



[DOI]10.3969/j.issn.1001-9057.2026.02.008

http://www.lcnkz.com/CN/10.3969/j.issn.1001-9057.2026.02.008

· 论著 ·

中青年健康体检人群甘油三酯葡萄糖指数与肱踝脉搏波传导速度的相关性研究

全瑞祥 刘军军 王阳春 陈婷婷 方琴 冯锋

[摘要] **目的** 评估中青年健康体检人群中甘油三酯葡萄糖(TyG)指数与肱踝脉搏波传导速度(ba-PWV)的相关性。**方法** 纳入2023年1月~12月于南京梅山医院体检中心行ba-PWV检查的体检者702例,根据ba-PWV结果将其分为正常组(ba-PWV < 14m/s, 449例)和增高组(ba-PWV ≥ 14m/s, 253例),收集并比较两组受试者一般临床资料与实验室检查结果。采用spearman相关分析评估TyG指数与ba-PWV之间的相关性;采用单因素及多因素logistic回归分析评估ba-PWV增高的独立危险因素;采用受试者工作特征(ROC)曲线评估TyG指数对ba-PWV增高的预测效能。**结果** 单因素分析结果显示,正常组和增高组合并脂肪肝受试者比例、年龄、BMI、收缩压、舒张压、AST、ALT、 γ -谷氨酰转肽酶(γ GTP)、空腹血糖(FPG)、尿酸(UA)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、估算的肾小球滤过率(eGFR)及甘油三酯-葡萄糖(TyG)指数比较差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。Spearman相关分析结果显示,TyG指数与ba-PWV呈正相关($r = 0.373, P < 0.001$)。多因素logistic回归分析结果显示,TyG增加及ba-PWV增高的危险因素($P < 0.05$)。ROC曲线分析结果显示,TyG指数在预测ba-PWV增高方面更优。**结论** 中青年体检人群中,TyG指数与ba-PWV相关,可作为预测动脉硬化的潜在指标,为动脉硬化的早期发现和预防提供依据。

[关键词] TyG指数; ba-PWV; 动脉硬化; 危险因素; 健康体检

[中图分类号] R543.5 **[文献标识码]** A

Correlation between triglyceride-glucose index and brachial-ankle pulse wave velocity in middle-aged and young adults undergoing health check-ups Tong Ruixiang*, Liu Junjun, Wang Yangchun, Chen Tingting, Fang Qin, Feng Feng. * Department of Endocrinology, Nanjing Meishan Hospital, Nanjing 210000, China

[Abstract] **Objective** To evaluate the correlation between the triglyceride-glucose(TyG) index and brachial-ankle pulse wave velocity(ba-PWV) in middle-aged and young adults undergoing health check-ups. **Methods** A total of 702 subjects who underwent ba-PWV examination in the physical Examination Center of Nanjing Meishan Hospital from January to December 2023 were enrolled. According to the ba-PWV results, they were divided into normal group(ba-PWV < 14m/s, 449 cases) and increased group(ba-PWV ≥ 14m/s, 253 cases). General clinical data and laboratory test results of the two groups were collected and compared. Spearman correlation analysis was used to evaluate the correlation between the TyG index and ba-PWV; univariate and multivariate regression analysis was used to assess the independent risk factors for increased ba-PWV; the receiver operating characteristic(ROC) curve was used to evaluate the predictive efficacy of the TyG index for increased ba-PWV. **Results** Univariate analysis showed that, proportion of subjects with fatty liver, age, BMI, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, AST, ALT, γ -glutamyl transpeptidase(γ -GTP), fasting plasma glucose(FPG), uric acid(UA), triglyceride(TG), total cholesterol(TC), estimated creatinine clearance rate(eGFR) and triglyceride-glucose(TyG) index were statistically significant between normal group and increased group($P < 0.05$). Spearman correlation analysis showed that the TyG index was positively correlated with ba-PWV($r = 0.373, P < 0.001$). Multivariate logistic regression analysis showed that the increase of TyG and ba-PWV was the risk factor for the increase of ba-PWV($P < 0.05$). ROC curve analysis result showed that the TyG index was better in predicting the increase of ba-PWV. **Conclusion** In the middle-aged and young population undergoing physical examinations, the TyG index is correlated with ba-PWV and can be

基金项目:南京市卫生科技发展专项资金项目(YKK21216)

作者单位:210000 南京,南京梅山医院内分泌科(全瑞祥、王阳春、陈婷婷、方琴),精神科(刘军军);南京医科大学附属明基医院肿瘤科(冯锋)

通讯作者:冯锋, E-mail:413909294@qq.com

used as a potential indicator for predicting arteriosclerosis, providing a basis for the early detection and prevention of arteriosclerosis.

