

# 超极速脉搏波技术定量评估肥胖患者 颈动脉弹性衰退风险

沈碧潇<sup>1</sup>, 朱正球<sup>1</sup>, 马学慧<sup>1</sup>, 王银萍<sup>1</sup>, 刘文军<sup>2</sup>, 黄 辉<sup>1\*</sup>

(1.南京中医药大学附属医院超声医学科, 江苏 南京 210029; 2.南京信息工程大学数学与统计学院, 江苏 南京 210044)

**[摘要]** 目的 探讨超极速脉搏波(ultrafast pulse wave velocity, ufPWV) 技术定量评估肥胖患者的颈动脉弹性衰退程度,并在影像学水平探讨肥胖与动脉粥样硬化及动脉弹性衰退风险之间的关系。方法 纳入2020年1月—2023年12月南京中医药大学附属医院体检及住院患者共459例,根据体重指数(body mass index, BMI)将研究对象分为正常组292例( $BMI < 25$ )、超重组145例( $25 \leq BMI \leq 30$ )、肥胖组22例( $BMI > 30$ )。对3组资料进行统计学分析。结果 收缩末期脉搏波传导速度(pulse wave velocity-ending of systole, PWV-ES)在超重组中最高( $P < 0.05$ )。Pearson相关性分析显示, PWV-ES与年龄的相关性最强( $r = 0.612, P < 0.05$ )。PWV-ES与BMI的相关性在女性中更为明显( $r = 0.329, P < 0.001$ ),而在男性中则无明显相关性( $r = 0.028, P = 0.660$ )。对年龄和性别进行分亚组进行进一步分析显示,在 $\leq 45$ 岁的女性受试者中, PWV-ES与BMI相关性最强( $r = 0.698, P < 0.001$ )。二元Logistic逐步回归分析显示, PWV-ES增高可作为肥胖相关的颈动脉弹性衰退及动脉粥样硬化风险的潜在预测因子( $OR = 1.110, P < 0.05$ )。结论 ufPWV技术及其代表性指标PWV-ES作为肥胖相关的颈动脉弹性衰退的潜在预测因子,可为临床评估肥胖患者的动脉粥样硬化风险提供新的无创且便捷的检测手段。

**[关键词]** 超重; 脉搏波分析; 血管硬化程度 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2025.09.014

**[中图分类号]** R194.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2025)09-1077-06

## Quantitative evaluation of the risk of carotid artery elasticity decline in obese patients using ultrafast pulse wave velocity technique

SHEN Bi-xiao<sup>1</sup>, ZHU Zheng-qiu<sup>1</sup>, MA Xue-hui<sup>1</sup>,  
WANG Yin-ping<sup>1</sup>, LIU Wen-jun<sup>2</sup>, HUANG Hui<sup>1\*</sup>

(1. Department of Ultrasonography, the Affiliated Hospital of Nanjing Provincial University of Traditional Chinese Medicine, Jiangsu Province, Nanjing 210029, China; 2. School of Mathematics and Statistics, Nanjing University of Information Science and Technology, Jiangsu Province, Nanjing 210044, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the quantitative evaluation of carotid artery elasticity decline in patients with obesity using ultrafast pulse wave velocity (ufPWV) technique, and to investigate the relationship of obesity with the risk of atherosclerosis and arterial elasticity decline at the imaging level. **Methods** A total of 459 patients who underwent physical examinations or were hospitalized at the Affiliated Hospital of Nanjing Provincial University of Traditional Chinese Medicine from January 2020 to December 2023 were included. According to their body mass index (BMI), the research subjects were divided into the normal group ( $n = 292, BMI < 25$ ), the overweight group ( $n = 145, 25 \leq BMI \leq 30$ ), and the obese group ( $n = 22, BMI > 30$ ).

