

动脉僵硬度新指标 AVI 与 API 的临床价值*

许文哲¹ 霍晓光¹ 陈晴晴² 沙蕾² 杜联芳³ 李朝军^{2,3}

(1. 淄博市中心医院超声科, 山东 淄博 255036; 2. 上海交通大学附属第一人民医院嘉定分院超声科, 上海 201803;

3. 上海交通大学附属第一人民医院超声科, 上海 200080)

【摘要】 目的 探讨动脉僵硬度新指标动脉波速指数(AVI)和动脉压力容积指数(API)的临床价值及其影响因素。方法 2020年9月—2021年2月上海交通大学附属第一人民医院嘉定分院健康体检的自然人2677例,依据年龄三分位数分为 ≥ 64.2 岁(Q1组)929例、 ≥ 47.8 岁(Q2组)890例和 < 47.8 岁(Q3组)858例。采用袖带振荡波分析法监测受试者的AVI和API。随机选取124例受试者,获取其左心室射血分数(EF)。采用单因素方差分析比较3组间受试者AV和API的差异。采用Pearson相关和多元线性回归分析获取AVI和API的独立影响因素。结果 3组间AVI和API比较,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),且AVI和API值随年龄增加而增加($P < 0.05$)。升高的AVI与年龄、体质指数(BMI)、收缩压和舒张压呈正相关($r = 0.536, 0.055, 0.486$ 和 0.189 ,均 $P < 0.01$),与身高、体质量、射血分数和短轴缩短率呈负相关($r = -0.123, -0.049, -0.268$ 和 -0.259 ,均 $P < 0.05$)。多元线性回归分析显示,年龄和收缩压是AVI独立影响因素($P < 0.05$)。升高的API与年龄、体质量、BMI和收缩压呈正相关($r = 0.475, 0.108, 0.230$ 和 0.690 ,均 $P < 0.01$),与身高呈负相关($r = -0.107, P < 0.01$)。多元线性回归分析提示,舒张压和收缩压是API独立影响因素($P < 0.01$)。结论 AVI和API可用于评估不同段动脉僵硬度,为动脉僵硬度筛查提供一个新的替代指标,能对临床心脑血管病早期筛查和治疗提供帮助。

【关键词】 动脉;动脉波速指数;动脉压力容积指数;年龄;僵硬度

【中图分类号】 R54 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2023.04.011

Clinical value and influencing factors of the new indexes of arterial stiffness, AVI and API

XU Wenzhe¹, HUO Xiaoguang¹, CHEN Qingqing², SHA Lei², DU Lianfang³, LI Zhaojun^{2,3}

(1. Department of Ultrasound, Central Hospital of Zibo, Zibo 255036, Shandong, China;

2. Department of Ultrasound, Shanghai General Hospital Jiading Branch, Shanghai 201803, China;

3. Department of Ultrasound, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200080, China)

【Abstract】 **Objective** To explore the clinical value and influencing factors of arterial velocity index (AVI) and arterial pressure-volume index (API), a new index of arterial stiffness. **Methods** 2677 volunteers were recruited from the hospital and divided into 929 patients ≥ 64.2 years old (Q1 group), 890 patients ≥ 47.8 years old (Q2 group), and 858 patients younger than 47.8 years old (Q3 group) according to the age tertiles. The AVI and API of the subjects were monitored by the cuff oscillatory wave analysis method. 124 subjects were randomly selected to obtain their left ventricular ejection fraction (EF). One-way analysis of variance was used to compare the differences in AVI and API between the three groups. Pearson correlation and multiple linear regression analysis were used to obtain independent influencing factors of AVI and API. **Results** The differences between AVI and API in the three groups had statistical significance (all $P < 0.05$), and the values of AVI and API increased with age (all $P < 0.05$). Elevated AVI was positively correlated with age, body mass index, systolic blood pressure and diastolic blood pressure ($r = 0.536, 0.055, 0.486$ and 0.189 , all $P < 0.01$), and was negatively correlated with height, body mass, ejection fraction and shortening fraction ($r = -0.123,$

基金项目:上海市自然基金项目(21ZR1451400)

通讯作者:李朝军, E-mail: lzj_1975@sina.com

引用本文:许文哲,霍晓光,陈晴晴,等.动脉僵硬度新指标 AVI 与 API 的临床价值[J].西部医学,2023,35(4):524-528. DOI:10.3969/j.issn.

