

本文引用: 孟晓敏, 白 兰, 刘鹏霄, 等. 无创血流动力学参数在中年与青年高血压患者中的变化及其与颈动脉病变的关系[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(4): 325-334. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.04.006.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-04-0325-10

· 临床研究 ·

无创血流动力学参数在中年与青年高血压患者中的变化 及其与颈动脉病变的关系

孟晓敏¹, 白 兰², 刘鹏霄², 马志毅³, 蔡增博¹

广安门医院保定医院 1. 全科医学科, 2. 肾风湿科, 河北省保定市 071000; 3. 清华大学附属北京清华长庚医院
清华大学临床医学院心内科, 北京市 102218

[摘 要] [目的] 探讨无创血流动力学参数在中年与青年高血压患者中的变化及其与颈动脉病变的关系。[方法] 纳入 2021 年 10 月—2024 年 4 月收治的 689 例高血压患者为研究对象, 根据收缩压(SBP)、舒张压(DBP)水平将患者划分为高血压 1 级(SBP:140~159 mmHg; DBP:90~99 mmHg)、高血压 2 级(SBP:160~179 mmHg; DBP:100~109 mmHg)和高血压 3 级(SBP:≥180 mmHg; DBP:≥110 mmHg)。根据 Crouse 积分评估颈动脉病变程度:无病变[0 分; 内膜中膜厚度(IMT)<1 mm]、IMT 增厚(1 分; IMT 1~1.2 mm)、斑块形成(2 分; IMT 1.2~1.5 mm)、轻微狭窄(3 分; IMT 1.5~2.0 mm)、显著狭窄(4 分; IMT>2.0 mm)。根据 IMT 值将患者分为颈动脉病变组(IMT≥1 mm, 即 Crouse 积分≥1 分)和无病变组(IMT<1 mm, 即 Crouse 积分<1 分)。多因素 Logistic 回归模型分析高血压患者颈动脉病变的危险因素。相乘模型与相加模型分析年龄与无创血流动力学参数对颈动脉病变的交互作用。限制性立方样条模型分析无创血流动力学参数与高血压患者颈动脉病变的水平-反应关系。[结果] 中青年高血压患者从高血压 1 级到 3 级, 冠状动脉重度狭窄(Gensini 评分≥50 分)占比、Crouse 积分≥2 分占比、胸液水平(TFC)、每搏变异率(SVV)、外周血管阻力(SVR)、外周血管阻力指数(SVRI)、加速度指数(ACI)、平均动脉压(MAP)、24 h 平均收缩压(24h-mSBP)、24 h 平均舒张压(24h-mDBP)、24 h 收缩压变异性(24hSBPV)和 24 h 舒张压变异性(24hDBPV)逐渐升高($P<0.05$)。且与无病变组比较, 颈动脉病变组年龄以及上述指标均升高($P<0.05$)。中年、高血压分级 3 级、 $TFC>32\text{ k}\Omega^{-1}$ 、 $SVR>1\ 534\text{ dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^5$ 、 $ACI>91$ 、 $24\text{h-mSBP}>167\text{ mmHg}$ 、 $24\text{hSBPV}>12.9\text{ mmHg}$ 是影响颈动脉病变的独立危险因素($P<0.05$)。年龄与 TFC、SVR、ACI 对颈动脉病变具有相乘交互作用($OR>1$)和相加交互作用($RERI>0, AP>0, SI>1$)。TFC、SVR 和 ACI 水平与青年($P_{\text{non-linearity}}=0.002, 0.016, 0.028$)和中年($P_{\text{non-linearity}}=0.003, 0.007, 0.015$)高血压患者颈动脉病变均呈非线性水平-反应关系。[结论] 中青年高血压患者 TFC、SVR 和 ACI 水平随血压分级的升高而升高, 且各指标升高均是颈动脉病变的独立危险因素。[关键词] 无创血流动力学参数; 中青年高血压; 颈动脉病变; 血压变异性指标 [中图分类号] R5 [文献标识码] A

Changes of non-invasive hemodynamic parameters in young and middle-aged patients with hypertension and their relationship with carotid arterial lesions

MENG Xiaomin¹, BAI Lan², LIU Pengxiao², MA Zhiyi³, CAI Zengbo¹

1. Department of General Medicine, 2. Department of Nephrology and Rheumatology, Baoding Hospital, Guang'anmen Hospital, Baoding, Hebei 071000, China; 3. Department of Cardiology, School of Clinical Medicine, Tsinghua University & Beijing Tsinghua Changgung Hospital Affiliated to Tsinghua University, Beijing 102218, China

[ABSTRACT] **Aim** To explore the changes of non-invasive hemodynamic parameters in young and middle-aged patients with hypertension and their relationship with carotid arterial lesions. **Methods** A total of 689 hypertensive patients admitted to our hospital from October 2021 to April 2024 were enrolled as the research subjects. Patients were divided into hypertension grade 1 ((systolic blood pressure (SBP): 140~159 mmHg; diastolic blood pressure (DBP): 90~99 mmHg), hypertension grade 2 (SBP: 160~179 mmHg; DBP: 100~109 mmHg) and hypertension grade 3

[收稿日期] 2025-09-25

[修回日期] 2026-01-23

[基金项目] 河北省科技计划民生项目(20377720D)

[作者简介] 孟晓敏, 硕士, 主任医师, 研究方向为高血压及血管功能, E-mail: mxm197228@sina.com。

(SBP: ≥ 180 mmHg; DBP: ≥ 110 mmHg) according to their levels of SBP and DBP. The severity of carotid artery lesions was evaluated using the Crouse score, with the grading criteria as follows: non-lesion (0 point: intima-media thickness (IMT) < 1 mm), IMT thickening (1 point: IMT $1 \sim 1.2$ mm), plaque formation (2 points: IMT $1.2 \sim 1.5$ mm), mild stenosis (3 points: IMT $1.5 \sim 2.0$ mm) and severe stenosis (4 points: IMT > 2.0 mm). In addition, patients were divided into the carotid artery lesion group (IMT ≥ 1 mm, Crouse score ≥ 1 point) and the non-lesion group (IMT < 1 mm, Crouse score < 1 point) according to IMT values. Multivariate Logistic regression model was used to identify risk factors for carotid artery lesions in hypertensive patients. Multiplicative model and additive model were used to analyze the interaction between age and non-invasive hemodynamic parameters on carotid arterial lesions. Additionally, restricted cubic spline model was used to examine the dose-response relationship between non-invasive hemodynamic parameters and carotid arterial lesions in hypertensive patients.