[收稿日期] 2025-01-23

[基金项目] 国家自然科学基金项目(12271261); 江苏省干部保健项目(BJ23007)

[作者简介] 沈碧潇(1988-), 女, 江苏连云港人, 南京中医药大学附属医院主治医师, 医学学士, 从事血管超声诊断研究。

\* 通信作者, E-mail: szcrhh007@vip.163.com

Statistical analysis of the data in the three groups was performed. **Results** The pulse wave velocity-ending of systole (PWV-ES) was the highest in the overweight group ( $P < 0.05$ ). Pearson correlation analysis showed that PWV-ES had the strongest positive correlation with age ( $r = 0.612$ ,  $P < 0.05$ ). The positive correlation between PWV-ES and BMI was more pronounced in females ( $r = 0.329$ ,  $P < 0.001$ ), but not in males ( $r = 0.028$ ,  $P = 0.660$ ). Further analysis of subgroups by age and gender showed that PWV-ES had the strongest positive correlation with BMI in female subjects aged  $\leq 45$  years ( $r = 0.698$ ,  $P < 0.001$ ). Binary Logistic regression analysis showed that increased PWV-ES could serve as a potential predictor for evaluating carotid artery elasticity decline and the risk of atherosclerosis in obese patients (OR = 1.110,  $P < 0.05$ ). **Conclusion** The ufPWV technique and its representative index PWV-ES can be used to predict the risk of carotid artery elasticity decline in patients with obesity, which can provide a new non-invasive and convenient means for clinical evaluation of atherosclerosis risk in obese patients.

[Key words] overweight; pulse wave analysis; degree of vascular sclerosis

近年来,全球肥胖者患病率不断上升<sup>[1]</sup>,我国有超过50%的成年人受肥胖的困扰<sup>[2]</sup>。肥胖与糖尿病、高血压、睡眠呼吸障碍、骨关节炎、心血管疾病及心源性猝死等风险增加直接相关<sup>[3]</sup>,肥胖人群发生心血管事件的风险更高<sup>[4]</sup>,这也得到相关基础机制研究的证实<sup>[5]</sup>。肥胖可促进动脉管壁细胞外基质代谢紊乱及管壁微结构重塑,进而诱导动脉僵硬增加,参与动脉粥样硬化的发展及心血管事件的发生,但其在影像学层面目前并未得到充分证实<sup>[6]</sup>。超极速脉搏波(ultrafast pulse wave velocity, ufPWV)作为新型超极速超声成像技术之一,其通过超快速的瞬时拍照(帧率 $> 2\,000$ 帧/s),可实现实时记录动脉脉搏波传导过程,进而准确评估动脉僵硬程度。前期研究<sup>[7]</sup>证实,即使在颈动脉内膜-中膜厚度(carotid intima-media thickness, cIMT)正常且没有常规心血管危险因素的健康人群中,ufPWV仍可实现定量评估早期颈动脉弹性衰退进展和动脉粥样硬化风险。故本研究拟利用新型 ufPWV 技术定量评估肥胖患者的颈动脉弹性衰退程度,并在影像学水平探讨肥胖与动脉弹性衰退及动脉粥样硬化风险之间的内在联系。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 选择2020年1月—2023年12月在南京中医药大学附属医院参加体检并进行颈动脉 ufPWV 检测的患者459例为研究对象。纳入标准:①年龄 $> 18$ 周岁;②临床资料及颈动脉超声检查资料完整。根据世界卫生组织的标准使用体重指数(body mass index, BMI)作为人群肥胖程度的分类方法<sup>[8]</sup>,将研究对象分为3组:正常组292例( $BMI < 25$ ),超重组145例( $25 \leq BMI \leq 30$ )及肥胖

组22例( $BMI > 30$ )。排除标准:①因服用药物导致的超重/肥胖患者或服用减肥药者;②妊娠、哺乳期女性;③最近6个月内发生过心脑血管事件;④恶性肿瘤患者;⑤严重的自身免疫性、代谢性疾病、传染病及慢性肝肾功能不全患者;⑥依从性较差者。

