

# 桡动脉反射波增强指数与其他动脉硬化指标的关系

刘 严, 齐丽彤, 马 为, 杨 颖, 孟 磊, 张宝妮, 霍 勇<sup>△</sup>

(北京大学第一医院心血管内科, 北京 100034)

**[摘 要]** **目的:**探讨桡动脉反射波增强指数(augmentation index, AI)与其他动脉硬化无创检测指标之间的相关性。**方法:**选择2010年4~6月参加北京市石景山区两社区横断面调查者1752名,年龄23~90岁。采用无创检测设备分别测量AI、臂踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)、踝臂指数(ankle-brachial index, ABI)和颈动脉内-中膜厚度(intima-media thickness, IMT),分析指标之间的相关性。**结果:**baPWV $\geq$ 14 m/s、ABI $\leq$ 0.9和IMT $\geq$ 0.9 mm组的AI<sub>75</sub>(心率为75次/分钟时的标准校正值)与对照组相比差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。高血压病患者的baPWV显著高于健康对照组,老年高血压病合并糖尿病或(和)血脂异常者的ABI显著低于健康对照组,而AI<sub>75</sub>值在不同疾病组间差异无统计学意义。简单相关分析发现,AI<sub>75</sub>与女性、中心动脉收缩压、总胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白呈正相关,与体质量指数、腰臀比、甘油三酯、空腹血糖呈负相关,与年龄不相关( $r = 0.045$ ,  $P = 0.064$ )。AI<sub>75</sub>与ABI、IMT呈负相关,男性的AI<sub>75</sub>与baPWV呈正相关( $r = 0.101$ ,  $P = 0.005$ )。偏相关分析发现,AI<sub>75</sub>与ABI、baPWV、IMT呈负相关,女性和男性的AI<sub>75</sub>与baPWV、IMT呈负相关,与ABI不相关( $P > 0.05$ )。多因素逐步回归分析发现,AI<sub>75</sub>的独立正相关因素为女性、年龄、腰臀比、中心动脉收缩压,负相关因素为体质量指数、身高、空腹血糖( $R^2 = 0.372$ )。**结论:**桡动脉AI与动脉硬化指标缺乏相关性,评估动脉硬化程度尚缺乏敏感性和可靠性。

**[关键词]** 桡动脉;血管疾病;动脉粥样硬化;增强指数

**[中图分类号]** R543.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-167X(2013)06-0916-07

doi:10.3969/j.issn.1671-167X.2013.06.019

## Relationship between radial augmentation index and other indices for evaluating arteriosclerosis

LIU Yan, QI Li-tong, MA Wei, YANG Ying, MENG Lei, ZHANG Bao-wei, HUO Yong<sup>△</sup>  
(Department of Cardiovasology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China)

**ABSTRACT Objective:** To investigate the relationship between radial augmentation index (AI) and other noninvasive indices for evaluating arteriosclerosis. **Methods:** From April to June 2010, a cross-sectional survey was performed in two communities of Shijingshan District, Beijing, China. This study involved 1 752 subjects (aged 23 to 90 years). AI was measured using Colin pulse wave detection device HEM9000AI. Brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) and ankle-brachial index (ABI) were measured using Colin noninvasive arteriosclerosis tester VP-1000. Color Doppler flow imaging was used to measure intima-media thickness (IMT) of the bilateral carotid arteries. **Results:** Compared with the control group, baPWV $\geq$ 14 m/s, ABI $\leq$ 0.9 and IMT $\geq$ 0.9 mm groups showed no significant difference in AI<sub>75</sub> ( $P > 0.05$ ). Hypertensive individuals had significantly higher baPWV than the healthy group. Elderly hypertensive individuals with diabetes mellitus or (and) dyslipidemia had lower ABI than the control group. There was no significant difference of AI<sub>75</sub> between the disease groups and the healthy group ( $P > 0.05$ ). Pearson correlation analysis showed that AI<sub>75</sub> was associated with women, central aortic systolic pressure, total cholesterol, low-density lipoprotein, high-density lipoprotein, and inversely associated with body mass index, waist hip ratio, triglycerides, fasting serum glucose, and not associated with age ( $r = 0.045$ ,  $P = 0.064$ ). There was negative correlation between AI<sub>75</sub> and ABI, IMT. AI<sub>75</sub> was positively correlated with baPWV in the male group ( $r = 0.101$ ,  $P = 0.005$ ), but not correlated in the female group. Partial correlation analysis found that AI<sub>75</sub> was inversely associated with ABI, baPWV and IMT. There was negative correlation between AI<sub>75</sub> and baPWV, IMT in the female and male groups, and no correlation between AI<sub>75</sub> and ABI ( $P > 0.05$ ). Multivariate gradual regression analysis demonstrated

<sup>△</sup> Corresponding author's e-mail, drhuoyong@163.com

网络出版时间:2013-12-2 13:55:52 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4691.R.20131202.1355.007.html>

that the independent positive correlation factors of  $AI_{75}$  included female, age, waist hip ratio, central aortic systolic pressure, and the negative correlation factors were body mass index, height, fasting serum glucose ( $R^2 = 0.372$ ). **Conclusion:** The lack of correlation of radial augmentation index with indices for evaluating arteriosclerosis suggests that AI is not a sensitive and reliable index for evaluating the degree of arterial stiffness.