Results In young and middle-aged hypertensive patients, the proportions of severe coronary artery stenosis (Gensini score ≥ 50 points) and Crouse score ≥ 2 points, as well as thoracic fluid content (TFC), stroke volume variation (SVV), systemic vascular resistance (SVR), systemic vascular resistance index (SVRI), acceleration index (ACI), mean arterial pressure (MAP), 24-hour mean systolic blood pressure (24h-mSBP), 24-hour mean diastolic blood pressure (24h-mDBP), 24-hour systolic blood pressure variability (24hSBPV), and 24-hour diastolic blood pressure variability (24hDBPV) all showed a gradual increase from hypertension grade 1 to grade 3 ($P < 0.05$). Compared with the non-lesion group, age and the above-mentioned indicators were significantly increased in the carotid artery lesion group ($P < 0.05$). Middle-age, grade 3 hypertension, TFC $> 32 \text{ k}\Omega^{-1}$, SVR $> 1\,534 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$, ACI > 91 , 24h-mSBP > 167 mmHg and 24hSBPV > 12.9 mmHg were independent risk factors for carotid arterial lesions. Age exhibited multiplicative interaction ($OR > 1$) and additive interaction ($RERI > 0$, $AP > 0$, $SI > 1$) with TFC, SVR and ACI on carotid arterial lesions. Levels of TFC, SVR, and ACI exhibited a non-linear dose-response relationship with carotid arterial lesions in young hypertensive patients ($P_{\text{non-linearity}} = 0.002, 0.016, 0.028$) and middle-aged hypertensive patients ($P_{\text{non-linearity}} = 0.003, 0.007, 0.015$).

Conclusion In young and middle-aged hypertensive patients, the levels of TFC, SVR and ACI all increase with the elevated blood pressure grade, as well as the elevation of each indicator is an independent risk factor for carotid arterial lesions.

[**KEY WORDS**] non-invasive hemodynamic parameters; young and middle-aged people with hypertension; carotid arterial lesions; blood pressure variability index

高血压是全球范围内导致死亡和残疾的主要原因^[1]。近年来,高血压发病群体呈现年轻化趋势,中青年高血压的发病率逐年上升^[2]。相关研究^[3]指出,37%的高血压患者处于血液高动力状态。当前,多数医生对高血压患者的诊断工具仅限于血压计,胸液水平(thoracic fluid content, TFC)、外周血管阻力(systemic vascular resistance, SVR)、加速度指数(acceleration index, ACI)等反映血流动力学状态的参数虽已在临床中广泛应用,但在常规诊断中的重视程度仍显不足^[4]。随着无创血流动力学监测技术的不断发展,无创阻抗心电图方法(impedance cardiogram, ICG)作为一种独特、高精度的非侵入性工具,越来越多的被用于评估血流动力学参数。使用 ICG 测量高血压患者的各种血流动力学指标,可更完整地描述病情,更精确地识别高危人群,并且更有效地进行针对性药物治疗管理^[5-6]。基于此,本文将围绕无创血流动力学参数展开研究,探讨其在中年与青年高血压患者中的变化特征,以及这些变化与颈动脉病变之间的关联。

1 资料和方法

1.1 研究对象

采集 2021 年 10 月—2024 年 4 月于广安门医院保定医院就诊的 689 例中年与青年高血压患者的临床资料,其中青年高血压患者(18~44 岁)338 例,男 155 例,女 183 例;中年高血压患者(45~59 岁)351 例,男 173 例,女 178 例。(1)纳入标准:目前服用降压药治疗或患者收缩压 ≥ 140 mmHg 或舒张压 ≥ 90 mmHg;年龄 18~59 岁;病例资料完整。(2)排除标准:严重的肝肾心功能障碍者;存在既往颈动脉病变的患者;伴随心脏疾病如早搏、心房颤动等影响血流动力学的疾病;精神障碍、依从性差的患者。

1.2 使用仪器及方法

本研究使用 Bioz-2011 无创血流动力学监测系统。超声颈动脉检查:患者保持仰卧位,采用迈瑞 TE7-MAX 多普勒超声诊断仪,检测患者颈总动脉,并于患者动脉分叉部约 1.5 cm 的位置检测血管后壁处内膜中膜厚度(intima-media thickness, IMT)。血压变异性指标测量:采用 KANG KC-2850 便携式、

无创、自动化监测记录系统,日间每 15 min 测量 1 次,夜间每 30 min 测量 1 次。变异系数为血压标准差与血压平均值的比值。

1.3 观察指标

(1) 一般资料:年龄、性别、吸烟史(每日吸烟>2 支,连续或累积 6 个月及以上)、饮酒史(每日饮酒>50 mL,连续或累积 6 个月及以上)、糖尿病^[7]、心脏病^[8-9]、高血压分级[分为高血压 1 级(SBP:140~159 mmHg;DBP:90~99 mmHg)、2 级(SBP:160~179 mmHg;DBP:100~109 mmHg)和 3 级(SBP:≥180 mmHg;DBP:≥110 mmHg)]^[10]。(2) 无创血流动力学参数、血压变异性指标:TFC、每搏变异率(stroke volume variation,SVV)、SVR、外周血管阻力指数(systemic vascular resistance index,SVRI)、ACI、24 h 平均收缩压(24-hour mean systolic blood pressure,24h-mSBP)、24 h 平均舒张压(24-hour mean diastolic blood pressure,24h-mDBP)、平均动脉压(mean arterial pressure,MAP);除 24h-mSBP 和 24h-mDBP 外,还需收集 24 h 收缩压变异性(24-hour systolic blood pressure variability,24hSBPV)和 24 h 舒张压变异性(24-hour diastolic blood pressure variability,24hDBPV)。(3) 颈动脉病变程度:采用 Crouse 积分评估^[11],分为无病变(0 分:颈动脉 IMT<1 mm)、IMT 增厚(1 分:IMT 1~1.2 mm)、斑块形成(2 分:IMT 1.2~1.5 mm)、轻微狭窄(3 分:IMT 1.5~2.0 mm)、显著狭窄(4 分:IMT>2.0 mm)。(4) 冠状动脉狭窄情况:采用 Gensini 评分评估,≤24 分为轻度狭窄,25~49 分为中度狭窄,≥50 分为重度狭窄。

1.4 颈动脉病变判定标准

当 IMT≥1 mm 时判定颈动脉病变,即 Crouse 积分≥1 分判定为颈动脉病变^[12]。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件统计分析数据。计数资料以例数和百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,两组间比较采用 t 检验,多组间比较采用 F 检验。采用多因素 Logistic 回归模型分析高血压患者颈动脉病变的危险因素。相乘模型与相加模型分析年龄与无创血流动力学参数对颈动脉病变的交互作用,计算相对超额危险度(relative excess risk due to interaction,RERI)、交互作用归因比(attribution proportion,AP)、交互作用指数(synergy index,SI)。限制性立方样条模型分析无创血流动力学参数与高血压患者颈动脉病变的水平-反应关系。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 青年组和中年组不同高血压分级亚组患者基本资料比较

