

## 论著·公共卫生

## 上海市社区中老年人群健康的血管衰老和心血管疾病患病风险的相关性研究

代华杰, 禰立平, 项家丽, 林 泓, 赵志云, 王天歌, 李 勉, 徐 瑜, 陆洁莉, 王卫庆, 毕宇芳, 徐 敏

上海交通大学医学院附属瑞金医院内分泌代谢病科, 国家代谢性疾病临床医学研究中心, 上海市内分泌代谢病研究所, 上海 200025

**[摘要]** **目的**·研究上海市社区中老年人群健康的血管衰老 (healthy vascular aging, HVA) 与心血管疾病患病风险的相关性。**方法**·对上海市嘉定社区 9 922 名 40 岁及以上常住居民进行问卷调查、体格检查、生化指标检测及臂-踝脉搏波传导速度 (brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV) 测定。根据 HVA 状态, 将受试者分为 HVA 组和非 HVA 组。HVA 定义为无高血压病史且 baPWV $\leq$ 15.20 m/s。心血管疾病包括脑卒中、心肌梗死和冠状动脉粥样硬化性心脏病。采用 Logistic 回归模型分析 HVA 与心血管疾病患病风险的相关性。**结果**·在男性和女性中, 与非 HVA 组相比, HVA 组受试者的年龄、体质指数、收缩压、舒张压、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、空腹血糖、肌酐、baPWV、糖尿病和血脂紊乱的患病率均较低, 受教育程度 (高中及以上) 占比、估算的肾小球滤过率均较高 (均  $P=0.000$ )。Logistic 回归分析表明, 校正多种混杂因素后, HVA 组的心血管疾病患病风险显著低于非 HVA 组 ( $OR=0.53$ , 95% $CI$  0.41~0.69,  $P=0.000$ )。**结论**·在上海市社区 40 岁及以上的中老年人群中, HVA 与较低的心血管疾病患病风险相关, 提示其可作为心血管疾病预防的潜在指标。

**[关键词]** 健康的血管衰老; 心血管疾病; 中老年人群

**[DOI]** 10.3969/j.issn.1674-8115.2021.02.015 **[中图分类号]** R543.5 **[文献标志码]** A

## Correlation between healthy vascular aging and prevalent cardiovascular disease risk in middle-aged and elderly people in the community of Shanghai

DAI Hua-jie, XUAN Li-ping, XIANG Jia-li, LIN Hong, ZHAO Zhi-yun, WANG Tian-ge, LI Mian, XU Yu, LU Jie-li, WANG Wei-qing, BI Yu-fang, XU Min

Department of Endocrine and Metabolic Diseases, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine; National Clinical Research Center for Metabolic Diseases; Shanghai Institute of Endocrine and Metabolic Diseases, Shanghai 200025, China

**[Abstract]** **Objective**·To study the correlation between healthy vascular aging (HVA) and prevalent cardiovascular diseases (CVDs) risk in middle-aged and elderly people in the community of Shanghai. **Methods**·A total of 9 922 participants aged 40 and above who lived in a Jiading community of Shanghai were included. The questionnaire interview, physical examination, biochemical index detection and brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) measurement were conducted in all participants. According to HVA status, the participants were divided into HVA group and non-HVA group. HVA was defined as baPWV $\leq$ 15.20 m/s with no history of hypertension. The CVDs include stroke, myocardial infarction and coronary atherosclerotic heart disease. Logistic regression model was used to analyze the correlation between HVA and prevalent CVDs risk. **Results**·Compared with those in the non-HVA group, the age, body mass index, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, total cholesterol, low density lipoprotein-cholesterol, fasting blood glucose, serum creatinine, baPWV and prevalence of diabetes mellitus and lipid disorders in the HVA group were lower, and the proportion of education level (high school or above) and estimated glomerular filtration rate in the HVA group were higher in both men and women (all  $P=0.000$ ). Logistic regression analysis showed that after multiple confounding factors being adjusted, prevalent CVDs risk in the HVA group was significantly lower than that in the non-HVA group ( $OR=0.53$ , 95% $CI$  0.41–0.69,  $P=0.000$ ). **Conclusions**·HVA is significantly associated with a lower risk of CVDs in middle-aged and elderly people (aged $\geq$ 40) in the community of Shanghai, which suggests that HVA can be used as a potential indicator of CVDs prevention.