1672-3511.2023.04.011

-0.049, -0.268 and -0.259, all $P < 0.05$). Multiple linear regression analysis indicated that age and systolic blood pressure were independent influencing factors of AVI ($P < 0.05$). Elevated API was positively correlated with age, body mass, body mass index, and systolic blood pressure ($r = 0.475, 0.108, 0.230, \text{ and } 0.690$, all $P < 0.01$), and negatively correlated with height ($r = -0.107, P < 0.01$). Multiple linear regression analysis indicated that diastolic blood pressure and systolic blood pressure were independent factors affecting API ($P < 0.01$). **Conclusion** AVI and API are new indicators reflecting arterial stiffness, which are related to age, height, body mass index and blood pressure, providing new substitute indicator for arterial stiffness screening.

【Key words】 Artery; Arterial wave velocity index; Arterial pressure-volume index; Age; Stiffness

动脉僵硬度增高是心脑血管事件独立预测因子, 早期评估意义重大^[1]。既往, 动脉僵硬检测多基于有两点法或单点法, 通过获取血管长度和脉搏波传播时间计算脉搏波传播速度, 用于评估动脉弹性^[2-3]。但是, 上述方法操作要求高, 不利于社区普查, 不能区分是中心动脉还是外周动脉僵硬度增加, 存在一定的局限性。最近, 基于生物力学建模仿真, 通过袖带振荡波分析法可获取分别反映中心动脉僵硬度指标动脉波速指数(Arterial velocity-pulse index, AVI)和外周肌性小动脉弹性指标动脉压力容积指数(Arterial pressure-volume index, API), 具有临床应用前景^[4]。本研究旨在通过肱动脉振荡波检测一个较大样本自然人群的 AVI 和 API 参数, 初步探讨其临床价值及影响因素。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2020 年 9 月—2021 年 2 月上海交通大学附属第一人民医院嘉定分院健康体检的自然人群。入选标准: ① AVI 和 API 参数数据完整。② 既往无心脑血管事件及外周动脉血管病史。③ 无认知功能障碍。排除标准: ① 既往有心脑血管事件及四肢动脉疾病病史。② AVI 和 API 参数数据不完整。最终入组志愿者 2677 例, 女性 1572 例, 男性 1105 例, 年龄 13.30~98.40 岁, 平均(54.70±16.50)岁。按年龄三分位分为 3 组, 年龄≥64.2 岁(Q1 组)929 例, 年龄≥47.8 岁(Q2 组)890 例, 年龄<47.8 岁(Q3 组)858 例。本研究经我院医学伦理委员会批准(2019KY009-4), 并在中国临床试验注册中心官网注册(ChiCTR2000035937)。所有受试者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法

1.2.1 袖带振荡波分析^[5] 诊室温度 22~25℃, 嘱受试者端坐位、着薄衣, 静息 5 min, 录入受试者姓名、性别、年龄、身高、体质量后。采用便携式动脉波检测仪(PASESA AVE-2000Pro)获取肱动脉波速指数(AVI)和肱动脉压力容积指数(API)、中心动脉压、中心动脉脉压、脉搏、肱动脉收缩压和舒张压数据。