**KEY WORDS** Radial artery; Vascular diseases; Atherosclerosis; Augmentation index

我国心血管疾病的发病率呈逐年上升趋势,对公众健康造成巨大威胁。动脉硬化病变是心血管疾病的病理生理基础,早期发现并干预血管病变对于减少心血管疾病的发病率和死亡率至关重要。随着一些动脉硬化体外检测技术的出现,临床上已经开始应用无创性检测设备对人群进行早期筛查与检测,早期发现动脉结构与功能异常,有利于减少心血管疾病的发生。反射波增强指数 (augmentation index, AI) 是指动脉压力反射波高度除以整个收缩压力波高度的百分比,是一个反映大、小动脉弹性改变的指标,可间接反映动脉硬化的程度,是心血管事件的独立预测指标,但也有研究结果<sup>[1]</sup>与上述结论相悖。本研究通过分析 AI 和其他动脉硬化指标之间的相关性,探讨无创性检测桡动脉 AI 评估动脉硬化的可靠性和敏感性。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

来自一项 2010 年 4~6 月北京市石景山区古城社区和苹果园社区的人群横断面调查研究,样本数 5 116 人,从中筛选出资料完整且符合研究协议的受试者 1 752 名,男性 759 人,女性 993 人,年龄 23~90 岁。纳入标准:年龄大于 18 周岁,肢体无残疾。排除标准:(1)患有心肌病、心律失常、心脏瓣膜病、动脉闭塞症、心力衰竭等严重心血管疾病;(2)患有严重肝、肾疾病,呼吸衰竭;(3)恶性肿瘤患者;(4)认知障碍或精神病患者;(5)孕妇。所有研究对象均签署知情同意书。

### 1.2 一般项目

所有受试者接受问卷调查,采集基本信息、既往史及用药史,由专职人员测量身高(cm)、体重(kg)、腰围(cm)及臀围(cm),于静息状态下以水银血压计测量右上臂肱动脉血压,连续测量 3 次取平均值。受试者晨间抽取 5 mL 空腹静脉血,抽血后在 5 min 内饮入 300 mL 含 75 g 葡萄糖的糖水,饮糖水 2 h 后再次抽取静脉血,血样经离心后留取血清,由专职检验人员应用同一检测仪器集中完成检测。检测项目包括空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、餐后 2 小时血糖(2 hours plasma glucose, 2hPG)、总胆固醇

(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglycerides, TG)、低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)、高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL)。

### 1.3 观察指标

采用科林脉波检测装置 HEM-9000AI 检测 AI。受试者安静休息 15 min 后取坐位,通过固定于左侧腕部的 40 导高精密度传感器自动采集 30 s 桡动脉压力波形,同时用震荡法测量右上臂的血压,检测仪通过分析桡动脉压力波形自动得出 AI 和中心动脉收缩压(central aortic systolic pressure, cSBP),系统软件自动将 AI 换算为心率为 75 次/分钟时的标准校正值  $AI_{75}$ 。

采用科林动脉硬化诊断仪 VP-1000 检测臂踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)和踝臂指数(ankle-brachial index, ABI)。受试者安静休息 15 min 后取去枕仰卧位,双手手心向上置于身体两侧,将袖带固定在双侧上臂和脚踝部,检测仪自动探测四肢的脉搏波形,同步测量四肢血压,自动计算出 baPWV 和 ABI。

采用 GE 便携式高分辨率彩色多普勒超声仪测量内-中膜厚度(intima-media thickness, IMT)。受试者安静休息 15 min 后仰卧于诊察床上,充分暴露颈部,分别在双侧颈总动脉距颈动脉窦部 1 cm 内、颈动脉窦部、颈内动脉近段 1 cm 内前后壁各取 2 点测量 IMT,每个测量点分别测量 3 个心动周期,计算双侧颈动脉 IMT 检测值的平均值即为 IMT。

### 1.4 疾病诊断标准及分组

既往有高血压确诊史或 3 次肱动脉血压测量均为收缩压  $\geq 140$  mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) 和 (或)舒张压  $\geq 90$  mmHg 者,即诊断为高血压(根据《中国高血压防治指南 2010》<sup>[2]</sup>)。既往有糖尿病确诊史,或 FPG  $\geq 7.0$  mmol/L 或 2hPG (75g 葡萄糖 OGTT 试验)  $\geq 11.1$  mmol/L 者,即诊断为糖尿病(根据《中国 2 型糖尿病防治指南 2010》<sup>[3]</sup>)。TC  $\geq 5.18$  mmol/L (200 mg/dL), TG  $\geq 1.70$  mmol/L (130 mg/dL), HDL-C  $< 1.04$  mmol/L (40 mg/dL), LDL-C  $\geq 3.37$  mmol/L (130 mg/dL) 者,诊断为血脂异常(根据《中国成人血脂异常防治指南 2007》<sup>[4]</sup>)。

受试者根据性别分为男性组和女性组;根据年龄分为青年组(18~44岁)、中年组(45~59岁)、老年组(60~90岁);根据 baPWV 分为 baPWV ≥ 14 m/s 组和对照组 (baPWV < 14 m/s);根据 ABI 分为 ABI ≤ 0.9 组和对照组 (ABI > 0.9);根据最大 IMT 检测值分为 IMT ≥ 0.9 mm 组和对照组 (IMT < 0.9 mm)。根据所患疾病(包括高血压病、糖尿病、血脂异常)分为 A 组:健康对照组;B 组:高血压组,患高血压病,不伴有糖尿病和血脂异常;C 组:代谢异常组,患糖尿病或(和)血脂异常,不伴有高血压病;D 组:高血压伴代谢异常组,患高血压病,并伴有糖尿病或(和)血脂异常。

### 1.5 统计学分析

所有数据使用 EpiData 3.1 进行双平行数据录入,采用 SPSS 19.0 软件包进行统计分析。经正态性检验,主要研究指标 baPWV、ABI、AI、AI<sub>75</sub>、IMT、腰臀比(waist hip ratio, WHR)、体质量指数(body mass index, BMI)、TC 和 LDL 呈正态分布,年龄、TG、HDL、FPG 不呈正态分布。经以 10 为底的对数转换,TG 和 HDL 呈正态分布,年龄和 FPG 未能转换为正态分布。正态分布的计量资料以均值 ± 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,偏态分布的计量资料以中位数