**[Key words]** healthy vascular aging (HVA); cardiovascular disease (CVD); middle-aged and elderly people

心血管疾病是全球范围内导致死亡的主要原因之一<sup>[1]</sup>。由于医疗保健服务水平的提升和人群整体寿命的

延长, 血管老化已成为引发心血管疾病的重要危险因素<sup>[2-3]</sup>。年龄增加导致的血管老化主要表现为大动脉的结

**[基金项目]** 上海市科技发展专项资金 (YDZX20173100004881); 上海申康医院发展中心临床科技创新项目 (SHDC12016202); 上海交通大学医学院高水平地方高校创新团队; 上海市教育委员会高峰高原学科建设计划 (20152508)。

**[作者简介]** 代华杰 (1994—), 男, 硕士生; 电子邮箱: huajie\_dai@163.com。

**[通信作者]** 徐 敏, 电子邮箱: della.xumin@163.com。

**[Funding Information]** Shanghai Science and Technology Commission Special Funds (YDZX20173100004881); Clinical Science and Technology Innovation Project of Shanghai Shenkang Hospital Development Center (SHDC12016202); Innovative Research Team of High-Level Local Universities in Shanghai; Shanghai Municipal Education Commission—Gaofeng Clinical Medicine Grant Support (20152508)。

**[Corresponding Author]** XU Min, E-mail: della.xumin@163.com。

构和功能改变,还可进一步增加动脉僵硬度、升高血压<sup>[4-5]</sup>。有研究<sup>[6-7]</sup>表明,衰老并非血管老化程度的唯一决定因素。在一些生活方式良好的人群,例如体型纤瘦、经常运动和保持健康饮食习惯的人群,其血压和脉搏波传导速度(pulse wave velocity, PWV)等反映动脉硬度的指标随着年龄的增加速度显著低于其他人群。继而提示,通过生活方式的干预也可延缓或避免血管衰老的发生。

近年来, Niiranen 等<sup>[8]</sup>提出了健康的血管衰老(healthy vascular aging, HVA)这一概念,即被定义为无高血压且由PWV反映的动脉僵硬度无明显增加;同时在该研究中已证实,HVA与西方人群心血管疾病发生风险的降低相关。基于这个概念,Yang等<sup>[9]</sup>在中国人群队列研究中发现HVA可以显著降低卒中的发病风险,同时还建立了中国人群HVA的判断标准,即无高血压且臂-踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, baPWV)  $\leq 15.20$  m/s。作为新兴概念,目前罕有HVA与心血管疾病大样本的相关性研究。基于此,本研究采用来自上海市社区中老年人群的数据,分析HVA与心血管疾病(包括脑卒中、心肌梗死和冠状动脉粥样硬化性心脏病)患病风险的相关性,以期为中心血管疾病的早期预防策略提供理论支撑。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

2010年3—8月,采用整体抽样的方法对居住在上海市嘉定社区的40岁及以上的10 375名居民进行流行病学调查。在排除了baPWV测量丢失、血压测量丢失以及高血压患病史缺失的人群后,本研究共纳入对象9 922名,其中男性3 772名、女性6 150名。

本研究已通过上海交通大学医学院附属瑞金医院伦理委员会审批[审批号:(2011)临伦审第(14)号],所有受试者均签署了书面知情同意书。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 问卷调查** 采用标准化的流行病学调查问卷,收集受试者的年龄、受教育程度、疾病史、用药史和生活方式(包括吸烟史、饮酒史、体力活动)等信息。目前吸烟或目前饮酒为调查前6个月内存在规律性吸烟或饮酒行为。积极的体力活动定义为每周75 min以上的高强度体力活动或每周150 min以上的中等及高强度体力活动。