本研究通过了南京中医药大学附属医院伦理委员会审批,所有研究对象均签署了书面知情同意书。1.2 方法 收集所有研究对象的病史及基本资料,记录BMI、收缩压(systolic blood pressure, SP)、舒张压(diastolic blood pressure, DP)、平均压(mean pressure, MP)和脉压(pulse pressure, PP),以及常规血清实验室检查结果,如三酰甘油(triglycerides, TG)、低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)、高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)、预估肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)。

1.3 cIMT 及 ufPWV 的测定 使用 Supersonic AixPlover 超声成像设备(探头选用 SL10-2, 频率 2.0~10.0 MHz),嘱受试者平静状态下仰卧位进行测量。选取颈总动脉清晰平直段长轴切面并尽量避免斑块区域;系统取样框自动测量 cIMT, 测量吻合度 $> 80\%$ 视为测量成功(图1A)。随后,嘱患者屏住呼吸5s,待图像稳定后按下PWV键,自动测量收缩起始脉搏波传导速度(pulse wave velocity-beginning of systole, PWV-BS)及收缩末期脉搏波传导速度(pulse wave velocity-ending of systole, PWV-ES),测值标准差 $\Delta < 1.0$  m/s视为测量成功。cIMT 及 ufPWV 对每侧颈动脉分别测量3次并取平均值,双侧颈总动脉再取均值为该研究对象 cIMT 及 ufPWV 的最终测值(图1B)。

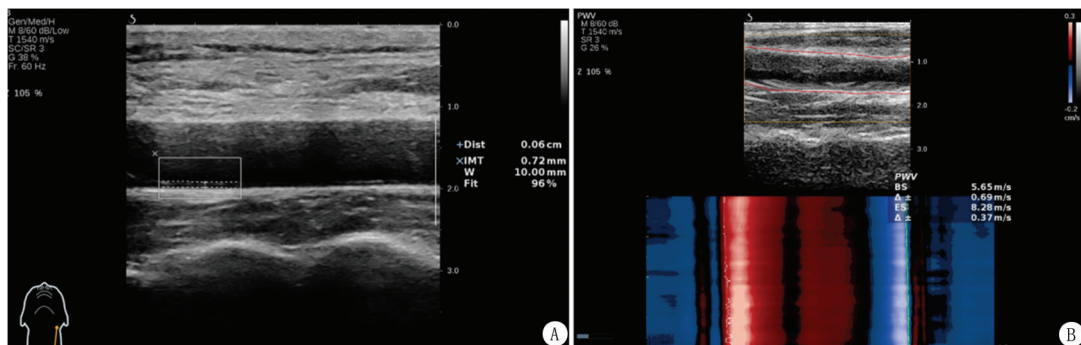


图1 颈动脉cIMT及ufPWV测量图

A.颈总动脉二维超声自动描线测量示cIMT厚约0.72 mm;B.颈总动脉ufPWV测量示PWV-BS为5.65 m/s,PWV-ES为8.28 m/s

Figure 1 cIMT and ufPWV measurements of common carotid artery

1.4 统计学方法 应用SPSS 22.0统计软件分析数据。计量资料比较采用单因素方差分析和LSD-*t*检验;计数资料比较采用 $\chi^2$ 检验;相关性分析采用Pearson相关性分析;采用Logistic单因素及多因素回归分析ufPWV测量指标对于肥胖患者颈动脉弹性衰退的预测价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 一般资料比较 3组受试者的TG、HDL、eGFR、SP、DP、MP、PP、cIMT及PWV-ES差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),而性别、年龄、LDL、TC、FBG及PWV-BS差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表1。

表1 3组基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline data among the three groups