1.2.2 左室收缩功能检测 使用 PhilipsEPIQ7 彩色

多普勒超声诊断仪, 探头 S5-1, 频率 1~5 MHz。超声心动图检查完成后, 通过 M 型获取左心室射血分数和左心室短轴缩短率。

1.2.3 临床资料 获取所有受试者检查当天停用降压药, 24 h 内禁止吸烟、饮酒或咖啡, 完成受试者电子问卷, 收集身高、体质量及 BMI 等一般资料。

1.3 统计学分析 应用 SPSS 13.0 统计软件, 正态分布的计量资料均以($\bar{x} \pm s$)表示。3 组间计量资料采用单因素方差分析, 组间两两比较采用 LSD- q 检验, 率比较采用 χ^2 检验。相关性分析采用 Pearson 相关分析和多元线性回归分析。3 组内 AVI、API 与年龄和收缩压的关系采用线性回归分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3 组一般资料比较 Q2 和 Q3 组女性比例均高于 Q1 组(均 $P < 0.05$)。Q3 组受试者身高均高于 Q1 和 Q2 组受试者(均 $P < 0.05$)。Q2 和 Q3 组体质量比较差异有统计学意义, Q3 组受试者体质量较小($P < 0.05$)。Q1 和 Q2 组受试者 BMI 均高于 Q3 组受试者($P < 0.05$), 而 Q1 和 Q2 组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。3 组收缩压比较差异均有统计学意义, 收缩压随年龄增加而增加(均 $P < 0.01$)。舒张压和脉搏在部分组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。3 组间中心动脉血压和中心动脉脉压比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

2.2 3 组间 AVI 和 API 比较及影响因素相关性分析

3 组间 AVI 和 API 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$), 且 AVI 和 API 值随年龄增加而增加(均 $P < 0.05$), 见表 1。升高的 AVI 与年龄、BMI、收缩压和舒张压呈正相关($r = 0.536, 0.055, 0.486 \text{ and } 0.189$, 均 $P < 0.01$), 与身高、体质量、射血分数和短轴缩短率呈负相关($r = -0.123, -0.049, -0.268 \text{ and } -0.259$, P 均 < 0.05)。多元线性回归分析提示, 年龄和收缩压是 AVI 独立影响因素($P < 0.05$)。升高的 API 与年龄、体质量、BMI 和收缩压呈正相关($r = 0.475, 0.108, 0.230 \text{ and } 0.690$, 均 $P < 0.01$), 与身高呈负相关($r = -0.107, P < 0.01$)。API、中心动脉压、中心动脉脉

表 1 按年龄三分位分组受试者一般资料比较[n, (x̄±s)]
Table 1 Comparison Of General Data Of Subjects Divided By Age

组别	性别(女/男)	年龄(岁)	身高(cm)	体质量(kg)	BMI(kg/m ²)	收缩压(mm Hg)	舒张压(mm Hg)
Q1 组	456/473	71.90±6.60	162.60±8.10	63.60±10.90	24.00±3.40	139.60±21.80	76.50±12.40
Q2 组	555/335 ^①	56.70±4.60 ^①	163.10±7.30	64.20±10.40	24.00±3.10	130.10±19.50 ^①	79.30±12.00 ^①
Q3 组	561/297 ^①	34.90±7.70 ^{①②}	165.50±16.50 ^{①②}	62.80±12.70 ^③	22.90±3.70 ^{①②}	117.70±17.70 ^{①②}	75.70±12.60 ^②
F/χ ²	49.732	7398.617	14.059	3.312	26.172	246.364	17.410
P	<0.001	<0.001	<0.001	0.037	<0.001	<0.001	<0.001

组别	AVI	API	脉搏(次/分)	中心动脉血压(mm Hg)	中心动脉脉压(mm Hg)
Q1 组	22.70±7.40	33.20±8.70	77.79±12.94	122.22±18.98	43.46±13.76
Q2 组	20.00±6.40 ^①	27.90±6.50 ^①	77.57±12.20	122.38±19.08	43.65±14.54
Q3 组	13.70±3.90 ^{①②}	24.50±4.90 ^{①②}	82.23±13.55 ^{①③}	122.49±19.84	43.95±13.67
F/χ ²	467.409	361.434	34.323	0.127	0.373
P	<0.001	<0.001	<0.001	0.881	0.689

注:与 Q1 组比较,①P<0.05,②P<0.01;与 Q2 组比较,③P<0.05,1 mm Hg =0.133 kPa。

压、短轴缩短率和射血分数相关性无统计学意义(均 P>0.05)。多元线性回归分析提示,舒张压和收缩压是 API 独立影响因素(P<0.01)。见表 2。在 3 组内,为进一步明确 AVI 和 API 分别与年龄和收缩压