**1.2.2 体格检查** 对受试者行常规体格检查,包括身高、

体质量和静息状态血压的测量。身高精确到0.1 cm,体质量精确到0.1 kg,体质量指数(body mass index, BMI) = 体质量(kg)/身高<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)。待受试者至少休息5 min后,用欧姆龙电子血压计(Mode HEM-752FUZZY, OMRON, 日本)测量其收缩压(systolic blood pressure, SBP)和舒张压(diastolic blood pressure, DBP),即取其非优势臂测量3次,每次间隔至少1 min,取3次测量的均值纳入分析。

**1.2.3 生化指标检测** 采集受试者空腹状态下的静脉血。采用全自动生化检测仪(Modular E170, Roche, 瑞士)测定三酰甘油(triacylglycerol, TAG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein-cholesterol, HDL-Ch)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein-cholesterol, LDL-Ch)、血肌酐(serum creatinine, Scr)等水平。采用己糖激酶法检测受试者空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)水平。估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)的计算公式采用简化肾脏病膳食改良试验(modification of diet in renal disease, MDRD)公式:  $eGFR [mL / (min \cdot 1.73 m^2)] = 186 \times [Scr (\mu mol/L) \times 0.001 131 2]^{-1.154} \times 年龄^{-0.203} \times [0.742 (女性)]^{[10]}$ 。

**1.2.4 baPWV检测** 使用欧姆龙动脉硬化检测仪BP203RPE-II(VP-1000)进行检测。受试者需安静平卧10 min,而后在其双侧上臂肱动脉处及双侧下肢内踝上方2 cm处绑上袖带,在胸骨柄处放置传感器,通过袖带传感器记录脉搏波。根据仪器自动输出的双侧baPWV值,选用较大值作为受试者动脉僵硬度的测量值。

### 1.3 相关诊断标准及分组

根据1999年世界卫生组织(WHO)的标准,糖尿病定义为FBG  $\geq 7.0$  mmol/L,或2 h餐后血糖  $\geq 11.1$  mmol/L,或自报有糖尿病病史,或正在服用糖尿病药物。高血压诊断标准采用1999年世界卫生组织/国际高血压联盟(WHO/ISH)制定的指南标准,定义为SBP  $\geq 140$  mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)和(或)DBP  $\geq 90$  mmHg,或既往有高血压病史,或目前正在服用抗高血压药物者<sup>[11]</sup>。血脂紊乱采用2007年《中国成人血脂异常防治指南》的诊断标准,满足以下任意1项即可被诊断为血脂紊乱<sup>[12]</sup>: ①TAG  $\geq 2.26$  mmol/L。②HDL-Ch  $< 1.04$  mmol/L。③LDL-Ch  $\geq 4.14$  mmol/L。④TC  $\geq 6.22$  mmol/L。⑤正在使用调脂药物。⑥既往有血脂异常病史。在本研究中,根据受试者HVA状态,将其分为HVA组和非HVA组。HVA定义为无高血压病史且baPWV  $\leq 15.20$  m/s。

## 1.4 统计学方法

采用SAS 9.4软件对研究数据进行统计分析。符合正态分布的定量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,符合偏态分布的定量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,并在进一步分析前行对数变换使其符合正态分布,采用 $t$ 检验进行组间比较。定性资料采用频数(百分比)表示,采用 $\chi^2$ 检验进行比较。采用Logistic回归模型分析HVA组受试者心血管疾病患病风险的OR值(相较于非HVA组受试者)。上述分析均采用双侧检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