[Key words] TyG index; brachial-ankle pulse wave velocity; Arterial stiffness; Risk factors; Health examination

心血管疾病(CVD)是全球死亡的主要原因,研究表明,动脉硬化是心血管事件的重要危险因素^[1]。在临床和大量人群研究中,肱踝脉搏波速度(ba-PWV)已被广泛用于评估动脉硬化。多项研究证实,ba-PWV升高与高血压、糖尿病、脑卒中和全因死亡率风险增加有关^[2-4]。此外,胰岛素抵抗(IR)也被认为与CVD相关,先前的研究表明IR与心血管事件之间存在独立关联^[5]。甘油三酯-葡萄糖(TyG)指数近年来被认为与胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)具有一致性^[6]。以往TyG指数与动脉硬化之间的临床研究主要针对老年、高血压或糖尿病等特殊人群。然而,对于中青年健康体检人群TyG指数与ba-PWV的相关性研究较少。因此,本研究通过spearman相关分析及逐步logistic回归明确两者的相关性,以期对动脉硬化的早期干预提供依据和参考。

对象与方法

1. 对象:纳入2023年1月~12月于南京梅山医院体检中心行ba-PWV检查的体检者702例,其中男453例、女249例,年龄24~59岁,平均年龄(47.85±7.67)岁。纳入标准:(1)年龄24~60岁;(2)既往无糖尿病、高血压病、冠状动脉粥样硬化性心脏病、脑卒中病史;(3)未服用抗血脂异常药物,包括他汀类药物和贝特类药物;(4)体检资料齐全。本研究经南京梅山医院伦理委员会审核批准,所有受试者均知情同意。

2. 方法:收集所有受试者的一般临床资料与实验室检查结果,包括性别、年龄、吸烟史、既往病史、BMI、收缩压、舒张压、AST、ALT、 γ -谷氨酰转氨酶(γ GTP)、空腹血糖(FPG)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、血清肌酐(Cr)、尿酸(UA)。采用改良MDRD方程计算估算的肾小球滤过率(eGFR), $eGFR [ml \cdot min^{-1} \cdot (1.73 m^2)^{-1}] = 175 \times 血清肌酐^{-1.234} (mg/dl) \times 年龄^{-0.179} \times (女性 \times 0.79)^{[7]}$ 。TyG指数公式^[8]: $TyG = \ln [空腹血清 TG (mg/dl) \times FPG (mg/dl)] / 2$ 。使用PhilipsU2型彩色超声诊断仪,由2名高年资专职超声医师根据非酒精性脂肪性肝病(NAFLD)诊断标准^[9],记录肝脏超声各项参数。采用日本欧姆龙动脉硬化诊断仪测量患者ba-PWV:根据被检查者的身高计算从胸骨上切迹到胸骨和从胸骨上切迹到脚踝的路径长度,确定从肱波上升点到每个踝关节波形上升点

的传播时间,脉冲波传播距离/脉搏波传播时间即为ba-PWV,以m/s表示。同时测量双侧,重复两次取平均值,以ba-PWV < 14 m/s为正常,ba-PWV \geq 14 m/s为增高^[3]。根据ba-PWV检查结果将所有受试者分为正常组(449例)与增高组(253例)。

3. 统计学处理:应用SPSS 22.0与MedCalc 22.009软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本t检验;计数资料以例数和百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用Spearman相关分析评估TyG指数与ba-PWV之间的相关性;采用单因素及多因素logistic回归分析评估ba-PWV增高的独立危险因素;采用受试者工作特征(ROC)曲线评估TyG指数对ba-PWV增高的预测效能。ROC曲线下面积(AUC)差异性比较采用DeLong's Test检验。以P < 0.05为差异具有统计学意义。

