能对运动高峰期 SBP 变化产生的影响。已有研究表明, 在具有正常血压高值和轻度高血压的人群中, FMD 与运动高峰期 SBP 呈负相关, 并且在男性中, FMD 是运动 SBP 较运动前升高的差值的独立预测因素^[11]。我们的研究则证明了在血压正常的中年人群中, 无论男女, 运动前的 SBP 水平均是运动高峰期 SBP 的独立预测因素。

运动结束后, 肌肉泵的作用停止, 回心血量急剧下降, 心排出量也明显降低, 因此运动血压回落, 如恢复期血压仍维持在高峰期水平或甚至高于高峰期 SBP, 则说明外周血管阻力增加。既往有研究显示运动结束后恢复期收缩压升高或不能正常降低与高血压病、缺血性心脏病、心肌梗死和脑血管病的发病的危险性增加有关^[12-14], 也与冠心病严重程度相关^[15-16], 由于血管内皮功能与这些疾病密切相关, 因此恢复期 SBP 变化可能也与血管内皮功能不全有关。在本研究中, 运动前 SBP 是影响运动结束后恢复期 1min 时的 SBP 水平重要因素, 运动前 SBP 越高, 恢复期 1minSBP 越高。FMD 是除运动前 SBP 外的与恢复期 1minSBP 相关的独立因素, 提示内皮依赖性血管舒张功能下降可导致恢复期 1min 时的 SBP 升高。男性志愿者中, 多元逐步回归分析虽然将 FMD 排除在影响恢复期 1min SBP 变化的独立因素之外, 但由于其与运动前 SBP 高度相关, 而运动前 SBP 又是恢复期 1min SBP 的重要影响因素, 所以在中年男性恢复期 SBP 变化, 也不能排除与 FMD 有关。我们的研究还提示在中年男性组, 年龄也是恢复期 1min SBP 的影响因素, 在 40—60 岁的中年男性中, 年龄越大, 恢复期 SBP 越高, 提示在运动终止后外周血管阻力的水平与增龄密切相关, 可能的机制

为增龄导致的血管内皮功能减退及血管僵硬程度增加, 血管舒张能力下降, 导致血管不能缓冲左心室射血时升高的血压, 从而使 SBP 升高^[17]。

一般认为, DBP 主要反映外周血管阻力, 理应与 FMD 及 NMD 相关, 但在本研究中, 除恢复期 1min 的 DBP 与运动前 DBP 呈显著正相关外, 并未发现运动前、运动中及恢复期的 DBP 以及其与运动前 DBP 的差值和 FMD 及 NMD 的相关关系。国内有研究认为, 在高血压患者群中, 运动终止即刻的 DBP 与运动前的差值与 FMD 呈显著负相关, 但在该研究中, 无高血压的正常对照组 DBP 变化与 FMD 无关, 本研究结果与此一致^[18]。

NMD 为非内皮依赖的血管舒张, 反映了血管平滑肌的舒张能力, 在动脉硬化的多种危险因素存在的情况下, 血管平滑肌功能也可能受损, 亦可导致血管舒张功能障碍^[19], 可能也会影响到血压水平。但在本研究中, NMD 与各项血压指标均不相关, 可能与本研究人群为健康人群, 血管平滑肌功能良好, 不致出现限制血管舒张的情况有关。

在本研究中, 男性的 FMD 均值低于正常值 10%, 而女性高于 10%, 男性运动前、运动中和恢复期血压明显高于女性, 也提示 FMD 与血压之间的可能关系。影响 FMD 的因素除增龄外, 女性月经情况^[6]、吸烟与否^[7]及血脂异常^[20]均可能影响血管内皮功能。本研究中, 女性绝经和未绝经比较, FMD 的差异无显著性意义, 可能与样本量偏小有关, 多元逐步回归分析亦将月经情况剔除在运动及恢复早期血压的影响因素之外。男性志愿者吸烟者和非吸烟者的 FMD 差异亦无显著性差异, 可能也与样本量偏小有关, 另外多元逐步回归分析亦显示吸烟与否和运动及恢复早期血压变化无关。血浆高密度脂蛋白浓度和 FMD 呈正相关, $r=0.353$, $P=0.003$, 其余血脂各项与 FMD 及 NMD 之间无相关关系, 但未发现 HDL 与运动高峰期及恢复期血压变化存在相关关系, 原因可能为在该研究中志愿者的血脂水平变异程度小, 异常血脂的人数很少, 故在本研究中血脂的变化不足以影响运动血压的变化。

Pearson 相关分析显示男性的 FMD 更多地与运动前的 SBP 相关而女性 FMD 则与运动高峰期及恢复早期的 SBP 相关。我们推测这种差异的存在可能与女性的 FMD 优于男性有关, 过去的研究也表明, 女性大血管切应力诱导的舒张程度较年龄相当的男性明显^[21]。是否存在一种可能, 即内皮舒张功能受损早期可表现为血管对增加的切应力的反应性舒张能力下降, 从而出现运动和恢复期的血压升高, 当内皮

功能进一步受损则可表现为静息血管张力改变,导致休息时SBP上升?这一推测尚需进一步研究提供证据。

研究结果显示FMD与多项血压指标相关,但是,血压升高与内皮功能不全之间孰为因果却不能就此下结论。运动及恢复期血压升高,也反映了该个体在日常活动中的血压水平处于较高的水平,长时间较高水平的血压负荷可能会导致内皮功能损害,如最近的研究提示,始于青少年期的血压升高,可预测成年后的FMD的降低^[22]。本研究的意义在于,通过对中年人运动和恢复期血压的测量,可检出可能存在的血管内皮功能不全的个体,尽早地给予干预,从而降低心血管疾病的发生危险。