(median, M)和四分位间距(interquartile range, IQR)表示。正态分布参数两组间均值比较采用独立样本 *t* 检验,偏态分布参数组间比较采用非参数检验的 Kruskal-Wallis *H* 检验。多组间均值比较采用方差分析,方差齐时用 *LSD* 检验,方差不齐时用 Tamhane's *T2* 检验,计数资料组间比较采用卡方检验。简单相关分析选用 Pearson 相关系数,偏相关分析在控制相关因素后分析参数之间的相关性。多因素分析以 AI<sub>75</sub> 为因变量,相关参数为自变量进行多元线性逐步回归分析,入选标准为 0.05,剔除标准为 0.10。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 研究对象的人口学资料

纳入研究对象 1 752 人,其中女性 993 人(56.7%),平均年龄 58(52~70)岁,高血压患者 929 人(53.0%),糖尿病患者 385 例(22.0%),血脂异常者 657 例(37.5%)。老年组有较高的高血压病和糖尿病患病率,且有较高的 WHR、LDL、FPG、cSBP、baPWV 和 IMT;中年组有较高的 BMI、TC、TG、AI<sub>75</sub>、ABI。血脂异常者所占百分比和 HDL 的组间差异无统计学意义(*P* = 0.114, 0.057, 表 1)。

表 1 各年龄组研究对象的人口学资料和临床特征  
Table 1 General demographic and clinics characteristics in age groups

| Items                                     | Youth (n = 126)   | Middle-aged (n = 862) | Elderly (n = 764) | <i>P</i> |
|---|-------------------|-----------------------|-------------------|----------|
| Gender                                    |                   |                       |                   |          |
| Female                                    | 81 (64.3%)        | 518 (62.8%)           | 394 (51.6%)       | <0.001   |
| Male                                      | 45 (35.7%)        | 344 (37.2%)           | 370 (48.4%)       | <0.001   |
| Age/years, M (IQR)                        | 41 (32, 44)       | 53 (50, 57)           | 71 (67, 75)       |          |
| Hypertension                              | 23 (18.3%)        | 385 (44.7%)           | 521 (67.9%)       | <0.001   |
| Hyperlipidemia                            | 39 (31.0%)        | 341 (39.6%)           | 277 (37.5%)       | 0.114    |
| Diabetes                                  | 4 (3.2%)          | 138 (16.0%)           | 243 (31.8%)       | <0.001   |
| BMI/(kg/m <sup>2</sup> ), $\bar{x} \pm s$ | 24.37 ± 4.38      | 25.38 ± 3.59          | 25.14 ± 3.44      | 0.012    |
| WHR, $\bar{x} \pm s$                      | 0.84 ± 0.08       | 0.87 ± 0.06           | 0.90 ± 0.07       | <0.001   |
| TC/(mmol/L), $\bar{x} \pm s$              | 4.61 ± 0.77       | 5.07 ± 0.92           | 4.99 ± 1.03       | 0.009    |
| HDL/(mmol/L), M (IQR)                     | 1.20 (1.05, 1.41) | 1.27 (1.09, 1.47)     | 1.26 (1.09, 1.46) | 0.057    |
| LDL/(mmol/L), $\bar{x} \pm s$             | 2.59 ± 0.69       | 2.95 ± 0.85           | 2.96 ± 0.84       | 0.008    |
| TG/(mmol/L), M (IQR)                      | 1.22 (0.85, 1.89) | 1.48 (0.98, 2.13)     | 1.29 (0.97, 1.95) | 0.004    |
| FPG/(mmol/L), M (IQR)                     | 4.81 (4.49, 5.15) | 5.14 (4.78, 5.70)     | 5.44 (5.03, 6.28) | 0.006    |
| cSBP/mmHg, $\bar{x} \pm s$                | 123.23 ± 15.43    | 132.68 ± 17.27        | 138.10 ± 19.18    | <0.001   |
| AI <sub>75</sub> /%, $\bar{x} \pm s$      | 78.52 ± 11.64     | 83.03 ± 11.24         | 81.78 ± 10.88     | <0.001   |
| baPWV/(m/s), $\bar{x} \pm s$              | 12.74 ± 1.88      | 14.91 ± 2.61          | 18.95 ± 3.69      | <0.001   |
| ABI, $\bar{x} \pm s$                      | 1.11 ± 0.09       | 1.15 ± 0.10           | 1.14 ± 0.13       | 0.009    |
| IMT/mm, $\bar{x} \pm s$                   | 0.40 ± 0.11       | 0.56 ± 0.13           | 0.70 ± 0.12       | <0.001   |

BMI, body mass index; WHR, waist hip ratio; TC, total cholesterol; HDL, high-density lipoprotein; LDL, low-density lipoprotein; TG, triglyceride; FPG, fasting plasma glucose; cSBP, central aortic systolic pressure; AI<sub>75</sub>, augmentation index (heart rate 75 beats per minute); ABI, ankle-brachial index; baPWV, brachial-ankle pulse wave velocity; IMT, intima-media thickness; M, median; IQR, interquartile range. 1 mmHg = 0.133 kPa.