青年组从高血压 1 级到 3 级,冠状动脉重度狭窄占比逐渐升高,分别为 22.81%、45.08% 和 81.37% ($P<0.05$),Crouse 积分≥2 分占比也逐渐升高,分别为 21.93%、41.80%、84.31% ($P<0.05$);中年组的重度狭窄占比从高血压 1 级到 3 级亦逐渐升高,分别为 25.62%、44.19%、85.15% ($P<0.05$),Crouse 积分≥2 分占比也逐渐升高,分别为 23.14%、41.86%、87.13% ($P<0.05$;表 1)。

表 1. 青年组和中年组不同高血压分级亚组基本资料比较

Table 1. Comparison of baseline characteristics among different hypertension grade subgroups in young and middle-aged groups

项目	青年组				中年组			
	高血压 1 级 (<i>n</i> =114)	高血压 2 级 (<i>n</i> =122)	高血压 3 级 (<i>n</i> =102)	<i>P</i>	高血压 1 级 (<i>n</i> =121)	高血压 2 级 (<i>n</i> =129)	高血压 3 级 (<i>n</i> =101)	<i>P</i>
年龄/岁	29.26±6.59	29.18±6.67	30.75±6.45	0.148	51.46±4.51	50.96±4.38	51.41±3.99	0.607
男性/[例(%)]	54(47.37)	54(44.26)	47(46.08)	0.891	58(47.93)	63(48.84)	52(51.49)	0.450
吸烟史/[例(%)]	50(43.86)	62(50.82)	55(53.92)	0.312	60(49.59)	68(52.71)	55(54.46)	0.397
饮酒史/[例(%)]	52(45.61)	60(49.18)	53(51.96)	0.645	62(51.24)	70(54.26)	62(61.39)	0.167
糖尿病史/[例(%)]	20(17.54)	25(20.49)	26(25.49)	0.354	42(34.71)	47(36.43)	39(38.61)	0.436
心脏病/[例(%)]	11(9.65)	15(12.30)	16(15.69)	0.405	28(23.14)	37(28.68)	34(33.66)	0.121
Gensini 评分/[例(%)]				<0.001				<0.001
轻度狭窄	88(77.19)	67(54.92) ^a	19(18.63) ^{ab}		90(74.38)	72(55.81) ^a	15(14.85) ^{ab}	
重度狭窄	26(22.81)	55(45.08) ^a	83(81.37) ^{ab}		31(25.62)	57(44.19) ^a	86(85.15) ^{ab}	
Crouse 积分/[例(%)]				<0.001				<0.001
<2 分	89(78.07)	71(58.20) ^a	16(15.69) ^{ab}		93(76.86)	75(58.14) ^a	13(12.87) ^{ab}	
≥2 分	25(21.93)	51(41.80) ^a	86(84.31) ^{ab}		28(23.14)	54(41.86) ^a	88(87.13) ^{ab}	

注:a 为 $P<0.05$,与同组高血压 1 级比较;b 为 $P<0.05$,与同组高血压 2 级比较。

2.2 青年组和中年组不同高血压分级亚组无创血流动力学参数比较

从高血压 1 级到 3 级,青年组和中年组的 TFC、

SVV、SVR、SVRI、ACI、MAP 均逐渐升高,高血压 2 级较高血压 1 级、高血压 3 级较高血压 2 级上述各指标显著升高($P<0.05$;表 2)。

表 2. 青年组和中年组不同高血压分级亚组无创血流动力学参数比较

Table 2. Comparison of non-invasive hemodynamic parameters among different hypertension grade subgroups in young and middle-aged groups

分组		TFC/ $k\Omega^{-1}$	SVV/%	SVR/ ($\text{dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$)	SVRI/ ($\text{dyne} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^2/\text{cm}^5$)	ACI	MAP/mmHg
青年组	高血压 1 级	30.04±3.28	4.65±1.66	1 259.56±204.16	2 304.18±220.99	85.51±9.98	90.08±7.60
	高血压 2 级	32.78±3.02 ^a	5.19±1.71 ^a	1 635.85±215.87 ^a	3 144.38±272.58 ^a	90.56±8.95 ^a	110.39±8.50 ^a
	高血压 3 级	36.01±3.39 ^{ab}	10.45±1.79 ^{ab}	1 992.22±249.16 ^{ab}	3 281.10±265.76 ^{ab}	98.40±9.15 ^{ab}	113.97±7.07 ^{ab}
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
中年组	高血压 1 级	29.64±2.93	4.39±1.72	1 139.64±202.55	2 229.55±217.52	85.24±7.79	87.64±7.25
	高血压 2 级	31.63±3.18 ^a	5.15±1.80 ^a	1 430.03±205.35 ^a	2 675.36±233.89 ^a	90.46±8.86 ^a	100.36±7.97 ^a
	高血压 3 级	33.80±3.07 ^{ab}	9.63±1.83 ^{ab}	1 862.05±253.54 ^{ab}	3 161.02±230.84 ^{ab}	96.30±8.98 ^{ab}	112.39±7.92 ^{ab}
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:a 为 $P<0.05$,与同组高血压 1 级比较;b 为 $P<0.05$,与同组高血压 2 级比较。

2.3 青年组和中年组不同高血压分级亚组血压变异性指标水平比较

从高血压 1 级到 3 级,青年组和中年组的 24h-

mSBP、24h-mDBP、24hSBPV 和 24hDBPV 均逐渐升高,高血压 2 级较高血压 1 级、高血压 3 级较高血压 2 级上述各指标均显著升高($P<0.05$;表 3)。

表 3. 青年组和中年组不同高血压分级亚组血压变异性指标水平比较

Table 3. Comparison of blood pressure variability indices among different hypertension grade subgroups in young and middle-aged groups

单位:mmHg

项目	青年组				中年组			
	高血压 1 级 ($n=114$)	高血压 2 级 ($n=122$)	高血压 3 级 ($n=102$)	<i>P</i>	高血压 1 级 ($n=121$)	高血压 2 级 ($n=129$)	高血压 3 级 ($n=101$)	<i>P</i>
24h-mSBP	146.22±8.91	164.35±9.38 ^a	186.57±9.18 ^{ab}	<0.001	151.56±8.71	170.56±8.98 ^a	190.86±9.24 ^{ab}	<0.001
24h-mDBP	98.06±6.88	107.47±6.71 ^a	118.45±7.44 ^{ab}	<0.001	95.85±6.78	103.80±7.28 ^a	115.66±7.22 ^{ab}	<0.001
24hSBPV	9.15±3.02	13.05±3.03 ^a	16.96±3.15 ^{ab}	<0.001	9.20±2.95	13.04±2.89 ^a	16.86±3.11 ^{ab}	<0.001
24hDBPV	10.66±2.00	12.78±2.03 ^a	15.74±2.20 ^{ab}	<0.001	10.30±1.88	12.70±2.20 ^a	15.27±2.50 ^{ab}	<0.001