组别	例数	性别(例数)		年龄( $\bar{x} \pm s$ ,岁)	TG( $\bar{x} \pm s$ ,mmol/L)	LDL( $\bar{x} \pm s$ ,mmol/L)	HDL( $\bar{x} \pm s$ ,mmol/L)
		男性	女性				
正常组	292	162	130	55.73±14.35	1.31±1.04	2.52±0.73	1.41±0.41
超重组	145	86	59	58.37±12.52	1.84±1.27*	2.60±0.82	1.23±0.32*
肥胖组	22	10	12	55.32±13.50	1.85±0.95*	2.71±0.74	1.30±0.44
$\chi^2/F$ 值		1.663		1.879	11.975	1.055	10.395
<i>P</i> 值		0.435		0.154	<0.001	0.349	<0.001
组别	例数	TC( $\bar{x} \pm s$ ,mmol/L)	FBG( $\bar{x} \pm s$ ,mmol/L)	eGFR( $\bar{x} \pm s$ ,mL·min <sup>-1</sup> ·(1.73 m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )	SP( $\bar{x} \pm s$ ,mmHg)	DP( $\bar{x} \pm s$ ,mmHg)	
正常组	292	4.61±1.18	5.28±1.42	87.43±31.27	130.69±21.39	76.26±12.06	
超重组	145	4.61±1.16	5.38±1.43	77.14±29.80*	143.32±22.49*	82.69±13.31*	
肥胖组	22	4.77±0.97	5.44±0.92	70.04±37.37*	147.41±18.74*	88.95±15.75*#	
$\chi^2/F$ 值		0.202	0.355	7.399	20.031	19.787	
<i>P</i> 值		0.817	0.701	0.001	<0.001	<0.001	
组别	例数	MP( $\bar{x} \pm s$ ,mmHg)	PP( $\bar{x} \pm s$ ,mmHg)	cIMT( $\bar{x} \pm s$ ,mm)	PWV-BS( $\bar{x} \pm s$ ,m/s)	PWV-ES( $\bar{x} \pm s$ ,m/s)	
正常组	292	94.40±13.88	54.43±16.01	0.56±0.11	6.20±1.20	8.53±2.21	
超重组	145	102.90±14.97*	60.63±16.79*	0.61±0.13*	6.38±1.25	9.18±2.01*	
肥胖组	22	108.44±15.18*	58.45±15.29	0.60±0.10	6.66±1.74	8.72±2.23	
$\chi^2/F$ 值		23.573	7.229	9.501	2.184	4.470	
<i>P</i> 值		<0.001	0.001	<0.001	0.197	0.012	

\*  $P$ 值<0.05与正常组比较 #  $P$ 值<0.05与超重组比较(LSD-*t*检验) 1 mmHg=0.133 kPa

2.2 cIMT及ufPWV与BMI及动脉粥样硬化常见危险因素的相关性分析 cIMT及PWV-ES与年龄、BMI、SP、DP、MP、PP均呈显著正相关( $P < 0.05$ );PWV-BS仅与年龄呈弱正相关( $P < 0.05$ )。在上述正相关危险因素中,动脉粥样硬化首要危险

因素年龄与PWV-ES的相关性最高( $r = 0.612$ ,  $P < 0.05$ ),与cIMT的相关性次之( $r = 0.542$ ,  $P < 0.05$ ),与PWV-BS的相关性再次之( $r = 0.264$ ,  $P < 0.05$ ) (表2,图2),故后续以PWV-ES作为ufPWV的代表性指标进行进一步亚组分析。

表2 cIMT及ufPWV与BMI及动脉粥样硬化常见危险因素的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of cIMT and ufPWV with BMI and common risk factors for atherosclerosis

指标	cIMT(cm)		PWV-BS(m/s)		PWV-ES(m/s)	
	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值
年龄(岁)	0.542	<0.001	0.264	<0.001	0.612	<0.001
BMI	0.233	<0.001	0.090	0.053	0.167	<0.001
SP(mmHg)	0.320	<0.001	0.016	0.728	0.355	<0.001
DP(mmHg)	0.119	<0.001	0.042	0.374	0.194	<0.001
MP(mmHg)	0.230	<0.001	0.033	0.487	0.292	<0.001
PP(mmHg)	0.343	<0.001	0.011	0.814	0.330	<0.001

