

# 超极速脉搏波技术评价颈动脉弹性与甘油三酯葡萄糖指数的相关性\*

王银萍<sup>1</sup> 姜学忠<sup>2</sup> 何健<sup>1</sup>

(1. 南京医科大学鼓楼临床医学院; 江苏 南京 210029; 2. 江苏省省级机关医院, 江苏 南京 210029)

**【摘要】** 目的 利用超极速脉搏波(ufPWV)技术定量评估颈动脉弹性,分析甘油三酯葡萄糖指数(TyG)与动脉弹性的相关性。**方法** 纳入 2020 年 8 月—2022 年 5 月于江苏省省级机关医院行 ufPWV 检测的 388 名受试者,根据 TyG 指数四分位数,将 388 例志愿者分为 Q1 组( $TyG \leq 8.34$ )、Q2 组( $8.3 < TyG \leq 8.66$ )、Q3 组( $8.66 < TyG \leq 9.10$ )和 Q4 组( $TyG > 9.10$ ),每组 97 例。采用 ufPWV 技术测量每位志愿者颈动脉内中膜厚度(cIMT)、收缩起始脉搏波波速(PWV-BS)及收缩末期脉搏波波速(PWV-ES),并详细记录心血管危险因素(体重指数、低密度脂蛋白、甘油三酯、吸烟史等),分析 TyG 指数与动脉弹性之间的关系。**结果** 4 组在性别、年龄、体重指数、高密度脂蛋白、甘油三酯、总胆固醇、葡萄糖、尿酸、收缩压、舒张压、白细胞、血小板、糖尿病史等比较差异有统计学意义(均  $P < 0.05$ ),而在低密度脂蛋白、肌酐、尿素、血红蛋白、红细胞计数、谷丙转氨酶、谷草转氨酶等比较差异无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。与年龄的相关性分析显示,PWV-ES( $r = 0.641, P < 0.001$ )与年龄的相关性显著优于 cIMT( $r = 0.401, P < 0.001$ )及 PWV-BS( $r = 0.185, P < 0.001$ );PWV-ES 与 TyG 指数四分位数的增加呈正相关;PWV-ES 与年龄、收缩压、体重指数、甘油三酯、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、TyG 指数显著相关;以 Q1 组为参考,TyG 指数在预测颈动脉硬化风险中存在性别差异,对男性的动脉硬化风险预测价值更大,并且在动脉弹性刚开始增高时预测价值更高。**结论** TyG 指数与 PWV-ES 独立相关,因此 ufPWV 技术及其参数指标 PWV-ES 有助于早期发现糖尿病患者动脉粥样硬化,从而降低糖尿病患者发生心血管疾病的风险。

**【关键词】** 超极速脉搏波;TyG 指数;颈动脉弹性;动脉粥样硬化

**【中图分类号】** R445.1;R543.5 **【文献标志码】** A **DOI:**10.3969/j.issn.1672-3511.2025.03.009

## Association between triglyceride glucose index and carotid stiffness for assessing quantified with real-time ultrafast pulse wave velocity

WANG Yinping<sup>1</sup>, JIANG Xuezhong<sup>2</sup>, HE Jian<sup>1</sup>

(1. Gulou Clinical School of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China;

2. Jiangsu Provincial Government Hospital, Nanjing 210029, China)

**【Abstract】** **Objective** To quantitatively evaluate carotid artery elasticity by ultrafast pulse wave (ufPWV) technique, and analyze the correlation between triglyceride glucose index (TyG) and arterial elasticity. **Methods** A total of 388 subjects who underwent ufPWV detection in Jiangsu Provincial Government Hospital from August 2020 to May 2022 were included. The formula of TyG index was  $LN[\text{fasting triglyceride (mg/dL)} \times \text{fasting blood glucose (mg/dL)} / 2]$ . According to the quartile of TyG index, 388 volunteers were divided into Q1, Q2, Q3 and Q4 groups. Carotid intima-media thickness (cIMT), onset of systolic pulse wave velocity (PWV-BS) and end systolic pulse wave velocity (PWV-ES) were measured by ufPWV technique. Cardiovascular risk factors (body mass index, low-density lipoprotein, triglyceride, smoking history, etc.) were recorded in detail. The relationship between TyG index and arterial elasticity was analyzed. **Results** There were significant differences in gender, age, body mass index, high density lipoprotein, triglycer-

基金项目:江苏省干部保健科研项目(BJ21026)

通信作者:何健,E-mail:hjxueren@126.com

引用本文:王银萍,姜学忠,何健.超极速脉搏波技术评价颈动脉弹性与甘油三酯葡萄糖指数的相关性[J].西部医学,2025,37(3):361-365,371.

DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2025.03.009

ide, total cholesterol, glucose, uric acid, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, white blood cells, platelets, history of diabetes among the four groups (all  $P < 0.05$ ). There were no significant differences in low density lipoprotein, creatinine, urea, hemoglobin, red blood cell count, alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase (all  $P > 0.05$ ). The correlation analysis between PWV-ES ( $r = 0.641, P < 0.001$ ) and age was significantly better than that between cIMT ( $r = 0.401, P < 0.001$ ) and PWV-BS ( $r = 0.185, P < 0.001$ ). PWV-ES was positively correlated with the increase of TyG quartile. PWV-ES was significantly correlated with age, systolic blood pressure, body mass index, tri-glyceride, low density lipoprotein, high density lipoprotein and TyG index. Taking group Q1 as a reference, there was a gender difference in the TyG index in predicting the risk of carotid atherosclerosis, and the value of TyG index in predicting the risk of carotid atherosclerosis was greater in men. And the predictive value was higher at the beginning when arterial elasticity increased. **Conclusion** TyG index is independently correlated with PWV-ES. ufPWV technique and its parameter indicator PWV-ES are helpful for early detection of atherosclerosis in diabetic patients, so as to reduce the risk of cardiovascular disease in diabetic patients.

**【Key words】** Ultrafast pulse wave velocity; TyG index; Carotid artery elasticity; Atherosclerotic

动脉粥样硬化(Atherosclerosis, AS)是大多数心血管疾病(Cardiovascular disease, CVD)的主要病理过程,而 CVD 是全球范围内死亡及致残的主要原因<sup>[1]</sup>。胰岛素抵抗(Insulin resistance, IR)是 CVD<sup>[2]</sup>最重要的危险因素之一。IR 与肥胖、高血压和血脂异常相关,这些因素易使个体发生 AS 和 CVD<sup>[2-3]</sup>。大量研究表明甘油三酯葡萄糖指数(The triglyceride glucose, TyG)与 IR 相关, TyG 指数被认为是 IR 的一个可靠和简单的替代标记物<sup>[4-6]</sup>。脉搏波传导速度(Pulse wave velocity, PWV)测量动脉弹性被确定是心血管事件和心血管死亡率的独立预测因子<sup>[7]</sup>。超极速脉搏波(Ultrafast pulse wave velocity, ufPWV)技术具有更快速度的采样帧频(超快速瞬时拍照  $> 2000$  帧/s),避免传统 PWV 测量距离及时间等误差,其测值具有更好的稳定性及可重复性。目前只有少量研究显示 TyG 指数和传统脉搏波测量的动脉弹性之间的关系<sup>[8]</sup>。故本研究利用 ufPWV 技术测量成人颈动脉弹性,动态评估 TyG 指数与动脉弹性之间的关系。

## 1 资料与方法

1.1 研究对象 选取 2020 年 8 月—2022 年 5 月于江苏省省级机关医院就诊并完成 ufPWV 检查的 388 例志愿者为研究对象。根据 TyG 指数四分位数,将 388 例志愿者分为 Q1 组( $TyG \leq 8.34$ )、Q2 组( $8.3 < TyG \leq 8.66$ )、Q3 组( $8.66 < TyG \leq 9.10$ )和 Q4 组( $TyG > 9.10$ ),每组 97 例。纳入标准:①顺利完成 3 次颈动脉 ufPWV 有效测值的成人受试者。②均签署知情同意书。排除标准:①6 个月内有心脑血管事件发生者。②确诊恶性肿瘤、急性炎症性疾病,严重肝肾功能异常。③传染性疾病。④自身免疫性疾病。⑤内分泌疾病。⑥妊娠、哺乳期妇女。⑦患有其他严重疾病无法配合完成检查者。检查并记录所有志愿