的关系。采用线性曲线拟合及散点图分析,结果提示 AVI 与年龄和收缩压分别呈线性关系(均 P<0.05); API 与年龄和收缩压分别呈线性相关(均 P<0.05),见图 1。

表 2 AVI 和 API 的影响因素简单相关分析与多元线性回归分析

Table 2 Simple correlation analysis and pluralistic linear regression analysis of AVI and API influencing factors

项目	AVI 单因素相关分析		AVI 多元线性回归分析		API 单因素相关分析		API 多元线性回归分析	
	相关系数(r)	P	标准系数(β)	P	相关系数(r)	P	标准系数(β)	P
年龄	0.536	<0.001	0.483	<0.001	0.475	<0.001	0.061	0.180
身高	-0.123	<0.001	0.022	0.847	-0.107	<0.001	-0.033	0.579
体质量	-0.049	0.015	-0.108	0.494	0.108	<0.001	0.080	0.339
BMI	0.055	0.007	-0.015	0.906	0.230	<0.001	-0.035	0.605
收缩压	0.486	<0.001	0.209	0.028	0.690	<0.001	0.938	<0.001
舒张压	0.189	<0.001	0.040	0.648	-0.019	0.359	-0.600	<0.001
中心动脉血压	-0.004	0.856	-0.129	0.277	-0.025	0.210	-0.097	0.121
中心动脉脉压	-0.007	0.709	0.137	0.244	-0.029	0.139	0.030	0.630
射血分数	-0.268	0.003	0.112	0.574	-0.057	0.531	-0.145	0.171
短轴缩短率	-0.259	0.004	-0.346	0.083	0.025	0.787	0.142	0.176

3 讨论

脉搏波速度(Pulse wave velocity, PWV)是评估动脉僵硬度的“金指标”^[6]。目前,PWV 的测量方法可分为单点法和两点法。单点法是基于血管薄壁拉普拉斯定理,依据血管管径与血压呈线性关系,借助超声追踪血管壁动态位移,结合血压测量来实现。该方法仅限于弹性大动脉(如颈动脉)僵硬度的评估,且操作技术复杂和操作人员依赖等问题,存在一定的局限性^[7]。PWV 的两点法是基于袖带示波法,该方法操作简单、自动化程度高,临床应用较为广泛。但该方法获取的是区域 PWV,无法区分大动脉和外周小动脉^[8]。小动脉受内分泌体液调节,致使区域性 PWV 指标重复性较差。另外,两点法还存在延滞效应,致区域性 PWV 测量精度不高^[9]。

新近,基于血管生物力学建模仿真评估动脉僵硬度的方法逐渐成熟,该方法可一站式获得 AVI、API、中心动脉收缩压和中心动脉脉压等指标,且操作简

便,适宜人群筛查^[10]。相关研究表明,AVI 是 PWV 的替代指标,AVI 值越大中心动脉僵硬度越大^[11]。本研究发现,AVI 随着年龄增加而增大,提示动脉僵硬度随年龄增加而增加,这与既往研究一致^[12]。这可能是因为随着年龄增长,血管僵硬度增大,依据公式 AVI=A×|V2|/|P1|,其中 A 为常数 20,V2 为血管脉搏波前向波与反射波的叠加,P1 反映血管纵向张力^[13]。增快的前向波与反射波叠加可致 V2 增大;而血管纵向张力减低致 P1 值减小。故而,二者比值 AVI 增加。多项临床研究证实,AVI 与高血压、心脏收缩功能密切相关,是心血管事件的独立预测因子。这与高血压致内皮功能障碍,血管收缩,管壁弹力纤维退变,动脉弹性下降机制一致^[14]。

API 是肱动脉透壁-血管容积曲线在零透壁压力时拟合曲线的最大斜率,反映了粘弹性小动脉的残余应力^[15]。残余应力是指动脉在无载荷状态下的应力,正常条件下血管内壁呈压缩应力,外层呈牵张应力,