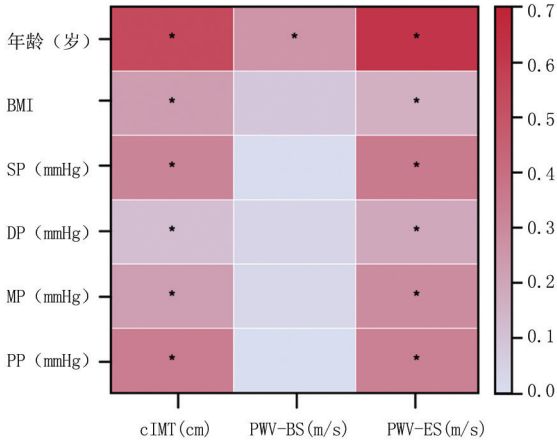


图2 cIMT及ufPWV与BMI及动脉粥样硬化常见危险因素的相关性分析

Figure 2 Correlation analysis of cIMT and ufPWV with BMI and common risk factors for atherosclerosis

\* P<0.05

2.3 PWV-ES与BMI的亚组相关性分析 首先,性别亚组相关性分析显示,PWV-ES与BMI的相关性在女性中更为明显( $r=0.329, P<0.001$ ),而在男性中则无明显相关性( $r=0.028, P=0.660$ )(图

3A)。其次,进一步年龄亚组分析显示,在≤45岁的女性受试者中,PWV-ES与BMI呈明显的正相关( $r=0.698, P<0.001$ );而≤45岁的男性受试者中,PWV-ES与BMI相关性较弱( $r=0.342, P=0.015$ )(图3B)。在>45岁的女性受试者中,PWV-ES与BMI呈现弱相关( $r=0.211, P=0.007$ );而>45岁的男性受试者中,PWV-ES与BMI则无明显相关性( $r=0.081, P=0.248$ )(图3C)。

2.4 PWV-ES增高对肥胖患者的颈动脉弹性衰退风险的预测价值 将是否超重(否=0,是=1)作为因变量,PWV-ES、TG、HDL、年龄作为自变量,进行Logistic逻辑回归分析,结果显示,PWV-ES增高可作为评估肥胖患者颈动脉弹性衰退的危险因素(模型1:OR=1.137,  $P<0.05$ );在校正了TG及HDL后,PWV-ES可独立于上述因素并能成功预测肥胖患者出现颈动脉弹性衰退的风险(模型2:OR=1.110,  $P<0.05$ );但PWV-ES在校正了年龄后,差异无统计学意义(模型3:OR=1.087,  $P=0.160$ )。见表3。

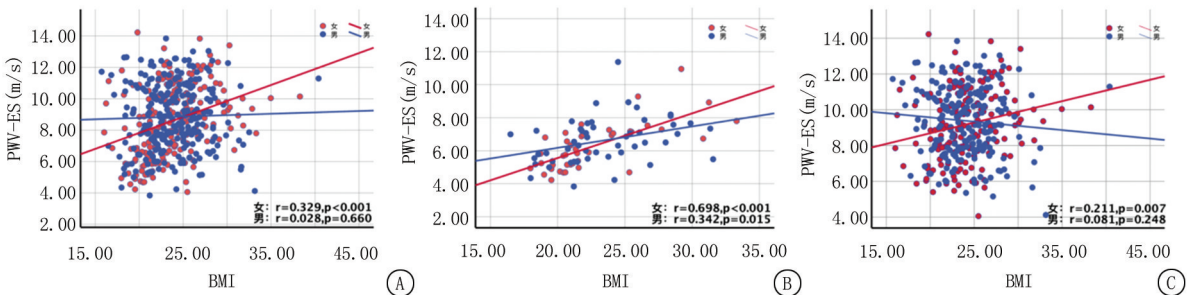


图3 PWV-ES与BMI在不同性别和年龄亚组的相关性分析

PWV-ES与BMI的相关性分析散点图:A.所有受试者;B.≤45岁的受试者;C.>45岁的受试者

Figure 3 Correlation analysis of PWV-ES and BMI in different gender and age subgroups