者的年龄、身高、性别、收缩压和舒张压、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、总胆固醇、甘油三酯、空腹血糖、肌酐、血红蛋白、白细胞、红细胞、血小板计数,谷丙转氨酶、谷草转氨酶、糖尿病病史等临床资料。TyG 指数计算公式为  $\ln[\text{甘油三酯}(\text{mg/dL}) \times \text{空腹血糖}(\text{mg/dL})/2]$ <sup>[7]</sup>。本研究通过江苏省省机关医院伦理委员会审批[审批号:(2023)院伦审字第 036-1 号]。

1.2 仪器和操作方法 采用法国声科 Aixplorer SU-personic 超声成像诊断仪,探头(SL2-10),频率为 2~10 MHz。嘱患者静息平卧位,头略后仰,先行双侧颈总动脉二维常规扫查,选择颈总动脉较平直段,尽量避开 AS 斑块处,清晰显示动脉前后壁内中膜结构,系统自动测量颈总动脉后壁中膜厚度(Carotid intima-media thickness, cIMT),取样框宽度  $> 1$  cm,符合率  $> 80\%$ ,重复测量 3 次,记录平均值为最终值;嘱患者屏气 5 s,待图像稳定后,进行 ufPWV 检测,获得收缩早期脉搏波速度(Pulse wave velocity of beginning systole, PWV-BS)及收缩末期脉搏波速度(Pulse wave velocity of end systole, PWV-ES)(图 1),成功测量 3 次,并取双侧颈总动脉 ufPWV 均值作为最终值。将所测数据及图像记录及储存,待后续进一步分析。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计软件分析,正态分布的连续变量均以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,而偏态分布的连续变量用四分位数范围的中位数表示,计量资料组间比较采用方差分析,分类变量组间比较采用卡方检验。变量间相关性分析采用 Pearson's 相关性分析,根据 TyG 指数四分位数,使用二元 Logistic 回归计算年龄调整后的 PWV-ES 均值和标准差,在校正了 TyG 指数混杂变量后,通过多元 Logistic 回归分析比值比(OR)和相应的 95% 可信区间(CI)。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

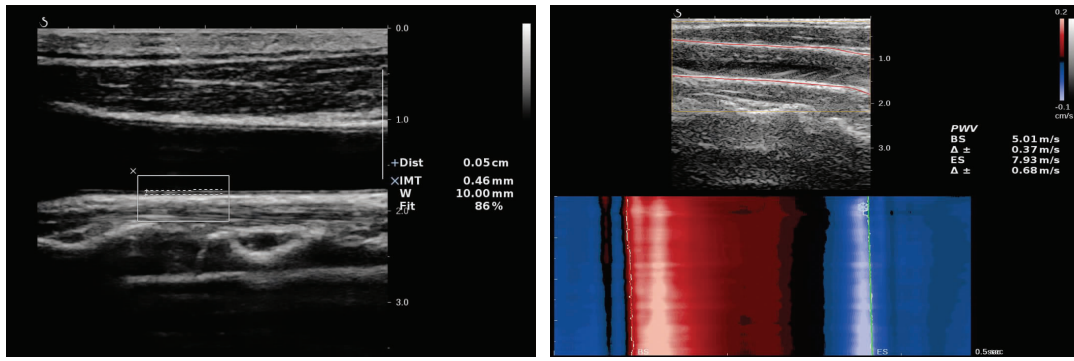


图 1 颈总动脉 uPWV 采集图

Figure 1 Images of uPWV collection in common carotid artery

## 2 结果

2.1 组间一般资料比较 4 组研究对象在性别、年龄、体重指数、甘油三酯、总胆固醇、葡萄糖、尿酸、收缩压、舒张压、白细胞、血小板、糖尿病病史等比较有

统计学差异(均  $P < 0.05$ ),而在低密度脂蛋白、高密度脂蛋白肌酐、尿素、血红蛋白、红细胞计数、谷丙转氨酶、谷草转氨酶等比较无统计学差异(均  $P > 0.05$ ),见表 1。

表 1 所有人群一般资料及测量结果[ $n, (\bar{x} \pm s), n(\times 10^{-2})$ ]