注:a 为 $P<0.05$,与同组高血压 1 级比较;b 为 $P<0.05$,与同组高血压 2 级比较。

2.4 中年组与青年组临床资料比较

中年组患者年龄显著高于青年组($P<0.001$),糖尿病以及心脏病占比均显著高于青年组($P<0.001$),TFC、SVR、SVRI 和 MAP 均显著低于青年组($P<0.001$),24h-mSBP 显著高于青年组,而 24h-mDBP 显著低于青年组($P<0.001$;表 4)。

2.5 颈动脉病变组与无病变组的基本资料比较

病变组的年龄($P=0.001$)、重度狭窄占比、高血压 3 级占比、TFC、SVV、SVR、SVRI、ACI、MAP、24h-mSBP、24h-mDBP、24hSBPV、24hDBPV 均显著高于无病变组,差异有统计学意义($P<0.001$),而其

余资料差异无显著性($P>0.05$;表 5)。

2.6 颈动脉病变的多因素回归分析

以颈动脉病变为因变量(无病变=0,病变=1),将单因素分析中有统计学意义的指标(年龄:青年=0,中年=1;Gensini 评分:轻中度狭窄=0,重度狭窄=1;高血压分级:1 级=1,2 级=2,3 级=3;连续变量均以平均数为分界, $>$ 平均数=1, $\leq$ 平均数=0)纳入多因素 Logistic 回归模型中,发现中年、高血压分级 3 级、TFC $>32 k\Omega^{-1}$ 、SVR $>1 534 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$ 、ACI >91 、24h-mSBP $>167 \text{ mmHg}$ 、24hSBPV $>12.9 \text{ mmHg}$ 为影响颈动脉病变的独立危险因素($P<0.05$;表 6)。

表 4. 中年组与青年组临床资料比较
Table 4. Comparison of clinical characteristics between the middle-aged group and the young group

项目	青年组 (n=338)	中年组 (n=351)	P
年龄/岁	29.68±6.59	51.26±4.31	<0.001
男性/[例(%)]	155(45.86)	173(49.29)	0.368
吸烟史/[例(%)]	167(49.41)	183(52.14)	0.474
饮酒史/[例(%)]	165(48.82)	194(55.27)	0.090
糖尿病/[例(%)]	71(21.01)	128(36.47)	<0.001
心脏病/[例(%)]	42(12.43)	92(26.21)	<0.001
Gensini 评分/[例(%)]			0.782
轻度狭窄	174(51.48)	177(50.43)	
重度狭窄	164(48.52)	174(49.57)	
Crouse 积分/[例(%)]			0.895
<2 分	176(52.07)	181(51.57)	
≥2 分	162(47.93)	170(48.43)	
高血压分级/[例(%)]			0.922
1 级	114(33.73)	121(34.47)	
2 级	122(36.09)	129(36.75)	
3 级	102(30.18)	101(28.77)	
TFC/kΩ ⁻¹	32.83±4.00	31.57±3.47	<0.001
SVV/%	6.59±3.07	6.18±2.85	0.064
SVR/(dyne·s/cm ⁵)	1 616.48±367.80	1 454.24±360.94	<0.001
SVRI/(dyne·s·m ² /cm ⁵)	2 902.25±499.88	2 661.42±433.63	<0.001
ACI	91.22±10.68	90.34±9.58	0.253
MAP/mmHg	104.62±13.05	99.44±12.49	<0.001
24h-mSBP/mmHg	164.94±18.54	169.85±17.97	<0.001
24h-mDBP/mmHg	107.61±10.73	104.47±10.59	<0.001
24hSBPV/mmHg	12.92±4.36	12.81±4.25	0.759
24hDBPV/mmHg	12.96±2.90	12.61±2.94	0.124

表 5. 颈动脉病变组与无病变组的基本资料比较
Table 5. Comparison of baseline characteristics between the carotid arterial lesion group and the non-lesion group

项目	无病变组 (n=151)	病变组 (n=538)	P
年龄/岁	37.89±12.22	41.46±12.01	0.001
男性/[例(%)]	65(43.05)	263(48.88)	0.204
吸烟史/[例(%)]	73(48.34)	277(51.49)	0.495
饮酒史/[例(%)]	74(49.01)	285(52.97)	0.388
糖尿病/[例(%)]	37(24.50)	162(30.11)	0.179
心脏病/[例(%)]	26(17.22)	108(20.07)	0.433
Gensini 评分/[例(%)]			<0.001
轻度狭窄	151(100.00)	200(37.17)	
重度狭窄	0(0.00)	338(62.83)	
高血压分级/[例(%)]			<0.001
1 级	127(84.11)	108(20.07)	
2 级	17(11.26)	234(43.49)	
3 级	7(4.64)	196(36.43)	
TFC/kΩ ⁻¹	30.26±3.37	32.72±3.73	<0.001
SVV/%	4.95±2.05	6.78±3.06	<0.001
SVR/(dyne·s/cm ⁵)	1 272.44±264.37	1 607.19±366.22	<0.001
SVRI/(dyne·s·m ² /cm ⁵)	2 395.42±393.42	2 887.38±448.99	<0.001
ACI	86.85±9.72	91.87±9.99	<0.001
MAP/mmHg	92.25±10.50	104.71±12.34	<0.001
24h-mSBP/mmHg	153.03±12.74	171.49±17.72	<0.001
24h-mDBP/mmHg	99.50±7.97	107.84±10.74	<0.001
24hSBPV/mmHg	9.96±3.55	13.68±4.15	<0.001
24hDBPV/mmHg	10.96±2.31	13.29±2.88	<0.001

表 6. 颈动脉病变的多因素回归分析
Table 6. Multivariate regression analysis of carotid arterial lesions

变量	β	SE	Wald χ ²	P	OR	95% CI
中年	1.398	0.422	10.982	0.001	4.049	1.771 ~ 9.259
重度狭窄	0.719	0.526	1.870	0.172	2.053	0.732 ~ 5.756
高血压 2 级	0.749	0.544	1.896	0.169	2.115	0.728 ~ 6.143
高血压 3 级	1.396	0.511	7.461	0.006	4.038	1.483 ~ 10.994
TFC>32 kΩ ⁻¹	1.424	0.423	11.330	0.001	4.153	1.813 ~ 9.515
SVV>6%	0.961	0.504	3.635	0.057	2.614	0.973 ~ 7.020
SVR>1 534 dyne·s/cm ⁵	1.434	0.465	9.512	0.002	4.196	1.687 ~ 10.439
SVRI>2 780 dyne·s·m ² /cm ⁵	0.997	0.516	3.736	0.054	2.711	0.986 ~ 7.453
ACI>91	1.255	0.432	8.444	0.004	3.509	1.505 ~ 8.183
MAP>102 mmHg	0.709	0.524	1.831	0.176	2.032	0.728 ~ 5.675
24h-mSBP>167 mmHg	1.226	0.482	6.474	0.011	3.409	1.325 ~ 8.768
24h-mDBP>106 mmHg	0.783	0.552	2.010	0.157	2.187	0.741 ~ 6.452
24hSBPV>12.9 mmHg	1.323	0.502	6.949	0.009	3.756	1.404 ~ 10.047
24hDBPV>12.8 mmHg	0.862	0.516	2.791	0.095	2.368	0.861 ~ 6.510