## 2.2 动脉硬化指标分层组间 $AI_{75}$ 的比较

在男性和女性各年龄组,  $baPWV \geq 14$  m/s 组的  $AI_{75}$  均高于对照组, 但组间差异无统计学意义

( $P > 0.05$ ),  $ABI \leq 0.9$  和  $IMT \geq 0.9$  mm 组的  $AI_{75}$  与对照组相比差异亦无统计学意义 ( $P > 0.05$ , 表 2)。

表 2  $baPWV$ 、 $ABI$ 、 $IMT$  异常组与对照组的  $AI_{75}$  比较

Table 2 Comparison of  $AI_{75}$  between  $baPWV \geq 14$  m/s,  $ABI \leq 0.9$ ,  $IMT \geq 0.9$  mm and control group

| Items                     | baPWV             |                   |          | ABI               |                   |          | IMT               |                   |          |
|---------------------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|-------------------|----------|
|                           | $\geq 14$ m/s     | Control (<14 m/s) | <i>P</i> | $\leq 0.9$        | Control (>0.9)    | <i>P</i> | $\geq 0.9$ mm     | Control (<0.9 mm) | <i>P</i> |
| Female/%, $\bar{x} \pm s$ |                   |                   |          |                   |                   |          |                   |                   |          |
| Youth                     | 84.05 $\pm$ 6.73  | 82.84 $\pm$ 10.57 | 0.532    | 78.25 $\pm$ 7.46  | 83.32 $\pm$ 9.90  | 0.316    | 87.31 $\pm$ 7.01  | 82.44 $\pm$ 10.08 | 0.103    |
| Middle-aged               | 87.08 $\pm$ 8.99  | 86.88 $\pm$ 10.34 | 0.817    | 85.00 $\pm$ 6.12  | 87.02 $\pm$ 9.64  | 0.557    | 87.77 $\pm$ 10.42 | 86.53 $\pm$ 9.05  | 0.177    |
| Elderly                   | 85.09 $\pm$ 9.63  | 82.07 $\pm$ 15.60 | 0.247    | 87.59 $\pm$ 11.22 | 84.78 $\pm$ 9.80  | 0.162    | 84.40 $\pm$ 10.08 | 85.86 $\pm$ 9.61  | 0.154    |
| Male/%, $\bar{x} \pm s$   |                   |                   |          |                   |                   |          |                   |                   |          |
| Youth                     | 73.84 $\pm$ 9.52  | 70.15 $\pm$ 12.26 | 0.231    | 67.00 $\pm$ 8.72  | 71.02 $\pm$ 11.17 | 0.658    | 75.59 $\pm$ 9.43  | 70.14 $\pm$ 11.50 | 0.098    |
| Middle-aged               | 77.30 $\pm$ 10.60 | 77.02 $\pm$ 11.13 | 0.843    | 74.00 $\pm$ 14.49 | 77.17 $\pm$ 10.90 | 0.454    | 77.02 $\pm$ 11.63 | 77.22 $\pm$ 9.98  | 0.873    |
| Elderly                   | 78.42 $\pm$ 10.94 | 77.57 $\pm$ 9.32  | 0.729    | 81.68 $\pm$ 10.62 | 78.11 $\pm$ 10.83 | 0.085    | 78.43 $\pm$ 11.12 | 78.26 $\pm$ 10.29 | 0.892    |

$AI_{75}$ , augmentation index (heart rate 75 beats per minute);  $ABI$ , ankle-brachial index;  $baPWV$ , brachial-ankle pulse wave velocity;  $IMT$ , intima-media thickness.

## 2.3 疾病分层组间 $AI_{75}$ 和其他动脉硬化指标的比较

疾病分层各组的  $AI_{75}$  组间差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。  $baPWV$  在 B 组和 D 组显著高于 A 组, 在 C 组中仅中年女性者的  $baPWV$  显著高于 A 组。  $ABI$  在 C 组老年男性和女性显著低于 A 组。 女性的  $IMT$  在 B 组、C 组青年者、D 组中年和老年者显著高于 A 组, B、C、D 组中年男性的  $IMT$  均显著高于 A 组。 其余组间差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ , 表 3)。

## 2.4 $AI_{75}$ 与各参数及动脉硬化指标的相关性

$AI_{75}$  与各参数之间简单相关分析表明,  $AI_{75}$  与女性、 $cSBP$ 、 $TC$ 、 $LDL$ 、 $HDL$  呈正相关, 与  $BMI$ 、 $WHR$ 、 $TG$ 、 $FPG$  呈负相关, 与年龄不相关 ( $r = 0.045$ ,  $P = 0.064$ , 表 4)。

$AI_{75}$  与其他动脉硬化指标之间简单相关分析表明,  $AI_{75}$  与  $ABI$ 、 $IMT$  之间呈负相关, 在男性组与  $baPWV$  呈正相关 ( $r = 0.101$ ,  $P = 0.005$ ), 在女性组  $AI_{75}$  与  $ABI$ 、 $IMT$  和  $baPWV$  均不相关。 在控制年龄、 $BMI$ 、 $WHR$ 、 $cSBP$ 、 $TC$ 、 $TG$ 、 $LDL$ 、 $HDL$ 、 $FPG$  后进行偏相关分析,  $AI_{75}$  与  $ABI$ 、 $IMT$  和  $baPWV$  均呈负相关, 女性和男性的  $AI_{75}$  与  $baPWV$ 、 $IMT$  呈负相关, 与  $ABI$  不相关 ( $P > 0.05$ , 表 5)。

## 2.5 $AI_{75}$ 的多因素逐步回归分析

以  $AI_{75}$  为因变量, 性别、年龄、身高、 $BMI$ 、 $WHR$ 、 $cSBP$ 、 $FPG$ 、 $TC$ 、 $\lg(TG)$ 、 $LDL$  和  $\lg(HDL)$  为自变量进行多因素逐步回归分析,  $AI_{75}$  的独立正相关因素为女性、年龄、 $WHR$ 、 $cSBP$ , 负相关因素为  $BMI$ 、身