Table 1 General information and measurement results

项目	Q1 组( $n=97$ )	Q2 组( $n=97$ )	Q3 组( $n=97$ )	Q4 组( $n=97$ )	$P$
性别(男/女)	37/60	27/70	37/60	49/48	0.014
年龄(岁)	45.3±9.9	49.9±9.0	53.3±9.6	53.6±10.5	<0.001
体重指数( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	23.5±2.5	24.6±4.7	24.7±2.8	26.1±5.5	<0.001
低密度脂蛋白( $\text{mmol}/\text{L}$ )	2.80±0.81	2.99±0.82	2.99±0.88	3.06±0.88	0.159
高密度脂蛋白( $\text{mmol}/\text{L}$ )	2.00±0.54	1.67±0.40	1.82±3.01	1.42±0.46	0.06
甘油三酯( $\text{mmol}/\text{L}$ )	0.96±0.43	1.19±0.23	1.68±0.38	3.48±1.91	<0.001
总胆固醇( $\text{mmol}/\text{L}$ )	4.59±1.40	4.74±1.02	5.03±1.03	5.07±1.15	0.011
葡萄糖( $\text{mmol}/\text{L}$ )	4.62±1.28	5.32±0.79	5.55±0.91	6.43±7.26	0.009
尿酸( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )	314.9±80.9	315.0±81.0	341.9±89.4	357.3±89.3	0.001
肌酐( $\mu\text{mol}/\text{L}$ )	66.7±12.8	65.7±13.3	68.9±19.2	70.3±15.3	0.148
尿素( $\text{mmol}/\text{L}$ )	4.77±1.56	5.10±1.32	5.02±1.20	5.19±1.37	0.249
收缩压( $\text{mmHg}$ )	131.2±12.1	128.2±13.5	135.4±16.7	136.5±15.2	<0.001
舒张压( $\text{mmHg}$ )	83.4±9.3	82.2±9.3	84.6±9.9	86.8±15.1	0.028
血红蛋白( $\text{g}/\text{L}$ )	144.4±23.9	150.9±46.4	146.3±21.7	149.3±27.5	0.532
白细胞计数( $\times 10^9/\text{L}$ )	5.9±1.5	5.8±1.3	6.0±1.7	6.6±1.6	<0.001
红细胞计数( $\times 10^{12}/\text{L}$ )	4.6±0.46	4.6±0.40	4.7±0.4	4.8±0.5	0.166
血小板( $\times 10^9/\text{L}$ )	229.8±57.9	221.2±53.6	211.8±47.4	237.9±56.1	0.006
谷丙转氨酶( $\text{U}/\text{L}$ )	24.5±14.8	25.7±17.5	26.7±22.3	28.7±17.0	0.421
谷草转氨酶( $\text{U}/\text{L}$ )	21.2±7.7	21.2±6.1	23.0±13.9	22.7±9.12	0.408
糖尿病病史	0(0.0)	1(1.0)	6(6.2)	4(4.1)	0.036

2.2 cIMT、PWV-BS 及 PWV-ES 与年龄的相关性分析 总体人群的相关性分析显示, cIMT、PWV-BS 及 PWV-ES 与年龄均有显著相关性, 但 PWV-ES( $r=0.641, P<0.001$ ) 与年龄的相关性显著优于 cIMT( $r=0.401, P<0.001$ ) 及 PWV-BS( $r=0.185, P<0.001$ ), 见图 2。

2.3 总体人群、男性和女性在年龄校正后平均 PWV-ES 的组间比较 结果显示, PWV-ES 与 TyG 指数四分位数的增加呈正相关。总体人群中根据 TyG 指数四分位数的年龄调整的平均 PWV-ES, 其中 Q1 =

7.23、Q2 = 8.34、Q3 = 8.81 和 Q4 = 8.92 m/s ( $P < 0.01$ ), 对于男性, TyG 指数四分位数的年龄调整平均 PWV-ES 分别为 7.16、8.46、8.56 和 8.65 m/s ( $P < 0.01$ ), 而对于女性, 四分位数中年龄调整后的平均 PWV-ES 分别为 7.27、8.29、8.98 和 9.19 m/s ( $P < 0.01$ ), 见图 3。

2.4 PWV-ES 与临床变量的相关性 结果显示, PWV-ES 与年龄、收缩压、体重指数、甘油三酯、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、TyG 指数显著相关, 见表 2。