表1 受试者的基本资料分析

Tab 1 Analysis of basic data of participants

Item	Total (N=9 922)	Male			Female		
		Non-HVA group (N=2 746)	HVA group (N=1 026)	P value	Non-HVA group (N=4 173)	HVA group (N=1 977)	P value
Basic information							
Age/year	58.5±9.6	61.0±9.8	53.4±7.9	0.000	60.9±9.2	52.6±7.3	0.000
Education level (high school or above) <sup>①</sup> /n(%)	2 132 (21.58)	647 (23.66)	302 (29.52)	0.000	602 (14.51)	581 (29.48)	0.000
Current smoking <sup>①</sup> /n(%)	1 995 (20.33)	1 301 (47.45)	668 (65.17)	0.000	14 (0.34)	12 (0.62)	0.127
Current drinking <sup>①</sup> /n(%)	987 (10.28)	700 (26.02)	240 (23.81)	0.169	30 (0.75)	17 (0.90)	0.552
Active physical activity/n(%)	1 924 (19.39)	615 (22.40)	220 (21.44)	0.530	740 (17.73)	349 (17.65)	0.939
Physical examination index							
BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	25.1±3.3	25.5±3.1	24.2±2.9	0.000	25.5±3.4	23.8±3.0	0.000
SBP/mmHg	141.1±20.0	147.8±17.0	123.0±9.6	0.000	150.5±17.7	121.6±10.0	0.000
DBP/mmHg	82.8±10.3	87.1±10.1	77.6±6.8	0.000	84.7±10.2	75.4±7.0	0.000
Biochemical index							
TAG/(mmol·L <sup>-1</sup> )	1.4 (1.0, 2.0)	1.4 (1.0, 2.0)	1.3 (0.9, 1.8)	0.058	1.5 (1.1, 2.1)	1.1 (0.8, 1.6)	0.002
TC/(mmol·L <sup>-1</sup> )	5.3±1.0	5.2±1.0	5.0±0.9	0.000	5.6±1.0	5.3±0.9	0.000
LDL-Ch/(mmol·L <sup>-1</sup> )	3.2±0.9	3.1±0.8	2.9±0.8	0.000	3.4±0.9	3.1±0.8	0.000
HDL-Ch/(mmol·L <sup>-1</sup> )	1.3±0.3	1.2±0.3	1.2±0.3	0.815	1.4±0.3	1.4±0.3	0.000
FBG/(mmol·L <sup>-1</sup> )	5.6±1.5	5.8±1.7	5.4±1.5	0.000	5.7±1.6	5.1±0.8	0.000
Scr/(μmol·L <sup>-1</sup> )	61.9±17.5	73.4±20.4	70.8±10.0	0.000	56.1±15.2	53.8±7.6	0.000
eGFR/[mL·(min·1.73 m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	109.3±21.3	105.0±21.3	110.2±18.6	0.000	109.0±22.2	115.6±19.3	0.000
Diabetes mellitus/n(%)	1 798 (18.12)	647 (23.56)	116 (11.31)	0.000	914 (21.90)	121 (6.12)	0.000
Dyslipidemia <sup>①</sup> /n(%)	3 982 (40.14)	1 232 (44.87)	391 (38.15)	0.000	1 848 (44.28)	511 (25.85)	0.000
baPWV/(m·s <sup>-1</sup> )	16.2±3.7	17.3±3.5	13.2±1.1	0.000	17.7±3.7	12.9±1.3	0.000

Note: <sup>①</sup>Among the 9 922 participants in this study, 44 had no education information, 111 had no smoking status information, 318 had no drinking status information, and 1 had no dyslipidemia diagnosis information.