表3 PWV-ES增高与BMI正常与否的逻辑回归分析

Table 3 Logistic regression analysis of increased PWV-ES and normality and abnormality of BMI

变量	回归系数	标准误	Wald $\chi^2$ 值	P 值	OR 值	95%CI
模型 1						
PWV-ES	0.129	0.046	7.865	0.005	1.137	1.039~1.244
模型 2						
PWV-ES	0.105	0.048	4.770	0.029	1.110	1.011~1.220
TG	0.330	0.104	10.057	0.002	1.391	1.134~1.705
HDL	-0.786	0.301	6.795	0.009	0.456	0.252~0.823
模型 3						
PWV-ES	0.083	0.059	1.976	0.160	1.087	0.968~1.221
TG	0.337	0.105	10.283	0.001	1.400	1.140~1.720
HDL	-0.793	0.302	6.887	0.009	0.453	0.250~0.818
年龄	0.006	0.009	0.368	0.544	1.006	0.987~1.024

### 3 讨 论

肥胖不仅是重大的公共卫生问题,及其伴随的多种并发症,如哮喘、2型糖尿病、高血压、阻塞性睡眠呼吸暂停、骨关节炎和心血管疾病(cardiovascular disease,CVD)严重威胁着人类的生命健康及生活质量。与正常人相比,肥胖患者发生心血管事件的概率显著增加<sup>[9]</sup>;即使没有其他动脉粥样硬化危险因素存在,肥胖患者的全因病死亡率也较正常人显著增加<sup>[10]</sup>。尽管肥胖已是公认的心血管危险因素之一,亦被纳入相关高血压、脂质及糖尿病管理指南,但肥胖与动脉粥样硬化相关动脉弹性衰退风险之间的关系,在影像学水平仍不太十分明晰<sup>[11-12]</sup>。脉速波(pulse wave velocity,PWV)是非侵入性评估动脉僵硬度的金标准<sup>[13]</sup>,然而,以往的常规PWV测定技术,包括颈一股PWV和臂一踝脉搏波速度测量,均存在测量误差大、检测方法和标准不一致、技术水平要求高、计算复杂等局限性,这就导致了其重复性和稳定性较差<sup>[14-15]</sup>。而本研究的ufPWV技术可以实时测量以评估区域动脉僵硬程度,本团队之前的研究也证明ufPWV测量具有满意的操作者内和操作者间重复性以及稳定性。

本研究结果证实,随着BMI增加,SP、DP、MP、PP及影像学指标cIMT和ufPWV参数PWV-ES均显著升高;相关性分析也显示PWV-ES不仅和BMI呈正相关( $r=0.167, P<0.05$ ),也与SP、MP、DP和PP均呈显著线性正相关。而进一步的逻辑回归分析显示,PWV-ES增高可作为肥胖相关的颈动脉弹性衰退及动脉粥样硬化风险的潜在预测因子,且其预测价值独立于部分动脉粥样硬化危险因素。即便如此,PWV-ES并没有随着BMI的增加呈持续线性增高;而是在超重组中最高,在肥胖组中较低,在正常体重组中最低。这表明动脉弹性衰退与