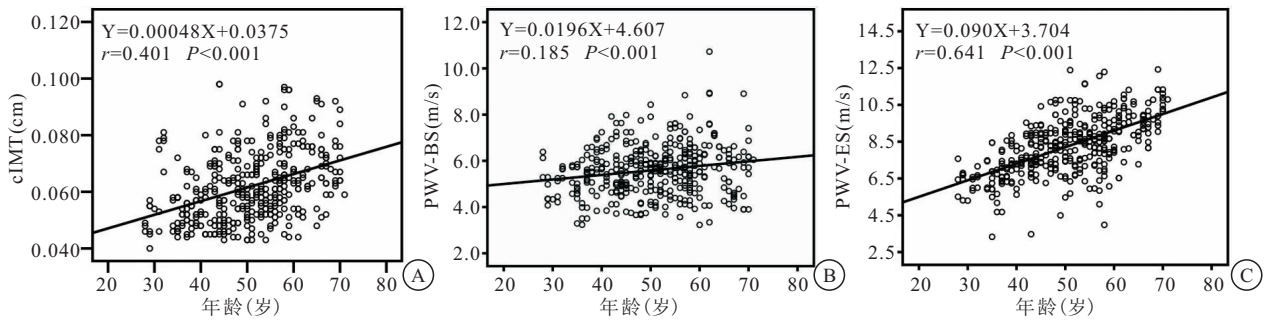


图 2 cIMT、PWV-BS 及 PWV-ES 与年龄的相关性分析

Figure 2 Correlation analysis of cIMT, PWV-BS and PWV-ES with age

注: A. cIMT 与年龄的相关性; B. PWV-BS 与年龄的相关性; C. PWV-ES 与年龄的相关性。

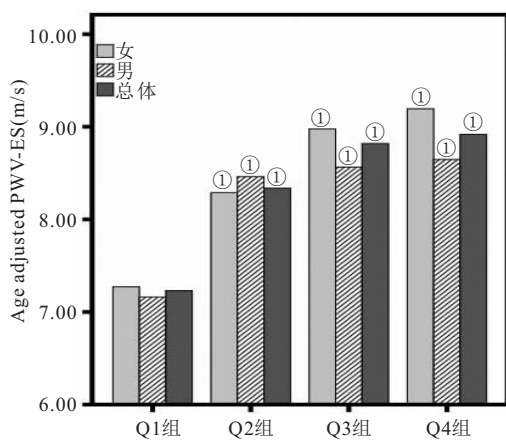


图 3 总体人群、男性和女性在年龄校正后平均 PWV-ES 的组间比较  
Figure 3 Age-adjusted mean PWV-ES for the overall population, men, and women

注: 与 Q1 对应组比较, ①  $P < 0.01$ 。

表 2 PWV-ES 与临床变量的相关性

Table 2 Correlation between the PWV-ES and clinical variables

参数	r	P
年龄	0.641	<0.001
收缩压	0.145	0.004
体重指数	0.165	<0.001
甘油三脂	0.384	<0.001
低密度脂蛋白	0.140	0.006
高密度脂蛋白	-0.151	0.003
TyG	0.478	<0.001

### 2.5 TyG 指数和 PWV-ES 的多元 Logistic 回归分析

多元 Logistic 回归分析显示, 以 Q1 为参考, TyG 指数在预测颈动脉硬化风险中存在性别差异, 对男性的动脉硬化风险预测价值更大, 并且在动脉弹性刚开始增高时预测价值更高, 见表 3。

### 3 讨论

颈动脉 PWV 技术是评估高血压靶器官损害以及 AS 风险的“金标准”指标, 已被纳入 2016 年欧洲高血压指南<sup>[7]</sup>。传统的 PWV 技术主要包括肱-踝脉搏波传导速度 (Brachial—ankle pulse wave velocity, baPWV)

表 3 根据 TyG 指数, 高 PWV-ES 的优势比和 95% 可信区间

Table 3 Odds ratios and 95% confidence intervals for PWV-ES according to TyG index

组别	OR(95%CI)			
	Q1	Q2	Q3	Q4
TyG 指数在女性中				
Model 1	1	1.83(1.24~2.71)	3.14(1.84~5.37)	2.55(1.49~4.34)
Model 2	1	1.51(0.95~2.39)	2.39(1.32~4.34)	1.99(1.01~3.93)
TyG 指数在男性中				
Model 1	1	8.08(2.60~25.09)	3.31(1.63~6.72)	2.71(1.51~4.88)
Model 2	1	5.97(1.731~20.57)	3.25(1.54~6.83)	1.90(0.98~3.71)