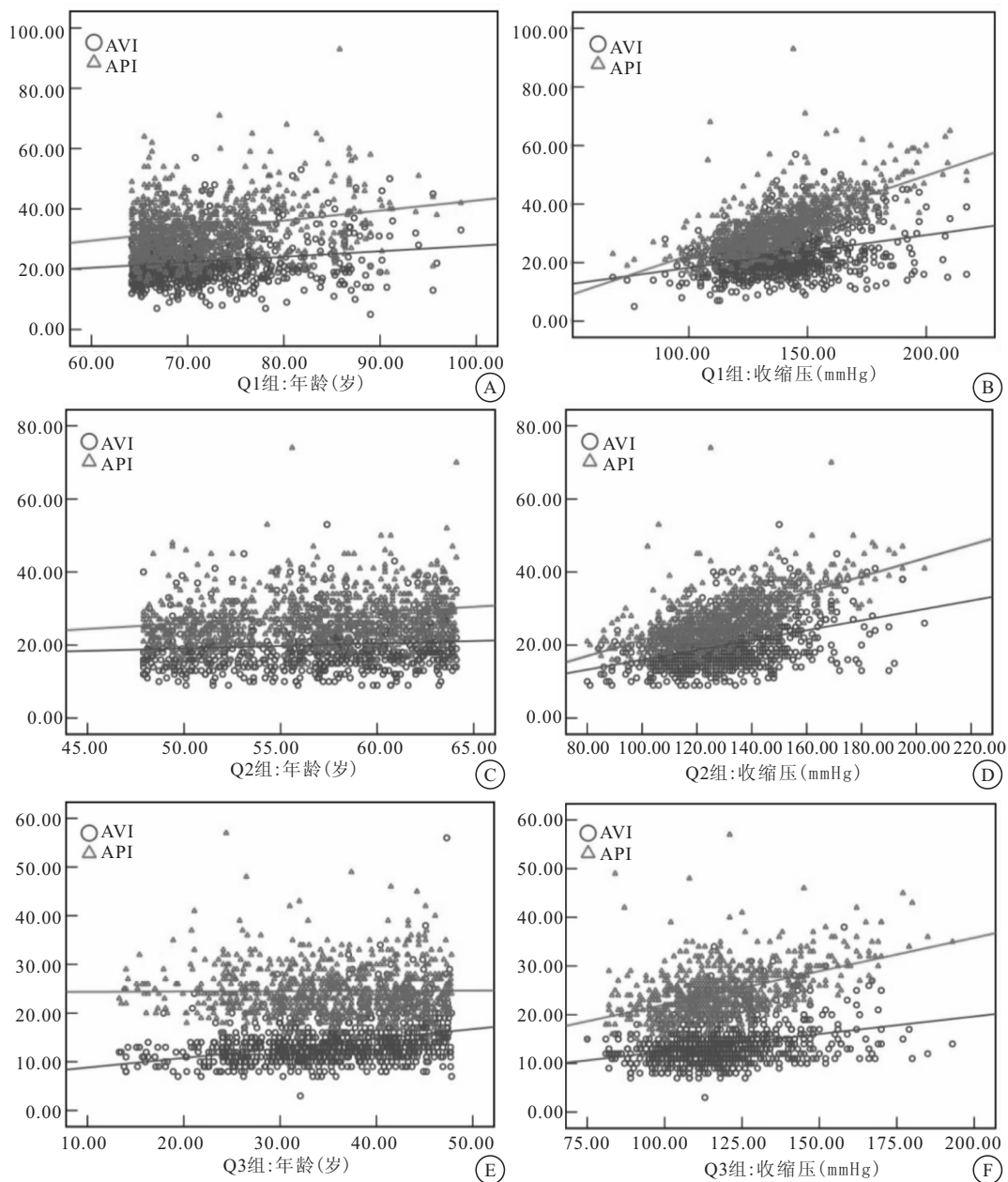


图 1 AVI 和 API 与年龄及收缩压相关分析图

Figure 1 Correlation analysis of AVI and API with age and systolic blood pressure