肥胖之间可能存在非线性的复杂关系。这一点也得到其他研究证实,当肥胖和CVD并存时,与体重正常或体重不足的人相比,肥胖患者的预后更好,这种现象被称为“肥胖悖论”<sup>[16-17]</sup>。出现这一矛盾的结果可能是因为,BMI是一种粗略的肥胖分类方法,无法准确地反映身体的脂肪分布,而后者是CVD的更强预测因子<sup>[2]</sup>。研究<sup>[18]</sup>显示中心性肥胖与CVD密切相关,而与BMI无关。本团队前期研究<sup>[19]</sup>证实,动脉弹性衰退在动脉粥样硬化早期进展很快,而在中晚期或者斑块形成后,进入所谓的“平台期”,呈缓慢维持态势。这提示动脉的生物力学属性并不会随着形态学改变而线性衰退,而是要早于形态学改变。这一点也得到基础机制研究<sup>[20]</sup>的证实,即早期动脉粥样硬化可诱导动脉管壁细胞外基质代谢紊乱,弹力蛋白降解及折叠异常,而纤维蛋白表达增加及弹力/纤维蛋白比例失调,都可诱导动脉管壁的相关生物力学属性衰退,而此时尚未出现动脉管壁的形态学可检测的显著改变,如动脉内中膜增厚和脂纹及斑块形成。这不仅提示超重人群可能是预防及干预治疗需要重点关注的人群,同时还提示ufPWV技术可能在早期动脉粥样硬化发挥出更大的预测价值。

进一步的亚组分析显示,仅在女性人群及年龄 $\leq 45$ 岁男性中,BMI和PWV-ES之间呈明显的线性正相关,并且女性群体的相关性明显强于男性群体;而在 $>45$ 岁的男性中,BMI和PWV-ES无显著相关性;在年轻女性群体中PWV-ES和BMI的相关性明显强于老年女性群体。这说明虽然男女两性都受到肥胖的影响,但肥胖女性可能表现出更高的心血管疾病风险,更容易受到肥胖相关并发症及心血管事件的影响,这与之前的研究相符<sup>[21-22]</sup>。出现这一现象可能有如下几个原因:流行病学方面,女性肥胖的发病率要高于男性<sup>[23]</sup>;与男性相比,女性2

型糖尿病患者肥胖的比例更高,并且更容易发生中心性肥胖,这可能会增加心血管疾病的风险;除了传统的心血管危险因素外,女性特有的非传统的危险因素比如妊娠期间体重增加过多、子痫前期、妊娠期糖尿病、足月分娩前期和绝经期;雌激素对心血管的保护作用会随着年龄的增加而减弱等。

本研究存在部分局限性:肥胖组的例数相对较少;使用BMI作为肥胖的分类指标,虽简单有效,但受研究资料的限制,未采集如腰臀比等可以代表脂肪分布类型的肥胖指标。

综上所述,ufPWV技术及其代表性指标PWV-ES作为肥胖相关的颈动脉弹性衰退的潜在预测因子,其预测价值可独立于部分常见动脉粥样硬化危险因素,可为临床评估肥胖患者的动脉粥样硬化风险提供新的无创且便捷的检测手段。