注: Model 1. 校正年龄; Model 2. 校正年龄、收缩压、体重指数、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白和绝经期(女性中)。

及颈-股脉搏波传导速度 (Carotid—femoral pulse wave velocity, cfPWV) 等, 均是通过测量两点间距离以及传导时间, 在辅以复杂的计算公式, 由于存在较大测量误差, 导致其测值的稳定性及可重复性均难以让人满意。uPWV 为一种新型超极速超声成像的新技术, 其超快速的瞬时拍照技术 (>2 000 帧/s) 可实现对颈动脉局部脉搏传导的实时观测, 使其测值具有良好的稳定性及可重复性<sup>[9-10]</sup>。本研究显示, PWV-BS 及 PWV-ES 均随年龄的增加而逐步增高, 而 PWV-ES ( $r = 0.641$ ) 与年龄相关性显著优于 PWV-BS ( $r = 0.185$ ), 这与 Zhu 等<sup>[11]</sup> 前期研究 (PWV-ES,  $r = 0.710$ , PWV-BS,  $r = 0.304$ ) 相一致。Pan 等<sup>[12]</sup> 研究结果显示评估年龄以及其他危险因素导致糖尿病动脉弹性改变, PWV-ES 较 PWV-BS 更为敏感和有效, 本研究亦得出此结论。可能的原因是在技术方面, PWV-ES 可能比 PWV-BS 更为准确; PWV-ES 代表收缩期动脉弹性, 对年龄等相关疾病引起的动脉弹性变化更为有效和敏感<sup>[13-14]</sup>。

TyG 指数是 IR 的替代指标, 易获取, 与肥胖、高血压、高血脂等代谢参数和 CVD 相关<sup>[15]</sup>。前期研究证实<sup>[16-17]</sup> TyG 指数对预测正常血糖患者和正常体重患者的 2 型糖尿病有一定的预后价值。然而 TyG 指

数是否可以成为普通人群和糖尿病受试者的 AS 的独立预测因子<sup>[18]</sup>, Lambrinouadaki 等<sup>[19]</sup> 研究显示 TyG 指数和动脉弹性之间存在关联, 但此研究规模较小, 且仅在绝经后妇女进行; Lee 等<sup>[8]</sup> 开展的一项包含 3 587 例受试者研究显示 TyG 指数和 baPWV 之间的有显著相关性( $r=0.189, P<0.001$ ), 并且在调整代谢危险因素后, 与稳态模型评估法胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)相比, TyG 指数与动脉弹性的独立相关性更强。本研究结果显示, 使用 ufPWV 测量颈动脉弹性, TyG 指数与 PWV-ES 之间有显著相关性( $r=0.478, P<0.001$ ), 并且在校正了年龄、收缩压、体重指数等危险因素后, TyG 指数与动脉弹性之间有独立相关性。可能的机制是由于血浆甘油三酯升高会干扰肌肉中葡萄糖的正常代谢, 从而导致其对胰岛素的敏感性降低, 产生 IR, IR 可导致肾素-血管紧张素-醛固酮系统以及交感神经系统活性异常增强, 导致血管紧张素、醛固酮、儿茶酚胺及内皮素-1 的分泌增加, 促进血管的收缩、重塑及舒张功能障碍, 从而导致动脉硬化化的发生及发展<sup>[8,20]</sup>。

本研究结果显示, PWV-ES 在预测颈动脉硬化风险中存在性别差异, 对男性的动脉硬化风险预测价值更大, 可能的原因是性别差异可通过身高体型和激素水平等因素影响血管结构及功能。既往研究表明<sup>[21-22]</sup>, 女性血液循环中的雌激素可引起血管扩张, 增加动脉管壁弹性纤维的含量, 降低胶原纤维的含量, 从而较男性具有更低的动脉硬度, 使得动脉弹性更好。PWV-ES 在动脉弹性刚开始增高时即 Q1、Q2 组预测价值更高, 这与 Ma 等<sup>[23]</sup> 研究相一致, PWV-ES 可能在 AS 极早期即可敏感的检测到动脉弹性及结构的变化情况。PWV-ES 在 Q4 期预测价值显著降低, 可能由于 PWV-ES 的值存在一定的“平台期”, 其值不会随着动脉硬化程度的增加而无限上升<sup>[24]</sup>。本研究存在一些不足之处, AS 危险因素较多, 相互混杂, 较难控制, 未来仍需进一步多中心大样本的研究加以证实。

#### 4 结论

ufPWV 技术可定量评估颈动脉弹性功能, 在糖尿病人群中作为早期动脉粥样硬化风险的预测指标的价值。

#### 【参考文献】

[1] GOLDSBOROUGH E 3rd, OSUJI N, BLAHA M J. Assessment of cardiovascular disease risk: a 2022 update[J]. *Endocrinol Metab Clin North Am*, 2022, 51(3): 483-509.