高、 $FPG$  ( $R^2 = 0.372$ ), 见表 6。

## 3 讨论

动脉硬化病变是心血管疾病的病理生理基础, 包括管壁病变与管腔病变, 早期检测动脉功能是降低心血管疾病致死率和致残率的重要措施。 侵入性血管功能检查对于动脉硬化病变具有良好的预测作用, 但由于其操作复杂、有创性、价格昂贵及并发症多等原因, 目前临床上主要应用于心血管疾病的诊断。 无创性动脉硬化检测简单、易操作、无创且比较经济, 常用的检测指标包括  $PWV$ 、 $AI$ 、 $ABI$ 、 $IMT$ , 在高危人群中进行无创性动脉硬化指标的筛查, 对于心血管疾病的早期筛查和防治具有重要意义。

$IMT$  和  $ABI$  是无创动脉结构功能的检测指标。 应用彩色多普勒超声仪探测双侧颈动脉血管壁结构, 可检测出颈动脉管壁的内膜中层厚度和粥样斑块形成情况。  $IMT$  作为筛查亚临床颈动脉硬化的指标, 可评估全身动脉系统硬化程度, 预测心血管危险水平<sup>[5]</sup>。 由于  $IMT$  和心、脑血管粥样硬化病变密切相关, 对于心血管风险具有较好的预测作用, 研究者们越来越多地采用  $IMT$  作为心血管临床试验的中间终点或替代终点。  $ABI$  为踝部动脉收缩压和双侧上臂肱动脉收缩压的最高值之比, 可反映下肢剩余血流量占正常状态的百分比, 临床上可作为判断动脉硬化引起的动脉狭窄、阻塞的指标, 对于诊断外周动脉疾病, 特别是下肢动脉疾病, 具有较高的敏感性和特异性<sup>[6]</sup>。

表 3 各疾病组与健康对照组的 AI<sub>75</sub>、baPWV、ABI 比较  
Table 3 Comparison of AI<sub>75</sub>, baPWV, ABI between illness group and control group

| Items                                | Group A (Healthy) | Group B        | Group C        | Group D        | P      |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| AI <sub>75</sub> /%, $\bar{x} \pm s$ |                   |                |                |                |        |
| Female                               |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 82.86 ± 10.40     | 85.17 ± 8.28   | 83.37 ± 9.17   | 76.50 ± 0.71   | 0.686  |
| Middle-aged                          | 87.49 ± 10.05     | 87.17 ± 9.34   | 87.04 ± 9.44   | 85.56 ± 8.88   | 0.452  |
| Elderly                              | 86.78 ± 9.64      | 85.02 ± 9.31   | 85.45 ± 11.42  | 84.10 ± 9.70   | 0.309  |
| Male                                 |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 70.06 ± 11.45     | 71.28 ± 12.47  | 71.63 ± 11.92  | 75.90 ± 8.01   | 0.634  |
| Middle-aged                          | 79.36 ± 13.26     | 77.54 ± 8.84   | 76.14 ± 10.65  | 76.25 ± 10.67  | 0.221  |
| Elderly                              | 76.38 ± 9.17      | 77.68 ± 11.88  | 76.87 ± 10.65  | 79.99 ± 10.54  | 0.083  |
| baPWV/(m/s), $\bar{x} \pm s$         |                   |                |                |                |        |
| Female                               |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 11.84 ± 1.43      | 15.48 ± 2.58 * | 12.81 ± 2.09   | 13.97 ± 2.65 * | <0.001 |
| Middle-aged                          | 13.44 ± 1.68      | 15.65 ± 2.23 * | 14.15 ± 2.01 * | 16.52 ± 3.67 * | <0.001 |
| Elderly                              | 17.35 ± 3.33      | 19.80 ± 3.89 * | 17.39 ± 2.88   | 19.54 ± 3.48 * | <0.001 |
| Male                                 |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 13.05 ± 1.49      | 15.14 ± 1.35 * | 13.31 ± 1.18   | 14.81 ± 1.87 * | 0.008  |
| Middle-aged                          | 14.22 ± 1.85      | 15.96 ± 2.61 * | 14.53 ± 2.08   | 16.41 ± 2.57 * | <0.001 |
| Elderly                              | 17.49 ± 3.48      | 19.79 ± 3.41 * | 17.85 ± 3.74   | 19.29 ± 3.90 * | <0.001 |
| ABI, $\bar{x} \pm s$                 |                   |                |                |                |        |
| Female                               |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 1.13 ± 0.09       | 1.15 ± 0.11    | 1.12 ± 0.13    | 1.12 ± 0.13    | 0.382  |
| Middle-aged                          | 1.13 ± 0.08       | 1.16 ± 0.09 *  | 1.12 ± 0.08    | 1.14 ± 0.10    | 0.007  |
| Elderly                              | 1.09 ± 0.07       | 1.15 ± 0.09 *  | 1.12 ± 0.09    | 0.85 ± 0.16 *  | <0.001 |
| Male                                 |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 1.13 ± 0.11       | 1.19 ± 0.06    | 1.12 ± 0.06    | 1.14 ± 0.06    | 0.264  |
| Middle-aged                          | 1.15 ± 0.09       | 1.20 ± 0.11 *  | 1.14 ± 0.11    | 1.18 ± 0.10    | 0.008  |
| Elderly                              | 1.20 ± 0.09       | 1.18 ± 0.11    | 1.16 ± 0.11    | 1.12 ± 0.16 *  | <0.001 |
| IMT/mm, $\bar{x} \pm s$              |                   |                |                |                |        |
| Female                               |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 0.36 ± 0.08       | 0.46 ± 0.07 *  | 0.44 ± 0.12 *  | 0.45 ± 0.31    | 0.006  |
| Middle-aged                          | 0.51 ± 0.11       | 0.56 ± 0.13 *  | 0.52 ± 0.12    | 0.59 ± 0.14 *  | <0.001 |
| Elderly                              | 0.60 ± 0.12       | 0.67 ± 0.11 *  | 0.63 ± 0.13    | 0.69 ± 0.12 *  | <0.001 |
| Male                                 |                   |                |                |                |        |
| Youth                                | 0.43 ± 0.13       | 0.48 ± 0.07    | 0.43 ± 0.12    | 0.55 ± 0.12    | 0.053  |
| Middle-aged                          | 0.54 ± 0.12       | 0.60 ± 0.12 *  | 0.59 ± 0.13 *  | 0.61 ± 0.12 *  | 0.012  |
| Elderly                              | 0.71 ± 0.11       | 0.75 ± 0.11    | 0.70 ± 0.12    | 0.73 ± 0.11    | 0.067  |