参考文献

- [1] Miyai N, Arita M, Miyashita K, et al. Blood pressure response to heart rate during exercise test and risk of future hypertension [J]. Hypertension, 2002, 39: 761—766.
- [2] Sae Y J, Bo Fernhall, Miyoun Lee, et al. exaggerated blood pressure response to exercise is associated with inflammatory Markers[J]. J Cardiopulm Rehabil, 2006, 26(3): 145—9.
- [3] Jae SY, Fernhall B, Heffernan KS, et al. Exaggerated blood pressure response to exercise is associated with carotid atherosclerosis in apparently healthy men [J]. Journal of Hypertension, 2006, 24(5): 881—887.
- [4] Tzemos N, Lim PO, MacDonald TM. Is exercise blood pressure a marker of vascular endothelial function [J]? Q J Med, 2002, 95: 423—429.
- [5] H.A. Silber, D.A. Bluemke, P. Ouyang, Y.P. Du, et al. The relationship between vascular wall shear stress and flow-mediated dilation: endothelial function assessed by phase-contrast magnetic resonance angiography[J]. J Am Coll Cardiol, 2001, 38: 1859—1865.
- [6] Neunteufl T, Heher S, Kostner K, et al. Contribution of nicotine to acute endothelial dysfunction in long-term smokers [J]. J Am Coll Cardiol, 2002, 39(2): 251—6.
- [7] Jensen-Urstad K, Johansson J. The effects of age and gender on brachial artery endothelium dependent vasoactivity are stimulus-dependent[J]. J Intern Med, 2001, 250(1): 29—36.
- [8] Haynes WG, Noon J P, Walker BR, et al. Inhibition of nitric oxide synthesis increases blood pressure in healthy humans[J]. J Hypertension, 1993, 11: 1375—1380.
- [9] Dirk JD, Rene S, Pim AL, et al. Nitric oxide contribute to the regulation of vasomotor tone but does not modulate O_2^- consumption in exercising swine [J]. Cardiovascular Research, 2000, 47: 738—748.
- [10] Plavnik FL, Ajzen SA, Christofalo DM, et al. endothelial function in normotensive and high normal hypertensive subjects[J]. J Hum Hypertens, 2007, 8(2): [Epub ahead of print]
- [11] Kerry JS, Jidong S, Harry AS, et al. Exaggerated exercise blood pressure is related to impaired endothelial vasodilator function [J]. American Journal of Hypertension, 2004, 17(4): 314—320.
- [12] Yosefy C, Jafari J, Klainman E, et al. The prognostic value of post-exercise blood pressure reduction in patients with hypertensive response during exercise stress test [J]. Int J Cardiol, 2005. [Epub ahead of print]
- [13] Laukkanen JA, Kurl S, Salonen R, et al. Systolic blood pressure during recovery from exercise and the risk of acute myocardial infarction in middle-aged men [J]. Hypertension, 2004, 44: 820—825.
- [14] Chaim Yosefy, Jamal Jafari, Eliezer Klainman, et al. The prognostic value of post-exercise blood pressure reduction in patients with hypertensive response during exercise stress test[J]. International Journal of Cardiology, 2006, 111(3): 352—357.
- [15] Mcham SA, Marwick TH, Pashkow FJ, et al. Delayed systolic blood pressure recovery after graded exercise: an independent correlate of angiographic coronary disease [J]. J Am Coll Cardiol, 1999, 34: 754—759.
- [16] Fukui M, Mori Y, Takehana K, et al. Assessment of coronary artery disease in hemodialysis patients with delayed systolic blood pressure response after exercise testing [J]. Blood Purif, 2005, 23: 466—72.
- [17] H. Mackey, K. Sutton-Tyrrell, P.V. Vaitkevicius, et al. Correlates of aortic stiffness in elderly individuals: a subgroup of the cardiovascular health study [J]. Am J Hypertens, 2002, 15: 16—23.
- [18] 杨兴义, 胡志刚, 赵勇, 等. 血管内皮功能于运动后血压反应相关性研究[J]. 临床心血管病杂志, 2005, 21(2): 76—78.
- [19] M.R. Adams J, Robinson R, McCredie JP, et al. Smooth muscle dysfunction occurs independently of impaired endothelium dependent dilation in adults at risk of atherosclerosis[J]. J Am Coll Cardiol, 1998, 32: 123—127.
- [20] Jeffrey T. Kuvin, Ayan R. Patel, Mandeep Sidhu, et al. Relation between high-density lipoprotein cholesterol and peripheral vasomotor function [J]. The American Journal of Cardiology, 2003, 92, (3): 275—279.
- [21] Levenson J, Pessana F, Garipey J, et al. Gender difference in wall shear-mediated brachial artery vasoconstriction and vasodilation[J]. J Am Coll Cardiol, 2001, 38(6): 1668—1674.
- [22] Uonala M, Viikari JS, Ronnema T, et al. Elevated blood pressure in adolescent boys predicts endothelial dysfunction: the cardiovascular risk in young Finns study [J]. Hypertension, 2006, 48(3): 424—30.