2.7 年龄与无创血流动力学参数对颈动脉病变的交互作用分析

相乘交互模型显示,年龄与 TFC、SVR、ACI 对颈动脉病变均具有相乘交互作用 ($OR>1$; 表 7)。将所有变量进行二分类处理:年龄分为中年 ($=1$)、青年 ($=0$); TFC、SVR 和 ACI 均以其平均值为界, $>$ 平均值记为 1, $\leq$ 平均值记为 0, 三者平均值依次为

$32 \text{ k}\Omega^{-1}$ 、 $1\,534 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$ 和 91。相加交互模型显示,年龄与 TFC、SVR、ACI 对颈动脉病变均具有相加交互作用 ($RERI>0$, $AP>0$, $SI>1$), 中年且 $TFC>32 \text{ k}\Omega^{-1}$ 、 $SVR>1\,534 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$ 和 $ACI>91$ 者颈动脉病变发生风险是青年且 $TFC \leq 32 \text{ k}\Omega^{-1}$ 、 $SVR \leq 1\,534 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$ 和 $ACI \leq 91$ 的 3.889、4.216 和 4.208 倍(表 8)。

表 7. 年龄与无创血流动力学参数对颈动脉病变的相乘交互作用分析

Table 7. Multiplicative interaction analysis of age and non-invasive hemodynamic parameters for carotid arterial lesions

变量	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95% CI
年龄	0.966	0.458	4.451	0.035	2.628	1.071 ~ 6.449
TFC	0.699	0.237	8.702	0.003	2.012	1.264 ~ 3.202
年龄×TFC	0.237	0.114	4.309	0.038	1.267	1.013 ~ 1.584
年龄	1.159	0.462	6.298	0.012	3.188	1.289 ~ 7.885
SVR	0.665	0.260	6.537	0.011	1.944	1.168 ~ 3.236
年龄×SVR	0.235	0.109	4.651	0.031	1.265	1.022 ~ 1.566
年龄	1.016	0.436	5.430	0.020	2.762	1.175 ~ 6.492
ACI	0.633	0.245	6.673	0.010	1.883	1.165 ~ 3.044
年龄×ACI	0.221	0.104	4.505	0.034	1.247	1.017 ~ 1.529

表 8. 年龄与无创血流动力学参数对颈动脉病变的相加交互作用分析

Table 8. Additive interaction analysis of age and non-invasive hemodynamic parameters for carotid arterial lesions

年龄	参数	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95% CI
青年	低 TFC	—	—	—	—	1.000	—
	高 TFC	0.487	0.209	5.437	0.020	1.628	1.081 ~ 2.452
中年	低 TFC	0.590	0.241	5.993	0.015	1.804	1.125 ~ 2.893
	高 TFC	1.358	0.464	8.568	0.004	3.889	1.566 ~ 9.656
$RERI=1.457$ (95% CI: 1.270 ~ 1.671); $AP=0.375$ (95% CI: 0.170 ~ 0.824); $SI=2.017$ (95% CI: 1.159 ~ 3.513)							
青年	低 SVR	—	—	—	—	1.000	—
	高 SVR	0.602	0.246	5.980	0.015	1.825	1.127 ~ 2.956
中年	低 SVR	0.752	0.281	7.160	0.008	2.121	1.223 ~ 3.679
	高 SVR	1.439	0.502	8.216	0.004	4.216	1.576 ~ 11.277
$RERI=1.270$ (95% CI: 1.096 ~ 1.471); $AP=0.301$ (95% CI: 0.139 ~ 0.651); $SI=1.653$ (95% CI: 1.005 ~ 2.719)							
青年	低 ACI	—	—	—	—	1.000	—
	高 ACI	0.554	0.235	5.567	0.019	1.741	1.098 ~ 2.760
中年	低 ACI	0.701	0.257	7.442	0.007	2.016	1.218 ~ 3.336
	高 ACI	1.437	0.484	8.815	0.003	4.208	1.630 ~ 10.866
$RERI=1.451$ (95% CI: 1.221 ~ 1.724); $AP=0.345$ (95% CI: 0.189 ~ 0.628); $SI=1.826$ (95% CI: 1.016 ~ 3.281)							

注:“—”表示无法获取。

2.8 无创血流动力学参数与中年和青年高血压患者颈动脉病变的水平-反应关系

青年组以中位数 $TFC=33 \text{ k}\Omega^{-1}$ 、 $SVR=1\,623 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$ 和 $ACI=90$ 为临界参考点,中年组以中位数 $TFC=32 \text{ k}\Omega^{-1}$ 、 $SVR=1\,406 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^5$ 和

$ACI=90$ 为临界参考点, TFC、SVR 和 ACI 水平与青年 ($P_{\text{non-linearity}}=0.002$ 、 0.016 、 0.028) 和中年 ($P_{\text{non-linearity}}=0.003$ 、 0.007 、 0.015) 高血压患者颈动脉病变均呈非线性水平-反应关系(图 1)。