AI<sub>75</sub>, augmentation index (heart rate 75 beats per minute); ABI, ankle-brachial index; baPWV, brachial-ankle pulse wave velocity; IMT, intima-media thickness. \* P < 0.05, compared with group A. Group A, healthy; Group B, hypertension; Group C, diabetes or (and) dyslipidemia; Group D, hypertension with diabetes or (and) dyslipidemia.

PWV 和 AI 是无创动脉弹性功能的检测指标, 无创性检测仪通过探测获取动脉脉搏波, 经过分析而获取 PWV 和 AI, 以判断动脉僵硬及动脉弹性水平。PWV 是指脉搏波在动脉系统中传导的速度, 可通过无创性脉搏波速度自动测定仪测量两个压力探头之间的距离, 以及探头在血管上记录的两个脉搏波间的时间差而自动计算获得。PWV 的大小受血管弹性、管壁厚度和血液浓度等因素的影响。当大动脉僵硬增加、顺应性下降时, 脉搏波被血管壁吸收减少, PWV 即增快。PWV 被公认为评价大动

脉僵硬度的早期敏感指标, 是预测心血管事件死亡率的独立影响因素<sup>[7]</sup>。本研究中采用 baPWV, 两个压力传感器定位在上臂和踝部, baPWV 可反映大动脉和中动脉系统的弹性状态。研究表明, baPWV 显著升高, 提示存在早期动脉硬度改变。baPWV 与 IMT 呈正相关, baPWV 可作为评估早期动脉硬度有效且简便易行的指标<sup>[8]</sup>。心脏收缩时血流产生的压力波由心脏向外周传递, 在阻力小动脉受到阻碍产生的逆向反射波, 前向波与反射波在收缩晚期或舒张早期重叠产生融合波。AI 主要反映压力反射

波对动脉压力波的增强作用,也可反映中心动脉压和外周动脉压的差异。AI 增大提示动脉早期损害,可预测不良心血管事件发生风险及死亡风险。

表 4 AI<sub>75</sub>与各参数的简单相关分析(Pearson 相关系数)

Table 4 Correlation between AI<sub>75</sub> and parameters (Pearson correlation)

| Items  | Pearson correlation |        |
|--------|---------------------|--------|
|        | r value             | P      |
| Age    | 0.056               | 0.035  |
| Female | 0.375               | <0.001 |
| BMI    | -0.125              | <0.001 |
| WHR    | -0.114              | <0.001 |
| cSBP   | 0.325               | <0.001 |
| TC     | 0.068               | 0.009  |
| TG*    | -0.054              | 0.024  |
| LDL    | 0.052               | 0.027  |
| HDL*   | 0.118               | <0.001 |
| FPG    | -0.056              | 0.024  |

AI<sub>75</sub>, augmentation index (heart rate 75 beats per minute); BMI, body mass index; WHR, waist hip ratio; cSBP, central aortic systolic pressure; TC, total cholesterol; TG, triglyceride; LDL, low-density lipoprotein; HDL, high-density lipoprotein; FPG, fasting plasma glucose. \* Correlation analysis after logarithmic transformation.

表 5 AI<sub>75</sub>与动脉硬化指标的关系

Table 5 Correlation between AI<sub>75</sub> and arterial stiffness index

| Items  | Pearson correlation |        | Partial correlation* |        |
|--------|---------------------|--------|----------------------|--------|
|        | r value             | P      | r value              | P      |
| Total  |                     |        |                      |        |
| ABI    | -0.095              | <0.001 | -0.121               | <0.001 |
| baPWV  | -0.007              | 0.769  | -0.218               | <0.001 |
| IMT    | -0.078              | 0.003  | -0.172               | <0.001 |
| Male   |                     |        |                      |        |
| ABI    | -0.066              | 0.070  | -0.072               | 0.077  |
| baPWV  | 0.101               | 0.005  | -0.177               | <0.001 |
| IMT    | 0.066               | 0.103  | -0.093               | 0.023  |
| Female |                     |        |                      |        |
| ABI    | -0.034              | 0.282  | -0.068               | 0.054  |
| baPWV  | -0.006              | 0.858  | -0.239               | <0.001 |
| IMT    | -0.020              | 0.562  | -0.111               | 0.002  |

AI<sub>75</sub>, augmentation index (heart rate 75 beats per minute); ABI, ankle-brachial index; baPWV, brachial-ankle pulse wave velocity; IMT, intercellular membrane thickness. \* Adjusted for factors including age, body mass index, waist hip ratio, central aortic systolic pressure, total cholesterol, low-density lipoprotein, fasting plasma glucose, the logarithm of triglyceride and high-density lipoprotein.