结 果

1. 影响ba-PWV增高的单因素分析:单因素分析结果显示,正常组和增高组合并脂肪肝受试者比例、年龄、BMI、收缩压、舒张压、AST、ALT、 γ -GTP、FPG、UA、TG、TC、eGFR以及TyG指数比较差异均具有统计学意义(P < 0.05)。其余指标两组间比较差异无统计学意义(P > 0.05)。见表1。

2. TyG指数与ba-PWV的相关性分析:基于TyG指数四分位数将所有患者分为Q1组(TyG \leq 4.24, 176例)、Q2组(4.24 < TyG \leq 4.47, 175例)、Q3组(4.47 < TyG \leq 4.69, 176例)和Q4组(TyG > 4.69, 175例),随着TyG指数四分位数的增加,平均ba-PWV值亦呈现上升趋势,表明TyG指数与ba-PWV之间存在正相关关系($H = 51.87, P < 0.001$)。见表2。进一步的spearman相关分析结果显示,TyG指数与ba-PWV呈正相关($r = 0.373, P < 0.001$)。提示动脉硬化的严重程度可能会随着TyG指数的增加而加剧。

3. ba-PWV增高危险因素分析:以检出率比较差异有统计学意义的临床指标为自变量,以ba-PWV是否增高为因变量进行多模型logistic回归分析,校正相关影响因素后的结果显示,TyG增加与ba-PWV增高显著相关(P < 0.05)。见表3。

4. TyG指数对ba-PWV增高的预测价值:ROC曲线分析结果显示,TyG指数预测ba-PWV增高的曲线下面积(AUC)为0.712, S.E为0.020, P < 0.001;均高

表 1 影响 ba-PWV 增高的单因素分析($\bar{x} \pm s$)

| 组别 | 例数 | 男性 [例, (%)] | 吸烟 [例, (%)] | 合并脂肪肝 [例, (%)] | 年龄 (岁) | BMI (Kg/m ²) | 收缩压 (mmHg) | 舒张压 (mmHg) | AST (mmol/L) | ALT (mmol/L) |
|--------------|-----|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|-----------------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 正常组 | 449 | 281(62.58) | 219(48.78) | 102(22.72) | 46.03 ± 7.76 | 22.96 ± 3.34 | 116.65 ± 12.30 | 72.59 ± 8.43 | 20.08 ± 8.19 | 21.81 ± 15.39 |
| 增高组 | 253 | 172(67.98) | 126(49.80) | 98(38.74) | 51.07 ± 6.35 | 23.46 ± 2.86 | 122.73 ± 13.15 | 80.91 ± 8.82 | 21.68 ± 7.63 | 24.79 ± 13.41 |
| χ^2/t 值 | | 2.061 | 0.068 | 20.383 | -8.812 | -2.001 | -6.129 | -12.342 | -2.541 | -2.582 |
| P 值 | | 0.163 | 0.814 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |

| 组别 | 例数 | γ GTP (mmol/L) | FPG (mmol/L) | UA (μ mol/L) | TG (mmol/L) | TC (mmol/L) | HDL-C (mmol/L) | LDL-C (mmol/L) | eGFR[ml · min ⁻¹ · (1.73 m ²) ⁻¹] | TyG 指数 |
|--------------|-----|--------------------------|-----------------|----------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|---|---------------|
| 正常组 | 449 | 22.75 ± 22.12 | 5.26 ± 0.47 | 308.79 ± 85.72 | 1.02 ± 0.85 | 5.27 ± 0.93 | 1.39 ± 0.40 | 3.31 ± 0.84 | 4.42 ± 0.32 | 73.80 ± 12.18 |
| 增高组 | 253 | 30.39 ± 30.60 | 5.47 ± 0.49 | 323.45 ± 81.71 | 1.32 ± 0.90 | 5.64 ± 0.94 | 1.37 ± 0.35 | 3.35 ± 0.85 | 4.58 ± 0.33 | 67.89 ± 10.38 |
| χ^2/t 值 | | -3.809 | -5.673 | -2.212 | -4.491 | -5.118 | 0.519 | -6.351 | -6.032 | 6.491 |
| P 值 | | 0.018 | <0.001 | 0.027 | <0.001 | <0.001 | 0.610 | 0.525 | <0.001 | <0.001 |