## 2.2 受试者心血管疾病患病率分析

对2组中老年人群的心血管疾病患病率进行分析,以65岁作为中年人群与老年人群的划分标准<sup>[13]</sup>,其中<65岁者7 551名,≥65岁者2 371名。结果(表2)显示:在中年人群(<65岁)中,HVA组中的男性和女性的心血管疾病患病率均低于非HVA组(均 $P=0.000$ );在老年人群(≥65岁)中,HVA组中的男性和女性的心血管疾病患病率亦均低于非HVA组,但仅在女性中差异具有统计学意义( $P=0.044$ )。

## 2 结果

### 2.1 受试者的基本资料分析

本研究共纳入9 922名受试者进行统计分析,其中女性6 150名,占比61.98%。结果(表1)显示,在男性和女性中,HVA组受试者的年龄、BMI、SBP、DBP、TC、LDL-Ch、FBG、Scr、baPWV、糖尿病和血脂紊乱的患病率均低于非HVA组,而受教育程度(高中及以上)占比及eGFR均高于非HVA组(均 $P=0.000$ )。

### 2.3 HVA与心血管疾病患病风险的相关性

Logistic回归分析结果(表3)显示:校正了年龄、性别和BMI后,HVA组的心血管疾病患病风险低于非HVA组( $OR=0.56$ , 95%CI 0.44~0.70,  $P=0.000$ )。随后,校正了积极的体力活动、目前吸烟、目前饮酒、受教育程度后,结果无明显改变。进一步校正SBP、FBG、HDL-Ch、LDL-Ch、TC和eGFR后,HVA组的心血管疾病患病风险仍低于非HVA组( $OR=0.53$ , 95%CI 0.41~0.69,  $P=0.000$ );将受试者按性别分层进行分析发现,在



表2 不同年龄、性别和血管健康状态的受试者的心血管疾病患病率分析

Tab 2 Prevalence of cardiovascular diseases in participants with different age, gender and vascular healthy status

Gender	Age<65 years			Age≥65 years		
	Prevalence in HVA group/%	Prevalence in non-HVA group/%	P value	Prevalence in HVA group/%	Prevalence in non-HVA group/%	P value
Male	2.1	6.6	0.000	12.1	18.1	0.154
Female	2.9	7.6	0.000	8.9	16.5	0.044

表3 HVA与心血管疾病患病风险相关性的Logistic回归分析

Tab 3 Logistic regression analysis of association of HVA with prevalent cardiovascular disease risk

Model	Total		Male		Female		Age<65 years		Age≥65 years	
	OR (95%CI)	P value	OR (95%CI)	P value	OR (95%CI)	P value	OR (95%CI)	P value	OR (95%CI)	P value
Model 1	0.56 (0.44–0.70)	0.000	0.55 (0.37–0.83)	0.004	0.55 (0.41–0.74)	0.000	0.51 (0.39–0.67)	0.000	0.75 (0.46–1.21)	0.239
Model 2	0.55 (0.43–0.70)	0.000	0.57 (0.38–0.86)	0.007	0.53 (0.40–0.72)	0.000	0.51 (0.39–0.67)	0.000	0.76 (0.47–1.24)	0.274
Model 3	0.53 (0.41–0.69)	0.000	0.55 (0.35–0.84)	0.006	0.52 (0.38–0.73)	0.000	0.45 (0.33–0.62)	0.000	0.82 (0.49–1.37)	0.446

**Note:** Model 1 adjusted for age, gender and BMI in the analysis of total participants and age stratification, and adjusted for age and BMI in the gender stratification analysis. Model 2 further adjusted for education level, active physical activity, current smoking and current drinking based on model 1. Model 3 further adjusted for SBP, FBG, HDL-Ch, LDL-Ch, TC and eGFR based on model 2.

男性和女性中，HVA组心血管疾病患病风险均低于非HVA组（男性： $OR=0.55$ ， $95\%CI$  0.35~0.84， $P=0.006$ ；女性： $OR=0.52$ ， $95\%CI$  0.38~0.73， $P=0.000$ ）；将受试者按照年龄分层进行分析发现，在校正了相关混杂因素后，与非HVA组相比，仅在65岁以下受试者中HVA与较低的心血管疾病患病风险显著相关（ $OR=0.45$ ， $95\%CI$  0.33~0.62， $P=0.000$ ）。