注: A. Q1 组 AVI、API 与年龄相关性; B. Q1 组 AVI、API 与收缩压相关性; C. Q2 组 AVI、API 与年龄相关性; D. Q2 组 AVI、API 与收缩压相关性; E. Q3 组 AVI、API 与年龄相关性; F. Q3 组 AVI、API 与收缩压相关性。

内层应力远高于外层。生理条件下,残余应力使血管壁的应力沿壁厚度分布均匀,避免应力集中^[16]。因此,API 可反映血管重构,评估血管僵硬,监测动脉老化程度^[17]。本研究结果表明,API 随年龄呈线性正相关。这可能是因为,随着年龄增加,多种血管危险因素可致血管外膜胶原沉积,弹力纤维拉伸或断裂,进而血管残余应力减小,影响血管应力分布和顺应性^[18]。值得一提的是,本研究发现舒张压和收缩压是 API 独立影响因素,提示血压影响肌性小动脉残余应力。这可能是血压通过介导细胞机械感受器,引起血

管壁应力分布改变,致血管结构和功能改变,进而影响血管粘弹性和残余应力^[19]。

生物力学建模仿真是血管功能检测仪器原理的一个重要分支,是目前血管功能无创检测技术的最新发展方向之一^[20]。本研究采用生物力学建模仿真无创检测技术,获得了一个较大样本血管僵硬度的数据。本研究结果显示,中心动脉僵硬指标 AVI 随年龄增大而增大,并与年龄和收缩压独立相关;外周小动脉僵硬指标 API 随年龄增大而增大,且与年龄呈线性正相关,与收缩压和舒张压独立相关。提示既往

常规的血管危险因素可能对不同动脉段的影响权重存在差异,年龄影响中心大动脉僵硬度的权重大,而血压对外周小动脉弹性的影响权重大,临床诊治需考虑这种差异。

本研究存在的不足:研究对象是健康体检的自然人群,未对患者病史、其他影响动脉僵硬度的因素进行分析,且各组间性别分布存在差异,其结果可能存在一定的偏倚。

4 结论

AVI 和 API 可用于评估不同段动脉僵硬度的,可为动脉僵硬度的筛查提供一个新的替代指标,能对临床心脑血管病早期筛查和治疗提供帮助。

【参考文献】

[1] PAHIGIANNIS K, THOMPSON-PAUL A M, BARFIELD W, *et al.* Progress toward improved cardiovascular health in the United States[J]. *Circulation*, 2019,139(16):1957-1973.

[2] NIIRANEN T J, KALESAN B, MITCHELL G F, *et al.* Relative contributions of pulse pressure and arterial stiffness to cardiovascular disease[J]. *Hypertension*, 2019,73(3):712-717.

[3] LI Z, QIN Y, DU L, *et al.* Impact of renal transplantation on carotid intima-media thickness and pulse wave velocity[J]. *BMC Med Imaging*, 2018,18(1):23.

[4] HARADA H, IKEDA H, NISHIYAMA Y, *et al.* Increased arterial velocity pulse index is an independent factor related to skeletal muscle mass reduction and tissue damage in patients with cardiovascular disease[J]. *Hypertens Res*, 2020,43(6):534-542.

[5] 张絮洁, 苟中林, 王天琦, 等. 生物力学建模仿真在无创心血管检测技术与设备研发中的应用[J]. *生物医学工程学杂志*, 2020, 37:990-999.

[6] FENGLER K, ROMMEL K P, HOELLRIEGEL R, *et al.* Pulse wave velocity predicts response to renal denervation in isolated systolic hypertension [J]. *J Am Heart Assoc*, 2017, 6(5):e005879.

[7] ARIA S, ELFARRI Y, ELVEGÅRD M, *et al.* Measuring blood pulse wave velocity with bioimpedance in different age groups[J]. *Sensors (Basel)*, 2019,19(4):850.

[8] YANG H, ZHAO J, DENG X, *et al.* Pulse wave velocity is decreased with obesity in an elderly Chinese population[J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2019,21(9):1379-1385.

[9] HEFFERNAN K S, JAE S Y, LOPRINZI P D. Association between estimated pulse wave velocity and mortality in U. S. Adults[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020,75(15):1862-1864.