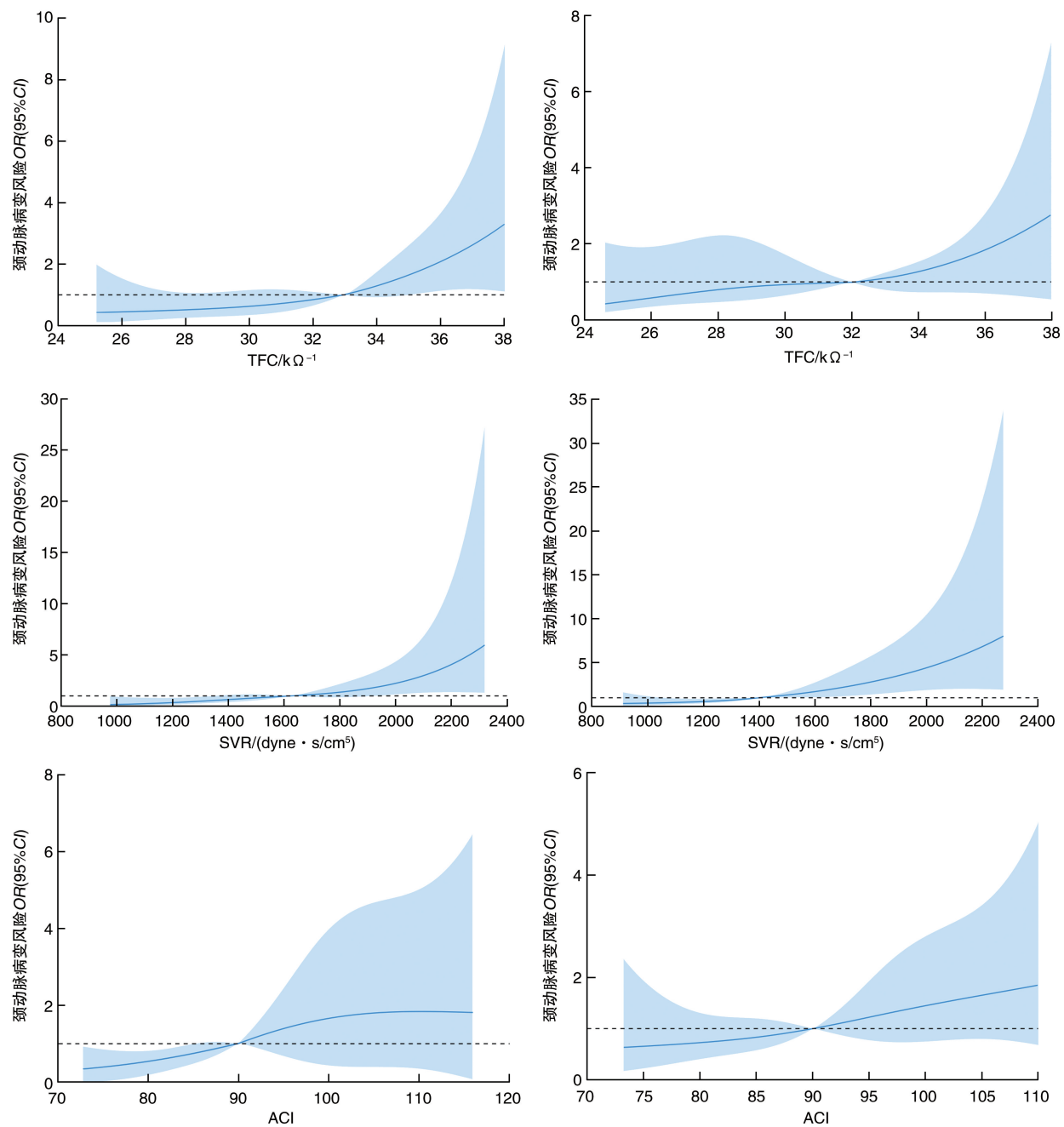


图 1. 无创血流动力学参数与中年和青年高血压患者颈动脉病变的水平-反应关系
左图为青年高血压患者,右图为中年高血压患者。

Figure 1. Dose-response relationship between non-invasive hemodynamic parameters and carotid arterial lesions in young and middle-aged hypertensive patients

3 讨论

高血压是其他心血管疾病的高危因素^[13]。高血压的长期发展可影响动脉血管壁的正常生理功能,形成动脉粥样硬化,而动脉粥样硬化又是心脑血管疾病发生的基础,因而临床及时预测高血压患者的颈动脉硬化情况,对降低血管损伤程度、预防疾病发生、改善生活质量等具有重要价值^[14-15]。

血压变异性异常是心血管疾病、慢性肾病等多种疾病的重要危险因素,可增加动脉粥样硬化的发病风险,24hSBPV 等指标则是反映血压变异性的有效量化指标^[16]。血压变异性增大可升高血管内压力与剪切力,加速血管内皮细胞脱落,进而促进动脉粥样硬化病变进展;而动脉粥样硬化的发生又会进一步加剧血压变异性的波动程度,二者形成恶性循环,共同降低颈动脉血管顺应性,最终诱发颈动

脉病变^[17]。本研究进一步证实了血压变异性与颈动脉病变的密切关联:随着高血压分级由1级升至3级,青年组和中年组的24hSBPV、24hDBPV均显著升高,且颈动脉病变组24hSBPV显著高于无病变组,同时多因素回归分析表明24hSBPV是颈动脉病变的独立危险因素。这一结果提示当24hSBPV>12.9 mmHg时,颈动脉病变风险较24hSBPV≤12.9 mmHg人群增加2.756倍,这或许与血压波动致使血管壁反复承受血流机械力的刺激紧密相关。血压的反复波动会让血管壁持续承受周期性的机械应力刺激,相较于持续高血压的稳态压力,这种动态应力更易破坏血管内皮细胞的完整性,诱发内皮炎症反应、促使氧化应激产物生成,进而加快脂质沉积和泡沫细胞形成,推动颈动脉粥样硬化的发展进程^[18-19]。

ICG是一种低成本、准确、无创的检测心脏血流动力学的方法,可有效评估心排量、心肌收缩力、前负荷、后负荷等血流动力学参数^[20]。相关研究表明^[21-23],高血压无创血流动力学常表现为前负荷的TFC、后负荷的SVR、心肌收缩力的ACI指数升高,而此类血流动力学指标的进一步恶化,往往预示心血管事件将会增加。TFC是胸腔基线阻抗的倒数,与胸腔液体量相关。相关研究已证实动态监测TFC的变化可以指导利尿剂的应用^[24]。本研究针对中青年高血压患者的分析显示,TFC不仅随血压分级升高而显著增加,且颈动脉病变组TFC显著高于无病变组,同时多因素回归分析证实 $TFC>32\text{ k}\Omega^{-1}$ 是颈动脉病变的独立危险因素。相乘模型显示年龄与TFC对颈动脉病变存在显著的相乘交互作用,提示中年人群中TFC升高时,颈动脉病变风险的增加幅度显著大于青年人群,年龄放大了TFC升高的致病效应。相加模型进一步证实二者相加交互作用显著,中年且 $TFC>32\text{ k}\Omega^{-1}$ 的患者颈动脉病变风险是青年且 $TFC\leq 32\text{ k}\Omega^{-1}$ 者的3.889倍。对中青年高血压患者的TFC临界值进一步探索,限制性立方样条分析揭示TFC与中年和青年高血压患者颈动脉病变均呈非线性水平-反应关系。临床干预中需将中青年高血压患者的TFC控制在 $32.0\text{ k}\Omega^{-1}$ 和 $33.0\text{ k}\Omega^{-1}$ 以下,才能更有效地阻断其对颈动脉的损伤,对于高血压3级患者,需优先通过利尿剂等药物调整胸腔液体负荷,降低病变风险。SVR主要反映外周动脉的顺应性。高血压患者的动脉顺应性会随年龄增长而下降。高血压患者因氧化应激、血管内皮损伤、血管平滑肌增生等机制致使动脉顺应性发生改变,进而引发动脉硬化,最终导致SVR和