3 讨论

本研究结果显示HVA与较低的心血管疾病患病风险显著相关，这一关联在校正了SBP、FBG、HDL-Ch、LDL-Ch、TC、eGFR等多种混杂因素后仍显著；继而提示，一些潜在的遗传或非传统因素在HVA与低心血管疾病患病风险的关系中发挥作用。按照性别分层分析时发现在男性和女性中，HVA组受试者的心血管疾病的患病风险均显著低于非HVA组；因此，保持HVA对不同性别人群具有同样重要的心血管获益。此外本研究还发现，与非HVA组相比，仅在65岁以下人群中HVA与较低的心血管疾病患病风险显著相关；继而提示了对血管老化进行早期预防的重要性。

Yang等<sup>[9]</sup>对中国50岁以上中老年人群的研究发现，在50~60岁人群中发生HVA的比例为36.0%，而在70岁以上人群中仅为4.7%。从该结果我们发现：①年龄是血管健康的重要决定因素。②在70岁以上的高龄人群中，仍有部分人群保持HVA。因此，将HVA作为一个心血管健康指标，将具有一定的现实意义。

既往研究<sup>[14-16]</sup>表明，通过健康的生活方式等可维持甚至恢复HVA。Tanaka等<sup>[17-18]</sup>在横断面和干预研究中均发现，有氧运动可显著减少与年龄相关的动脉僵硬度的增加。同样，一项纵向研究<sup>[19]</sup>发现，高水平的中等程度或剧烈的体育活动与较慢的主动脉僵硬度进展相关。近期，Strauss等<sup>[20]</sup>发现过量的食盐摄入与年龄为20~30岁的黑人的大动脉僵硬度呈正相关；继而提示，减少食盐的摄入可预防血管老化的进展。此外，还有一些研究<sup>[14]</sup>证明减轻体质量、保持健康的饮食模式、使用药物降低血压及血脂均可显著减缓动脉僵硬度的增加，从而维持HVA。在本研究人群中，HVA组与非HVA组的积极的体力活动占比间差异在男性和女性中均无统计学意义，且在男性中HVA组目前吸烟占比显著高于非HVA组；造成此结果的一个可能原因是在本研究中HVA组与非HVA组人群年龄差距较大。根据本课题组前期针对该人群的研究<sup>[21]</sup>发现，与当前不吸烟者相比，当前吸烟者年龄更低，表明在不考虑年龄因素的情况下，仅分析生活方式和HVA之间的关系是不可靠的；因此，结合对该同一人群的2次研究发现，本次研究不适宜对HVA与生活方式之间关系进行探讨。

本研究虽然用足够大的样本量证实HVA与心血管疾病患病风险的相关性，但尚存在有一定的局限性。首先，在本研究中采用baPWV作为反映动脉硬度的指标，而非颈-股脉搏波传导速度（carotid-femoral pulse wave velocity, cfPWV）这一金标准，其测量结果的准确性可能稍有偏差，或将导致对研究人群HVA状态的错误分类。然而先前研究<sup>[9]</sup>已证明baPWV与cfPWV的相关性良好



且易于检测,在临床实践中可用baPWV作为替代指标,因此可部分弥补了这一局限性。其次,本研究为横断面相关性研究,仅能证实HVA与心血管疾病患病风险间的相关性,无法证实二者之间存在因果关联,亦无法避免反向因果,因此需开展前瞻性随访研究进一步对本研究结果加以验证。

综上所述,本研究发现在上海市社区中老年人群中HVA与心血管疾病患病风险降低显著相关。该结果提示,减缓血管老化对预防中老年人群的心血管疾病具有一定的积极作用,可将其作为心血管疾病预防的一个重要目标。