表 2 TyG 指数与 ba-PWV 相关性

| 组别 | 例数 | 平均 ba-PWV 值 (m/s) | 中位数 ba-PWV 值 (m/s) | 标准差 (SD) | ba-PWV 增高例数 | ba-PWV 增高率 (%) |
|-------------------------|-----|----------------------|-----------------------|-------------|----------------|-------------------|
| Q1 组(TyG ≤ 4.24) | 176 | 1 289.6 | 1 275.0 | 156.82 | 32 | 18.18 |
| Q2 组(4.24 < TyG ≤ 4.47) | 175 | 1 343.8 | 1 332.0 | 162.37 | 58 | 33.14 |
| Q3 组(4.47 < TyG ≤ 4.69) | 176 | 1 383.6 | 1 376.5 | 178.45 | 83 | 47.16 |
| Q4 组(TyG > 4.69) | 175 | 1 422.6 | 1 418.0 | 189.76 | 80 | 45.71 |
| 总体 | 702 | 1 359.9 | 1 351.0 | 175.63 | 253 | 36.04 |

表 3 ba-PWV 增高危险因素的多因素 logistic 回归分析

| 因素 | 模型 1 | | 模型 2 | | 模型 3 | |
|-------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | OR(95% CI) | P 值 | OR(95% CI) | P 值 | OR(95% CI) | P 值 |
| TyG | 4.281(2.612 ~ 7.044) | <0.001 | 3.515(1.946 ~ 6.362) | <0.001 | 2.405(1.226 ~ 4.712) | 0.011 |
| 年龄 | - | - | 1.112(1.082 ~ 1.145) | <0.001 | 1.102(1.073 ~ 1.130) | <0.001 |
| BMI | - | - | 0.984(0.923 ~ 1.056) | 0.927 | 0.985(0.866 ~ 0.993) | 0.048 |
| 合并脂肪肝 | - | - | 1.992(1.293 ~ 3.102) | 0.002 | 2.014(1.265 ~ 3.192) | 0.003 |
| 收缩压 | - | - | - | - | 1.038(1.023 ~ 1.052) | <0.001 |
| AST | - | - | - | - | 1.015(0.994 ~ 1.032) | 0.547 |
| UA | - | - | - | - | 0.992(0.986 ~ 1.001) | 0.502 |
| TC | - | - | - | - | 1.213(0.991 ~ 1.475) | 0.057 |
| eGFR | - | - | - | - | 0.985(0.962 ~ 0.993) | 0.021 |

注:模型 1 未校正;模型 2 校正年龄、BMI、脂肪肝因素;模型 3 在模型 2 基础上校正收缩压、AST、UA、TC、eGFR 等因素

于 BMI($Z = 11.556, P < 0.001$)、FPG($Z = 3.329, P = 0.004$)、TC($Z = 5.233, P < 0.001$)、TG($Z = 4.156, P < 0.001$),表明 TyG 指数在预测 ba-PWV 增高方面更优。见表 4。

表 4 各指标预测 ba-PWV 增高的 ROC 曲线分析结果

| 指标 | AUC | S.E. | P 值 | 95% CI | 敏感度 (%) | 特异度 (%) | 最佳 截断值 |
|-----|-------|-------|--------|---------------|------------|------------|-------------------------|
| TyG | 0.712 | 0.020 | <0.001 | 0.673 ~ 0.751 | 68.38 | 65.70 | 4.48 |
| BMI | 0.566 | 0.022 | 0.004 | 0.522 ~ 0.609 | 59.29 | 53.23 | 23.15 kg/m ² |
| FPG | 0.631 | 0.022 | <0.001 | 0.588 ~ 0.673 | 62.06 | 58.57 | 5.32 mmol/L |
| TC | 0.611 | 0.022 | <0.001 | 0.569 ~ 0.654 | 60.47 | 57.24 | 5.48 mmol/L |
| TG | 0.623 | 0.022 | <0.001 | 0.580 ~ 0.666 | 58.89 | 60.13 | 1.18 mmol/L |