SVRI升高^[25]。本研究针对中青年高血压患者的分析显示,SVR不仅随血压分级升高而显著增加,且颈动脉病变组SVR显著高于无病变组,同时多因素回归分析证实 $SVR>1\,534\text{ dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^5$ 也是颈动脉病变的独立危险因素。相乘模型显示年龄与SVR对颈动脉病变存在显著的相乘交互作用,提示中年人群中SVR升高对颈动脉病变的影响更显著,年龄与SVR的致病效应存在协同放大作用。相加模型进一步证实二者相加交互作用显著,中年且 $SVR>1\,534\text{ dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^5$ 的患者颈动脉病变风险是青年且 $SVR\leq 1\,534\text{ dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^5$ 者的4.216倍。对中青年高血压患者的SVR临界值进一步探索,限制性立方样条分析揭示SVR与中年和青年高血压患者颈动脉病变均呈非线性水平-反应关系,临界值分别为 $1\,406\text{ dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^5$ 和 $1\,623\text{ dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^5$ 。当SVR未超过临界值时,外周血管的代偿性收缩尚可维持血管稳态;而超过临界值后,血管平滑肌过度增生、内皮损伤加剧,导致动脉顺应性急剧下降,颈动脉血流阻力显著增加,进而加速斑块形成与狭窄进展。本研究中中年和青年高血压3级患者SVR均已超过临界值,与其重度狭窄占比最高的结果相吻合。ACI专门评价心肌收缩能力,为无创血流动力学独有参数,ACI的升高提示患者心肌收缩力升高^[26]。本研究针对中青年高血压患者的分析显示,ACI不仅随血压分级升高而显著增加,且颈动脉病变组ACI显著高于无病变组,同时多因素回归分析证实 $ACI>91$ 也是颈动脉病变的独立危险因素。相乘模型显示年龄与ACI对颈动脉病变存在显著相乘交互作用,提示中年人群中ACI升高时,颈动脉病变风险的增加幅度远高于青年人群,年龄加剧了ACI对血管的损伤效应。相加模型进一步证实二者相加交互作用显著,中年且 $ACI>91$ 的患者病变风险是青年且 $ACI\leq 91$ 者的4.208倍。对中青年高血压患者的ACI临界值进一步探索,限制性立方样条分析揭示ACI与中年和青年高血压患者颈动脉病变均呈非线性水平-反应关系,临界值均为90。本研究中颈动脉病变组ACI均值为91.87,已超出临界值,提示对于ACI超过90的中青年高血压患者,需在控制血压的同时,适当干预心肌收缩力,避免其过度增强对颈动脉的损伤。基于上述研究结果,TFC、SVR与ACI均为颈动脉病变的独立危险因素,且呈现非线性关联。本研究认为,可将TFC、SVR、ACI作为综合指标,以整合三者信息。相较于单一参数,该综合指标能够更全面地评估中青年高血压患者的早期血管病变风险,有助于提高临床早期筛

查的特异性与效率。

本研究表明,中年、高血压 3 级是影响颈动脉病变的独立危险因素。有研究发现,高血压分级对预测脑血管疾病总体负担较高的患者具有良好的诊断效能,这表明控制血压对于减轻冠状动脉粥样硬化负担可能具有一定作用^[27]。国外研究报道,动脉粥样硬化性肾动脉疾病与顽固性高血压有关^[28]。颈动脉斑块、颈动脉 IMT 增厚等因素均是导致患者出现心血管事件及心血管疾病的重要危险因素。颈动脉位置浅、分布广泛,超声 IMT 定量指标可用于临床预测颈动脉病变等高血压相关不良心血管事件^[29-30]。

相较于既往研究,本研究选取中青年这一易被忽视的高危人群作为研究对象,突破了传统线性关联研究的局限。另外,本研究首次明确了 TFC、SVR、ACI 与颈动脉病变的非线性水平-反应关系以及年龄特异性临界值,弥补了该年龄段无创血流动力学参数与血管病变非线性关联研究的不足,为早期精准筛查提供了新的视角。

综上所述,TFC、SVR 与 ACI 水平与青年和中年高血压患者颈动脉病变均呈非线性水平-反应关系。重视无创血流动力学参数与血压变异性指标的评估,并据此实施个体化药物干预与综合管理,有助于降低颈动脉病变等高血压相关不良心血管事件的发生风险。本研究仍存在一定局限性。首先,本研究采用单中心样本采集模式,可能存在选择偏倚,且样本来源单一,可能会对结论的外推性产生影响。后续需开展多中心、大样本的前瞻性队列研究作进一步验证。其次,本研究未深入阐释血流动力学参数变化与颈动脉病变关联的潜在病理生理机制。未来可纳入血管内皮功能指标、炎症因子、氧化应激相关标志物等生物学指标的检测,并结合临床数据和基础实验,系统探讨血流动力学参数变化对血管结构与功能的影响。

[参考文献]

- [1] DEEPSHIKHA, MATHUR P, MONIKA, et al. An overview of hypertension: pathophysiology, risk factors, and modern management[J]. *Curr Hypertens Rev*, 2025, 21(2): 64-81.
- [2] 郎晓荣, 黄素芳, 王 荃, 等. 中青年高血压患者夜间高血压观察及影响因素分析[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2022, 30(11): 961-965.
- LANG X R, HUANG S F, WANG Q, et al. Observation of nocturnal hypertension in young and middle-aged hypertensive patients and analysis of influencing factors[J]. *Chin J*

Arterioscler, 2022, 30(11): 961-965.