[10] YANG T H, KIM J U, KIM Y M, *et al.* A new blood pulsation simulator platform incorporating cardiovascular physiology for evaluating radial pulse waveform[J]. *J Healthc Eng*, 2019, 2019:4938063.

[11] MURATA N, SHIINA K, YAMASHITA J, *et al.* Increase in the arterial velocity pulse index of patients with peripheral artery disease[J]. *Pulse (Basel)*, 2018,5(1-4):154-160.

[12] HITSUMOTO T. Arterial velocity pulse index as a novel marker of atherosclerosis using pulse wave analysis on high sensitivity troponin T in hypertensive patients[J]. *Cardiol Res*, 2017, 8(2):36-43.

[13] 许文哲, 谢予晨, 陈晴晴, 等. 超重与高动脉僵硬度的相关性研究[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2022,24(3):269-272.

[14] LIN Y, HUANG J, CHEN Y, *et al.* Intelligent segmentation of intima-media and plaque recognition in carotid artery ultrasound images[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2022,48(3):469-479.

[15] DU Y, LÜ C, DESTRADE M, *et al.* Influence of Initial residual stress on growth and pattern creation for a layered aorta[J]. *Sci Rep*, 2019,9(1):8232.

[16] VANDIVER R. Effect of residual stress on peak cap stress in arteries[J]. *Math Biosci Eng*, 2014,11(5):1199-1214.

[17] SIGAEVA T, SOMMER G, HOLZAPFEL G A, *et al.* Anisotropic residual stresses in arteries[J]. *J R Soc Interface*, 2019, 16(151):20190029.

[18] WANG M, MONTICONE R E, MCGRAW K R. Proinflammation, profibrosis, and arterial aging[J]. *Aging Med (Milton)*, 2020,3(3):159-168.

[19] XIAO H, TAN I, BUTLIN M, *et al.* Arterial viscoelasticity: role in the dependency of pulse wave velocity on heart rate in conduit arteries[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2017,312(6):H1185-H1194.

[20] HITSUMOTO T. Clinical significance of arterial velocity pulse index in patients with stage B heart failure with preserved ejection fraction[J]. *Cardiol Res*, 2019,10(3):142-149.

(收稿日期:2022-03-27;修回日期:2022-05-07;编辑:黎仕娟)

(上接第 523 页)

[15] 郭蕾, 薛荣亮. miR-487b/IL-33/ST2 在脓毒症中的表达及意义[J]. *西部医学*, 2019, 31(6):953-957.

[16] KABIRI M, HEMMATPOUR A, ZARE F, *et al.* Paroxetine modulates immune responses by activating a JAK2/STAT3 signaling pathway [J]. *J Biochem Mol Toxicol*, 2020, 34(5):e22464.

[17] ZHANG X, WANG J, ZHU J, *et al.* Downregulation of SHANK-associated RH domain-interacting protein elevates interleukin-33 expression by stimulating the Janus kinase 2/signal transducer and activator of transcription signalling pathway in HaCaT cells[J]. *Clin Exp Dermatol*, 2021, 46(5):880-887.

[18] 张琪, 姜利, 席修明, 等. 血清 TRAF-6, MCP-1, sTREM-1, IL-33 水平与脓毒症严重程度及与合并急性肾损伤关系的临床分析[J]. *现代生物医学进展*, 2019, 19(23):4440-4444.

[19] 隗世波, 刘青云, 石雅娴. IL-33 修饰的 BMSCs 通过 MyD88 减轻脓毒症所致大鼠急性肾损伤的疗效观察[J]. *中国病理生理杂志*, 2020, 36(8):1450-1457.

[20] ZHU F, BAI X, HONG Q, *et al.* STAT3 inhibition partly abolishes IL-33-induced bone marrow-derived monocyte phenotypic transition into fibroblast precursor and alleviates experimental renal interstitial fibrosis[J]. *J Immunol*, 2019, 203(10):2644-2654.

(收稿日期:2021-12-22;修回日期:2023-03-31;编辑:黎仕娟)