讨 论

本研究为横断面研究,旨在明确中青年健康体检人群中 TyG 指数与 ba-PWV 的相关性。本研究结果发

现,在 702 例中青年体检者中,有 253 例(36.04%) ba-PWV 值增高。随着 TyG 指数的四分位数增加,平均 ba-PWV 值亦呈现上升趋势。进一步行 spearman 相关分析结果显示,TyG 指数的升高与 ba-PWV 的增加呈正相关。在调整了年龄、BMI、合并脂肪肝、收缩压、ASL、UA、TC、eGFR 等混杂因素后,二元 logistic 回归分析结果表明 TyG 指数是动脉硬化的独立危险因素,每增加 1 个单位的 TyG 指数,ba-PWV 增高的风险增加 140%。此外,ROC 曲线分析结果显示 TyG 指数预测 ba-PWV 增高的 AUC 为 0.712,进一步证实 TyG 指数在预测动脉硬化中的潜在价值。

TyG 指数是 FPG 和 TG 的组合,在多项研究中 TyG 指数被认为是一般人群中 IR 的理想替代标志物,与 HOMA-IR 具有一致性。多项研究已证实,TyG 指数与动脉硬化之间存在关联。特别是在糖尿病和冠心病

患者中, TyG 指数与动脉硬化显著相关, 并可用于预测心血管事件。Wang 等^[10]的研究发现, 在糖尿病患者中, TyG 指数每增加一个单位, 动脉僵硬增加的患病率增加 1.40 倍, 且表明 TyG 指数与动脉硬化的相关性优于 HOMA-IR。此外, 一项队列研究显示, 与 TyG 指数最低四分位数的受试者相比, TyG 指数最高四分位数者发生动脉僵硬度的风险高出 58%^[11]。在冠状动脉疾病 (CAD) 患者中, 李琦等^[12]的研究发现, 高水平的 TyG 和 TyG-BMI 是颈动脉斑块形成的危险因素, 高 TyG 指数组 CAD 患者发生颈动脉斑块形成的风险是低 TyG 指数组的 2.56 倍。另一项研究也证实, TyG 指数与经冠状动脉造影检查证实的冠状动脉粥样硬化相关, 可以作为筛查动脉硬化的简便易行的生物学指标^[13]。本研结果的重要意义在于进一步证实, 在无糖尿病、高血压病、冠心病、脑卒中病史的中青年健康人群中, TyG 指数与 ba-PWV 呈正相关, 可以作为筛查动脉硬化的简便易行的生物学指标。

目前, 胰岛素抵抗与动脉硬化之间的确切机制尚不清楚, 但先前的研究提出了一些可能的影响因素。胰岛素通常通过增加内皮细胞内一氧化氮的合成来促进血管舒张。然而, 在胰岛素抵抗状态下, 这种作用可能被减弱, 导致血管收缩^[14-15]。胰岛素还可以激活内皮细胞的 Na⁺ 通道, 与醛固酮协同作用, 促进血管重塑和硬化。胰岛素抵抗还可能增强巨噬细胞的 M1 型促炎反应, 增加肿瘤坏死因子 (TNF)- α 和其他细胞因子的分泌, 进而损害血管功能, 并通过减少抗炎因子 IL-10 的生成, 削弱 M2 型抗炎反应^[16-18]。在胰岛素抵抗的早期阶段, 由于一氧化氮增加和血管紧张素 II 受体活性增强的代偿机制, 动脉硬化可能暂时降低。然而, 随着胰岛素抵抗的持续, 这些代偿机制可能逐渐失效, 导致动脉僵硬程度增加^[19]。TyG 指数的预测效能 (AUC = 0.712) 显著优于 BMI、FPG 等单一指标, 源于其对代谢紊乱的双重整合即胰岛素抵抗核心通路覆盖; 同时捕获脂代谢紊乱和糖代谢异常, 而二者正是动脉硬化发展的共同土壤^[14-15]。同时, TyG 指数的计算方法存在非线性关系放大信号作用; 对数转换与乘积形式可放大轻度异常的协同效应, 比单一指标更敏感^[8]。最后, TyG 指数可以规避“代谢补偿”干扰: 肥胖人群可能表现为孤立性血脂或血糖异常, 而 TyG 能识别二者的协同损伤。

综上所述, 本研究发现中青年健康体检人群中 TyG 指数与 ba-PWV 之间呈正相关, 且 TyG 指数是动脉硬化的独立危险因素。ROC 曲线分析结果进一步证实了 TyG 指数在预测动脉硬化方面的潜在价值。尽管如此, 本研究亦存在一些局限性。首先, 作为一项