[2] TAHAPARY D L, PRATISTHITA L B, FITRI N A, *et al*. Challenges in the diagnosis of insulin resistance: focusing on the

role of HOMA-IR and tryglyceride/glucose index[J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2022, 16(8): 102581.

[3] MARUŠIĆ M, PAIĆ M, KNOBLOCH M, *et al*. NAFLD, insulin resistance, and diabetes mellitus type 2[J]. *Can J Gastroenterol Hepatol*, 2021, 2021: 6613827.

[4] ALIZARGAR J, BAI C H, HSIEH N C, *et al*. Use of the triglyceride-glucose index (TyG) in cardiovascular disease patients[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 8.

[5] 孙文字, 乔晶, 孟敏敏, 等. 甘油三酯葡萄糖指数与 2 型糖尿病胰岛素抵抗及血管并发症的相关性[J]. *临床内科杂志*, 2023, 40(10): 681-685.

[6] TAO L C, XU J N, WANG T T, *et al*. Triglyceride-glucose index as a marker in cardiovascular diseases: landscape and limitations[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1): 68.

[7] LIU H, LIU J B, HUANG W, *et al*. Association between multi-site atherosclerotic plaques and systemic arteriosclerosis: results from the BEST study (Beijing vascular disease patients evaluation study)[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2020, 18(1): 30.

[8] LEE S B, AHN C W, LEE B K, *et al*. Association between triglyceride glucose index and arterial stiffness in Korean adults[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2018, 17(1): 41.

[9] 李悦, 夏俊, 张敏, 等. 脉搏波传导速度评价动脉粥样硬化性疾病的应用进展[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2021, 29(3): 271-276.

[10] 马学慧, 朱正球, 王银萍, 等. 超极速脉搏波传导速度技术定量评估临界性高血压成年人颈动脉变化[J]. *中国医学影像技术*, 2022, 38(4): 531-535.

[11] ZHU Z Q, CHEN L S, 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.

[12] PAN F S, XU M, YU L, *et al*. Relationship between carotid intima-media thickness and carotid artery stiffness assessed by ultrafast ultrasound imaging in patients with type 2 diabetes[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 111: 34-40.

[13] WANG Y P, ZHU Z Q, MA X H, *et al*. Individualized references of carotid stiffening quantified with ultrafast ultrasound imaging: model construction and preliminary validation[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2022, 48(8): 1528-1536.

[14] 王银萍, 戴萍, 吴琳琳, 等. 超极速脉搏波评估年龄相关颈动脉弹性衰退[J]. *西部医学*, 2021, 33(3): 444-447, 453.

[15] SÁNCHEZ-ÍNIGO L, NAVARRO-GONZÁLEZ D, FERNÁNDEZ-MONTERO A, *et al*. The TyG index may predict the development of cardiovascular events[J]. *Eur J Clin Investigation*, 2016, 46(2): 189-197.

[16] ZHANG M, WANG B Y, LIU Y, *et al*. Cumulative increased risk of incident type 2 diabetes mellitus with increasing triglyceride glucose index in normal-weight people: the rural Chinese cohort study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2017, 16(1): 30.

[17] MIAO M Y, ZHOU G, BAO A R, *et al*. Triglyceride-glucose index and common carotid artery intima-media thickness in patients with ischemic stroke[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2022, 21(1): 43.