表 6 AI<sub>75</sub>的多元逐步回归分析

Table 6 Multiple regression analysis of AI<sub>75</sub>

| Independent variable into regression equation | Standard coefficient $\beta$ | t      | P      |
|---|------------------------------|--------|--------|
| Female  | 0.227                        | 7.829  | <0.001 |
| Age   | 0.048                        | 1.870  | 0.058  |
| BMI   | -0.112                       | -5.317 | <0.001 |
| WHR   | 0.054                        | 2.316  | 0.021  |
| cSBP  | 0.615                        | 21.711 | <0.001 |
| FPG   | -0.040                       | -2.034 | 0.042  |
| Height  | -0.210                       | -7.327 | <0.001 |

AI<sub>75</sub>, augmentation index (heart rate 75 beats per minute); BMI, body mass index; WHR, waist hip ratio; cSBP, central aortic systolic pressure; FPG, fasting plasma glucose.

理论上, PWV 增快时反射波幅度增大,而相应

升高 AI,但实际上 PWV 反映的主要是大动脉僵硬,而 AI 不但受到大动脉的影响,小动脉弹性改变也会造成影响,因而导致 AI 和 PWV 不具有相关性<sup>[9]</sup>。本研究也发现 AI 与 baPWV 相关性较差,baPWV  $\geq 14$  m/s 组的 AI<sub>75</sub> 值与对照组间差异无统计学意义。简单相关分析结果显示,在男性组 AI<sub>75</sub> 与 baPWV 之间相关性较弱,而女性组二者之间无相关性。在控制相关变量后, AI<sub>75</sub> 与 baPWV 之间竟呈负相关。IMT 增厚、ABI 减小都反映动脉壁结构的改变,具有早期评估动脉硬化的意义。动脉壁结构改变引起的血管弹性下降、动脉狭窄等变化,由于增加了脉搏波传导速度,理论上可导致 AI 升高<sup>[10]</sup>。本研究中 IMT  $\geq 0.9$  mm 组和 ABI  $\leq 0.9$  组的 AI<sub>75</sub> 与对照组间的差异无统计学意义,简单相关分析结果表明 AI<sub>75</sub> 与 IMT、ABI 无相关性。本研究结果发现,在流行性调查中,桡动脉 AI 与这些公认的动脉硬化可靠指标缺乏相关性,外周动脉 AI 不宜作为筛查动脉硬化病变的可靠指标。国内外许多研究也得出了类似的结果。造成这种结果的原因可能是由于 AI 的影响因素较多,包括性别、cSBP、BMI、WHR 等,多种因素的混杂作用导致 AI 不能准确反映动脉弹性功能。另外,通过无创方法检测桡动脉压力波,并通过固定的函数公式换算出的 AI 难免会存在一些偏差,而造成在评估动脉硬化程度方面尚缺乏敏感性和可靠性,而且中心动脉 AI 是否能敏感地反映动脉弹性功能变化也需要进一步探讨。Katsuda 等<sup>[11]</sup> 比较了健康兔和不同年龄的高胆固醇血症兔的中心动脉 AI,结果发现高胆固醇血症导致动脉粥样硬化对动脉管壁的影响并没有改变 AI 值,这可能是由于动脉硬化部分降低了血管壁的扩展性。

本研究中比较疾病组和健康对照组之间动脉硬化指标的差异,结果发现高血压病患者的 baPWV 显著高于健康对照组,老年高血压病合并糖尿病或(和)血脂异常患者的 ABI 显著低于对照组,而 AI 值在不同疾病组间差异无统计学意义。因此,对于心血管危险评估方面,baPWV 的预测价值可能优于 AI,而 ABI 对于老年患者的预测价值可能更大。

同时有研究分析了 AI 与动脉硬化指标、心血管危险因素、靶器官损害及终点事件的关系,结果提示 AI 与某些心血管终点事件密切相关, AI 可能是一种预测心血管病风险及评估动脉僵硬度的有价值工具,特别是对于相对年轻的人群<sup>[12]</sup>。Janner 等<sup>[13]</sup> 在一项大样调查研究中分析了不同年龄和性别人群桡动脉 AI 与心血管事件危险因素的相关性,发现二者中度相关,但在大于 60 岁的人群中这种相关性相对

减弱。Heffernan 等<sup>[14]</sup>在研究中发现通过检测外周动脉得到的 AI 与年龄、血管功能改变及靶器官损害相关。Sakamoto 等<sup>[15]</sup>分析了老年急性缺血性脑卒中早期症状进展与桡动脉 AI 的关系,发现 AI 与患者早期症状进展独立相关,AI 可能具有预测急性脑卒中患者早期症状进展的作用。Kaur 等<sup>[16]</sup>分析了肾移植成功者肾功能改善前后的 PWV 和 AI 无创性测量结果,发现肾功能改善后 3 个月,由于血管功能的改善而出现 AI 显著降低,PWV 则经过更长时间才出现改善。AI 还与维持性血液透析患者桡动脉增强指数与腹主动脉钙化指数、颈动脉内膜厚度和心脏功能具有相关性<sup>[17]</sup>,AI 对于高血压患者的肾功能水平的变化具有良好的预测性<sup>[18]</sup>。桡动脉 AI 升高与冠心病发病及冠状动脉病变程度显著相关,AI 反映的动脉僵硬一定程度上可反映冠状动脉粥样硬化的严重程度,AI 可能成为冠心病及病变程度的无创评价指标之一<sup>[19]</sup>。这些阳性结果部分出现在特定疾病人群的研究中,这种针对特殊人群的研究结果是否适用于其他人群,特别是能否作为普通人群疾病筛查的依据,尚需进一步研究论证。在分析 AI 与靶器官损害和终点事件相关性的研究中,研究者多将 AI 动态增高作为观察指标,比较受试者个体自身 AI 的改变,这种研究方法可能会因减少个体性别、年龄、身高等混杂因素对 AI 产生的影响,更能体现出 AI 的预测作用。相对于横向比较研究对象的 AI,纵向比较 AI 的变化与心血管危险因素及终点事件的相关性可能更有意义,因此,相对于单次测量,定期随访比较 AI 对于心血管风险预测的意义可能更大。