#### [参考文献]

- [1] Emmerich SD, Fryar CD, Stierman B, et al. Obesity and severe obesity prevalence in adults; United states, august 2021-august 2023[J]. NCHS Data Brief, 2024, (508):1-10.
- [2] 李一君,谷伟军,母义明,等.我国肥胖症及其并发症评估的挑战与机遇——基于大样本流行病学研究的思考[J].中华内科杂志, 2023, 62(12):1391-1393.
- [3] Elmaleh-Sachs A, Schwartz JL, Bramante CT, et al. Obesity management in adults: A review[J]. JAMA, 2023, 330(20): 2000-2015.
- [4] 顾可羿,潘姚佳,韩正,等.青年人群不同肥胖代谢表型与动脉硬化的相关性研究:尿酸作为其潜在因素[J].中国全科医学, 2025, 28(7):831-837.
- [5] World Health Organization. WHO acceleration plan to stop obesity [EB/OL]. [2023-07-16]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240075634>
- [6] Wijdan SA, Ali S, Mirza A, et al. The effects of metabolic syndrome on arterial stiffness: A concise review[J]. J Pak Med Assoc, 2024, 74(4):839.
- [7] Zhu ZQ, Chen LS, Jiang XZ, et al. Absent atherosclerotic risk factors are associated with carotid stiffening quantified with ultrafast ultrasound imaging[J]. Eur Radiol, 2021, 31(5): 3195-3206.
- [8] Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation[EB/OL]. World Health Organ Tech Rep Ser, 2000, 894: i-xii, 1-253.
- [9] 洪泽文,苏国辉,宋晓超,等.BMI对慢性心力衰竭患者运动耐力及静息心率的影响[J].河北医药, 2021, 43(19):2925-2928.
- [10] Taha MB, Javed Z, Nwana N, et al. Body mass index and all-cause and cardiovascular mortality in united states adults with and without atherosclerotic cardiovascular disease: Findings from the national health interview survey[J]. Popul Health Manag, 2023, 26(4):254-267.
- [11] Wang S, Shi H, Luo L, et al. Characteristics and correlation of body fat distribution and brachial-ankle pulse wave velocity in adults aged 20—59 years: A cross-sectional study[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2024, 24(1):5.
- [12] Kim HL, Ahn DW, Kim SH, et al. Association between body fat parameters and arterial stiffness[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 20536.
- [13] Fiori G, Fuiano F, Scorza A, et al. Non-invasive methods for PWV measurement in blood vessel stiffness assessment[J]. IEEE Rev Biomed Eng, 2022, 15:169-183.
- [14] De Luca M, Iacono O, Valente V, et al. Can pulse wave velocity (PWV) alone express arterial stiffness? A neglected tool for vascular function assessment[J]. J Basic Clin Physiol Pharmacol, 2021, 33(4):373-379.
- [15] Romero-Ante JD, Chicharro-Luna E, Manrique-Córdoba J, et al. Validation of a new ankle brachial index measurement system using pulse wave velocity[J]. Biosensors (Basel), 2024, 14(5):251.
- [16] Tutor AW, Lavie CJ, Kachur S, et al. Updates on obesity and the obesity paradox in cardiovascular diseases [J]. Prog Cardiovasc Dis, 2023, 78:2-10.
- [17] Haidar A, Horwich T. Obesity, cardiorespiratory fitness, and cardiovascular disease[J]. Curr Cardiol Rep, 2023, 25(11): 1565-1571.
- [18] Zhong P, Tan S, Zhu Z, et al. Normal-weight central obesity and risk of cardiovascular and microvascular events in adults with prediabetes or diabetes: Chinese and british cohorts[J]. Diabetes Metab Res Rev, 2023, 39(8):e3707.
- [19] Zhu ZQ, Chen LS, Wang H, et al. Carotid stiffness and atherosclerotic risk: Non-invasive quantification with ultrafast ultrasound pulse wave velocity[J]. Eur Radiol, 2019, 29(3): 1507-1517.
- [20] Zhang L, Feng Q, Kong W. ECM microenvironment in vascular homeostasis: New targets for atherosclerosis [J]. Physiology (Bethesda), 2024, 39(5):0.
- [21] Manrique-Acevedo C, Chinnakotla B, Padilla J, et al. Obesity and cardiovascular disease in women[J]. Int J Obes (Lond), 2020, 44(6):1210-1226.
- [22] Zuo J, Tang B, O'Rourke MF, et al. Association between brachial-ankle pulse wave velocity as a marker of arterial stiffness and body mass index in a chinese population[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2022, 9(3):75.
- [23] Kocova A, Herman R, Janez A, et al. Sex- and gender-related differences in obesity: From pathophysiological mechanisms to clinical implications[J]. Int J Mol Sci, 2024, 25(13):7342.

(本文编辑:何祯)