- [3] GYSELAERS W. Hemodynamic pathways of gestational hypertension and preeclampsia [J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2022, 226(2S): S988-S1005.
- [4] NIU X, ZHANG Q, XIAO D, et al. A retrospective study of hemodynamic changes in patients after off-pump coronary artery bypass graft surgery using impedance cardiography [J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25: 3454-3462.
- [5] 杨 爽, 白 莎, 王 恒, 等. 老年高血压患者心功能、外周血管阻力与血清 Hey、血脂水平的相关性研究[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2021, 13(1): 47-50.
- YANG S, BAI S, WANG H, et al. Clinical study on changes of cardiac function and peripheral vascular resistance in elderly patients with hypertension [J]. *Chin J Evid-Bases Cardiovasc Med*, 2021, 13(1): 47-50.
- [6] YAĞMUR B, ŞİMŞEK E, KAYIKÇIOĞLU M, et al. Could impedance cardiography be a non-invasive alternative method of measuring cardiac output in patients with pulmonary hypertension? [J]. *Anatol J Cardiol*, 2023, 27(11): 650-656.
- [7] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版) [J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315-409.
- Chinese Diabetes Society. Guideline for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in China (2020 edition) [J]. *Chin J Diabetes Mellitus*, 2021, 13(4): 315-409.
- [8] 中华医学会心血管病学分会心力衰竭学组, 中国医师协会心力衰竭专业委员会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2018 [J]. *中华心血管病杂志*, 2018, 46(10): 760-789.
- Heart Failure Group of Chinese Society of Cardiology of Chinese Medical Association, Chinese Heart Failure Association of Chinese Medical Doctor Association, Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology. Chinese guideline for the diagnosis and treatment of heart failure 2018 [J]. *Chin J Cardiol*, 2018, 46(10): 760-789.
- [9] KNUUTI J, WIJNS W, SARASTE A, et al. 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(3): 407-477.
- [10] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟 (中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会, 等. 中国高血压防治指南 (2024 年修订版) [J]. *中华高血压杂志 (中英文)*, 2024, 32(7): 603-700.
- Revision Committee of the Chinese Guidelines for the Prevention and Treatment of Hypertension, Hypertension League (China), Hypertension Disease Branch of China International Exchange and Promotion Association for Medical and Health Care, et al. Guidelines for the prevention and treatment of hypertension in China (2024 revised edi-

- tion)[J]. *Chin J Hypertens (Chin & Engl Ed.)*, 2024, 32(7): 603-700.
- [11] 李凤, 陈静丹, 薛桂君. 老年冠心病合并高血压患者血清 NO、Lp-PLA2、Hcy 水平与颈动脉粥样硬化程度的关系[J]. *标记免疫分析与临床*, 2019, 26(2): 185-188.
- LI F, CHEN J D, XUE G J. Relationship between levels of serum NO, Lp-PLA2, HCY and the degree of carotid atherosclerosis in elderly patients with coronary heart disease complicated with hypertension[J]. *Labeled Immunoassays & Clin Med*, 2019, 26(2): 185-188.
- [12] JIAO Y, QIN Y, ZHANG Z, et al. Early identification of carotid vulnerable plaque in asymptomatic patients[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2020, 20(1): 429.
- [13] 赵建勇, 郭春月, 宋翠. 中老年人群甘油三酯葡萄糖乘积指数与高血压的关联研究[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2024, 32(7): 583-589.
- ZHAO J Y, GUO C Y, SONG C. Association between triglyceride-glucose index and hypertension in middle-aged and older adults[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(7): 583-589.
- [14] TASOULI-DRAKOU V, OGUREK I, SHAIKH T, et al. Atherosclerosis: a comprehensive review of molecular factors and mechanisms[J]. *Int J Mol Sci*, 2025, 26(3): 1364.
- [15] WANG X, ZHENG K, ZHANG Q. Assessment of the association between constipation and atherosclerosis in cardiovascular and cerebrovascular diseases: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Am J Med Sci*, 2025, 370(2): 118-128.
- [16] SHEIKH A B, SOBOTKA P A, GARG I, et al. Blood pressure variability in clinical practice: past, present and the future[J]. *J Am Heart Assoc*, 2023, 12(9): e029297.
- [17] ARGYRIS A A, MOUZIOURAS D, SAMARA S, et al. Superiority of 24-hour aortic over 24-hour brachial pressure to associate with carotid arterial damage on the basis of pressure amplification variability: the SAFAR study[J]. *Hypertension*, 2022, 79(3): 648-658.
- [18] ZHOU H L, JIANG X Z, VENTIKOS Y. Role of blood flow in endothelial functionality: a review[J]. *Front Cell Dev Biol*, 2023, 11: 1259280.
- [19] BU L L, YUAN H H, XIE L L, et al. New dawn for atherosclerosis: vascular endothelial cell senescence and death[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(20): 15160.
- [20] COTTRELL J, CUMMINGS K, JUDE D, et al. The effect of impedance cardiography directed antihypertensive therapy on fetal growth restriction rates and perinatal mortality in women with chronic hypertension[J]. *Pregnancy Hypertens*, 2022, 28: 123-127.
- [21] TRZECIAK B G, GUTKNECHT P, MAREK-TRZONKOWSKA N, et al. Non-invasive haemodynamic assessments among hypertensive patients in a routine family doctor's office[J]. *Ann Agric Environ Med*, 2022, 29(2): 264-268.
- [22] SONG L, YANG H, NING X, et al. Sacubitril/valsartan reversal of left ventricular remodeling is associated with improved hemodynamics in resistant hypertension[J]. *Hellenic J Cardiol*, 2025, 84: 51-60.
- [23] JUREK A, KRZESIŃSKI P, GIELERAK G, et al. Acromegaly: the research and practical value of noninvasive hemodynamic assessments via impedance cardiography[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 12: 793280.
- [24] GALAS A, KRZESIŃSKI P, BANAK M, et al. Thoracic fluid content as an indicator of high intravenous diuretic requirements in hospitalized patients with decompensated heart failure[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(18): 5625.
- [25] CAREY R M, MORAN A E, WHELTON P K. Treatment of hypertension: a review[J]. *JAMA*, 2022, 328(18): 1849-1861.
- [26] JUREK A, KRZESIŃSKI P, GIELERAK G, et al. Increased thoracic fluid as the most distinctive cardiovascular hemodynamic alteration in men with prolactinoma[J]. *Nutrients*, 2022, 14(24): 5369.
- [27] 沙立辉, 张晚秋, 马运婷, 等. 脑小血管病总体负担与冠状动脉粥样硬化的相关性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(4): 514-522.
- SHA L H, ZHANG W Q, MA Y T, et al. Correlation between the overall burden of small cerebral vascular disease and coronary atherosclerosis[J]. *J Clin Radiol*, 2024, 43(4): 514-522.
- [28] KRITTANAWONG C, ESCOBAR J, VIRK H U H, et al. Carotid and renal vascular disease[J]. *Curr Probl Cardiol*, 2024, 49(1 Pt B): 102056.
- [29] 赵静, 程青, 郝谦. 冠状动脉病变和颈动脉粥样硬化与高血压患者血压节律的相关性[J]. *中华高血压杂志*, 2023, 31(12): 1261-1264.
- ZHAO J, CHENG Q, HAO Q. Correlation between coronary artery disease, carotid atherosclerosis and blood pressure rhythm in hypertensive patients[J]. *Chin J Hypertens*, 2023, 31(12): 1261-1264.
- [30] LUCAS-HERALD A K, DELLES C. Carotid intima-media thickness is associated with obesity and hypertension in young people[J]. *Hypertension*, 2022, 79(6): 1177-1179.
- (此文编辑 许雪梅)