本次流行病学调查显示,在无创动脉功能检测中,作为中心动脉 AI 替代指标的桡动脉 AI 不是一个预测心血管事件和评价动脉僵硬度的可靠指标。国内目前针对于 AI 与动脉硬化指标相关性的研究主要是针对特定疾病人群,缺乏针对普通人群的大样本研究。本研究结果对于 AI 在社区人群心血管风险预测中的作用进行了评估,结果显示单纯应用 AI 评估人群的动脉硬化程度是不可靠的。由于本研究只是横断面调查,不能解释任何因果关系,需要在未来进一步进行随访观察和干预研究,以明确桡动脉 AI 与终点事件的相关性,进而评估其对预测心血管事件及评估动脉僵硬度的价值。

#### 参考文献

[ 1 ] Hope SA, Antonis P, Adam D, et al. Arterial pulse wave velocity

but not augmentation index is associated with coronary artery disease extent and severity: implications for arterial transfer function applicability [J]. *J Hypertens*, 2007, 25 (10): 2105 - 2109.

- [ 2 ] 刘力生. 中国高血压防治指南 2010 [J]. *中华高血压杂志*, 2011, 19(8): 701 - 743.
- [ 3 ] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南 (2010 年版) [J]. *中国糖尿病杂志*, 2012, 20(1): 81 - 117.
- [ 4 ] 中国成人血脂异常防治指南制定联合委员会. 中国成人血脂异常防治指南 [J]. *中华心血管病杂志*, 2007, 35(5): 390 - 419.
- [ 5 ] Kablak-Ziembicka A, Przewlocki T, Pieniazek P, et al. The role of carotid intima-media thickness assessment in cardiovascular risk evaluation in patients with poly vascular atherosclerosis [J]. *Atherosclerosis*, 2010, 209(1): 125 - 130.
- [ 6 ] Allison MA, Aboyans V, Granston T, et al. The relevance of different methods of calculating the ankle-brachial index: the multi-ethnic study of atherosclerosis [J]. *Am J Epidemiol*, 2010, 171(3): 368 - 376.
- [ 7 ] Koivisto T, Virtanen M, Hutri-Kahonen N, et al. Arterial pulse wave velocity in relation to carotid intima-media thickness, brachial flow-mediated dilation and carotid artery distensibility: the Cardiovascular Risk in Young Finns Study and the Health 2000 Survey [J]. *Atherosclerosis*, 2012, 220(2): 387 - 393.
- [ 8 ] 孙旭, 袁洪, 黄志军, 等. 300 例高血压前期者脉搏波传导速度与颈动脉硬化改变及相关性 [J]. *中国动脉硬化杂志*, 2009, 17(10): 823 - 826.
- [ 9 ] 张明华, 叶平, 骆雷鸣, 等. 健康人不同部位脉搏波传导速度、反射波增强指数之间的相关性及其影响因素 [J]. *中华心血管病杂志*, 2010, 38(11): 998 - 1005.
- [ 10 ] Khan AA, Bhatti SN, Khan G, et al. Clinical and radiological findings in Arnold Chiari malformation [J]. *J Ayub Med Coll Abbottabad*, 2010, 22(2): 75 - 78.
- [ 11 ] Katsuda S, Miyake M, Kobayashi D, et al. Does the augmentation index of pulse waves truly increase with progression of atherosclerosis? An experimental study with hypercholesterolemic rabbits [J]. *Am J Hypertens*, 2013, 26(3): 311 - 317.
- [ 12 ] 孙晓楠, 曾强, 叶平, 等. 体检测量反射波增强指数对高血压患者肾脏功能的预警作用 [J]. *中华健康管理学杂志*, 2010, 4(1): 16 - 18.
- [ 13 ] Janner JH, Godtfredsen NS, Ladelund S, et al. The association between aortic augmentation index and cardiovascular risk factors in a large unselected population [J]. *J Hum Hypertens*, 2012, 26(8): 476 - 484.
- [ 14 ] Heffernan KS, Patvardhan EA, Kapur NK, et al. Peripheral augmentation index as a biomarker of vascular aging: an invasive hemodynamics approach [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(8): 2871 - 2879.
- [ 15 ] Sakamoto Y, Kimura K, Aoki J, et al. The augmentation index as a useful indicator for predicting early symptom progression in patients with acute lacunar and atherothrombotic strokes [J]. *J Neurol Sci*, 2012, 321(1 - 2): 54 - 57.
- [ 16 ] Kaur M, Lal C, Bhowmik D, et al. Reduction in augmentation index after successful renal transplantation [J]. *Clin Exp Nephrol*, 2013, 17(1): 134 - 139.
- [ 17 ] 杨宁, 林洪丽, 李龙凯, 等. 血液透析患者桡动脉增强指数与腹主动脉钙化指数、颈动脉内膜厚度的影响因素分析 [J]. *中国血液净化*, 2012, 11(9): 493 - 496.
- [ 18 ] 肖文凯, 叶平, 骆雷鸣, 等. 桡动脉增强指数与心血管病危险及动脉僵硬度的相关性分析 [J]. *中华内科杂志*, 2011, 50(10): 831 - 835.
- [ 19 ] 李学宇, 赵威, 郭丽君, 等. 评价桡动脉反射波增强指数与冠心病及病变程度的关系 [J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2012, 20(3): 141 - 144.

(2013-03-08 收稿)  
(本文编辑:任英慧)