横断面研究, 我们无法确定 TyG 指数与 ba-PWV 之间的因果关系。其次, 由于样本量相对较小, 研究结果可能无法全面代表整个人群。因此, 未来的研究需要采用更大样本量的前瞻性设计, 以进一步验证 TyG 指数与 ba-PWV 之间的关系, 并探索其在动脉硬化预防和治疗中的潜在应用。

参 考 文 献

- [1] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2022 概要[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(6):583-612.
- [2] 赵建勇, 郭春月, 宋翠. 中老年人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.
- [3] Yang Y, Huang X, Wang Y, et al. The impact of triglyceride-glucose index on ischemic stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Cardiovasc Diabetol, 2023, 22(1):2.
- [4] 杨珊, 李红英, 周静璇, 等. 高甘油三酯葡萄糖乘积指数与腹膜透析患者病死率增加相关的队列研究[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(3):371-377.
- [5] 董征, 杨青苗, 郭彩霞. 高甘油三酯葡萄糖指数与急性心肌梗死患者严重冠状动脉病变及不良预后相关[J]. 中国分子心脏病学杂志, 2024, 24(1):5858-5863.
- [6] Nnamudi AC, Orhue NJ, Ijeh II, et al. Finnish diabetes risk score outperformed triglyceride-glucose index in diabetes risk prediction[J]. J Diabetes Metab Disord, 2023, 22(2):1337-1345.
- [7] 马迎春, 左力, 王梅, 等. MDRD 方程在我国慢性肾脏病患者中的改良和评估[J]. 中华肾脏病杂志, 2006, 22(10):589-595.
- [8] Simental-Mendia LE, Rodríguez-Morán M, Guerrero-Romero F, et al. The product of fasting glucose and triglycerides as surrogate for identifying insulin resistance in apparently healthy subjects[J]. Metab Syndr Relat Disord, 2008, 6(4):299-304.
- [9] 中华医学会肝病学分会脂肪肝和酒精性肝病学组, 中国医师协会脂肪性肝病专家委员会. 非酒精性脂肪性肝病防治指南 (2018 年更新版)[J]. 临床肝胆病杂志, 2018, 34(5):947-957.
- [10] Wang S, Shi J, Peng Y, et al. Stronger association of triglyceride glucose index than the HOMA-IR with arterial stiffness in patients with type 2 diabetes: a real-world single-centre study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2021, 20(1):82.
- [11] Wu S, Xu L, Wu M, et al. Association between triglyceride-glucose index and risk of arterial stiffness: a cohort study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2021, 20:146.
- [12] 李琦, 李娇, 陈雅芳, 等. TyG 和 TyG-BMI 与冠心病患者颈动脉粥样硬化的相关性[J]. 心脏杂志, 2024, 36(3):277-282.
- [13] 包鑫, 卢昌宏, 赵娜, 等. 三酰甘油葡萄糖指数与冠状动脉及颈动脉粥样硬化的相关性研究[J]. 中国全科医学, 2022, 25(15):1845-1849.
- [14] 罗静. 2 型糖尿病胰岛素抵抗与心血管疾病的研究进展[J]. 公共卫生与预防医学, 2023, 34(5):125-128.
- [15] Muniyappa R, Sowers JR. Endothelial insulin and IGF-1 receptors: when yes means NO[J]. Diabetes, 2012, 61:2225-2227.
- [16] Trouwborst I, Wouters K, Jocken JW, et al. Circulating and adipose tissue immune cells in tissue-specific insulin resistance in humans with overweight and obesity[J]. Obesity, 2023, 31(5):1326-1337.
- [17] Aroor AR, Demarco VG, Jia G, et al. The role of tissue renin-angiotensin-aldosterone system in the development of endothelial dysfunction and arterial stiffness[J]. Front Endocrinol, 2013, 4:161.
- [18] Aroor AR, Mckarns S, Demarco VG, et al. Maladaptive immune and inflammatory pathways lead to cardiovascular insulin resistance[J]. Metabolism, 2013, 62(11):1543-1552.
- [19] Brillante DG, O'Sullivan AJ, Howes LG. Arterial stiffness in insulin resistance: the role of nitric oxide and angiotensin II receptors[J]. Vasc Health Risk Manag, 2009, 5(1):73-78.

(收稿日期: 2025-03-18)

(本文编辑: 李昊阳)