- ligence: use case scenario for smart healthcare[J]. *J Neurosci Methods*, 2024, 408: 110159.
- [9] LAKKSHMANAN A, ANANTH C A, TIROUMALMOUROUGHANE S. An automated deep learning based pancreatic tumor diagnosis and classification model using computed tomography images[J]. *Int J Intell Comput Cybern*, 2022, 15(3): 454-470.
- [10] PAN X H, JIAO K J, LI X Y, *et al*. Artificial intelligence-based tools with automated segmentation and measurement on CT images to assist accurate and fast diagnosis in acute pancreatitis[J]. *Br J Radiol*, 2024, 97(1159): 1268-1277.
- [11] HARI KRISHNA D, ANAND M, SARAVANAN D, *et al*. Optimization of machine learning and deep learning algorithms for diagnosis of cancer [J]. *ECS Trans*, 2022, 107(1): 9389-9401.
- [12] FANNI S C, GRECO G, ROSSI S, *et al*. Role of artificial intelligence in oncologic emergencies; a narrative review[J]. *Explor Target Antitumor Ther*, 2023, 4(2): 344-354.
- [13] DING G Y, SHI J Y, WANG X D, *et al*. Artificial intelligence-based pathological analysis of liver cancer: current advancements and interpretative strategies[J]. *iLIVER*, 2024, 3(1): 100082.
- [14] SUJAN M, POOL R, SALMON P. Eight human factors and ergonomics principles for healthcare artificial intelligence[J]. *BMJ Health Care Inform*, 2022, 29(1): e100516.
- [15] POPA S L, GRAD S, CHIARIONI G, *et al*. Applications of artificial intelligence in the automatic diagnosis of focal liver lesions: a systematic review[J]. *J Gastrointest Liver Dis*, 2023, 32(1): 77-85.
- [16] 沈雨雯, 石逸秋, 解添淞, 等. 人工智能在胰腺癌影像诊断和评价中的研究进展[J]. *临床放射学杂志*, 2023, 42(9): 1527-1530.
- [17] 徐文浩, 田熙, 艾合太木江·安外尔, 等. 人工智能在泌尿系统肿瘤中的应用研究进展[J]. *中国癌症杂志*, 2022, 32(1): 68-74.
- [18] KUWAYAMA N, HOSHINO I, MORI Y, *et al*. Applying artificial intelligence using routine clinical data for preoperative diagnosis and prognosis evaluation of gastric cancer[J]. *Oncol Lett*, 2023, 26(5): 499.
- [19] SHI Z J, ZHU J Y, YU L H, *et al*. A two-stage end-to-end deep learning framework for pathologic examination in skin tumor diagnosis[J]. *Am J Pathol*, 2023, 193(6): 769-777.
- [20] QIN C D, LI B S, HAN B L. Fast brain tumor detection using adaptive stochastic gradient descent on shared-memory parallel environment[J]. *Eng Appl Artif Intell*, 2023, 120: 105816.
- (收稿日期: 2024-06-21; 修回日期: 2024-08-27; 编辑: 刘灵敏)

(上接第 365 页)

- [18] KIM M K, AHN C W, KANG S, *et al*. Relationship between the triglyceride glucose index and coronary artery calcification in Korean adults[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2017, 16(1): 108.
- [19] LAMBRINOUDAKI I, KAZANI M V, ARMENI E, *et al*. The TyG index as a marker of subclinical atherosclerosis and arterial stiffness in lean and overweight postmenopausal women[J]. *Heart Lung Circ*, 2018, 27(6): 716-724.
- [20] 张彤, 田雪, 左颖婷, 等. 无传统危险因素人群中 TyG 指数与心脑血管疾病的关系[J]. *上海交通大学学报(医学版)*, 2022, 42(3): 267-274.
- [21] 戴萍, 朱正球, 王晗, 等. 性别差异对超极速脉搏波速度与心血管疾病危险因素相关性的影响研究[J]. *重庆医学*, 2020, 49(16): 2642-2645.
- [22] CHIRINOS J A, SEGERS P, HUGHES T, *et al*. Large-artery stiffness in health and disease; jacc state-of-the-art review[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(9): 1237-1263.
- [23] MA X H, ZHU Z Q, WANG Y P, *et al*. Quantifying carotid stiffness in a pre-hypertensive population with ultrafast ultrasound imaging[J]. *Ultrasonography*, 2023, 42(1): 89-99.
- [24] 沈碧潇, 朱正球, 张心怡, 等. 超极速脉搏波技术在肾功能异常患者颈动脉弹性衰退定量评估中的应用价值[J]. *东南大学学报(医学版)*, 2021, 40(6): 737-742.
- (收稿日期: 2023-11-30; 修回日期: 2025-01-08; 编辑: 刘灵敏)