## 参·考·文·献

- [1] Groenewegen KA, den Ruijter HM, Pasterkamp G, et al. Vascular age to determine cardiovascular disease risk: a systematic review of its concepts, definitions, and clinical applications[J]. Eur J Prev Cardiol, 2016, 23(3): 264-274.
- [2] Ji H, Teliewubai J, Lu Y, et al. Vascular aging and preclinical target organ damage in community-dwelling elderly: the Northern Shanghai Study[J]. J Hypertens, 2018, 36(6): 1391-1398.
- [3] Seals DR, Alexander LM. Vascular aging[J]. J Appl Physiol (1985), 2018, 125(6): 1841-1842.
- [4] Laurent S. Defining vascular aging and cardiovascular risk[J]. J Hypertens, 2012, 30 Suppl: S3-S8.
- [5] Camici GG, Savarese G, Akhmedov A, et al. Molecular mechanism of endothelial and vascular aging: implications for cardiovascular disease[J]. Eur Heart J, 2015, 36(48): 3392-3403.
- [6] Lemogoum D, Ngatchou W, Janssen C, et al. Effects of hunter-gatherer subsistence mode on arterial distensibility in Cameroonian pygmies[J]. Hypertension, 2012, 60(1): 123-128.
- [7] Gurven M, Blackwell AD, Rodríguez DE, et al. Does blood pressure inevitably rise with age? Longitudinal evidence among forager-horticulturalists[J]. Hypertension, 2012, 60(1): 25-33.
- [8] Niiranen TJ, Lyass A, Larson MG, et al. Prevalence, correlates, and prognosis of healthy vascular aging in a western community-dwelling cohort: the Framingham heart study[J]. Hypertension, 2017, 70(2): 267-274.
- [9] Yang Y, Wang A, Yuan X, et al. Association between healthy vascular aging and the risk of the first stroke in a community-based Chinese cohort[J]. Aging (Albany NY), 2019, 11(15): 5807-5816.
- [10] Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate[J]. Ann Intern Med, 2009, 150(9): 604-612.
- [11] Chalmers J, MacMahon S, Mancia G, et al. 1999 World Health Organization-International Society of Hypertension Guidelines for the management of hypertension. Guidelines sub-committee of the World Health Organization[J]. Clin Exp Hypertens, 1999, 21(5-6): 1009-1060.
- [12] 中国成人血脂异常防治指南制订联合委员会. 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.
- [13] Gajra A, Zemla TJ, Jatoi A, et al. Time-to-treatment-failure and related outcomes among 1 000+ advanced non-small cell lung cancer patients: comparisons between older *versus* younger patients (alliance a151711)[J]. J Thorac Oncol, 2018, 13(7): 996-1003.
- [14] Nowak KL, Rossman MJ, Chonchol M, et al. Strategies for achieving healthy vascular aging[J]. Hypertension, 2018, 71(3): 389-402.
- [15] Rossman MJ, LaRocca TJ, Martens CR, et al. Healthy lifestyle-based approaches for successful vascular aging[J]. J Appl Physiol (1985), 2018, 125(6): 1888-1900.
- [16] Kucharska-Newton AM, Stoner L, Meyer ML. Determinants of vascular age: an epidemiological perspective[J]. Clin Chem, 2019, 65(1): 108-118.
- [17] Tanaka H, DeSouza CA, Seals DR. Absence of age-related increase in central arterial stiffness in physically active women[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 1998, 18(1): 127-132.
- [18] Tanaka H, Dinunno FA, Monahan KD, et al. Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance[J]. Circulation, 2000, 102(11): 1270-1275.
- [19] Ahmadi-Abhari S, Sabia S, Shipley MJ, et al. Physical activity, sedentary behavior, and long-term changes in aortic stiffness: the Whitehall II study[J]. J Am Heart Assoc, 2017, 6(8): e005974.
- [20] Strauss M, Smith W, Kruger R, et al. Large artery stiffness is associated with salt intake in young healthy black but not white adults: the African-PREDICT study[J]. Eur J Nutr, 2018, 57(7): 2649-2656.
- [21] Liu Y, Dai M, Bi Y, et al. Active smoking, passive smoking, and risk of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD): a population-based study in China[J]. J Epidemiol, 2013, 23(2): 115-121.

[收稿日期] 2020-05-29

[本文编辑] 邢宇洋