

本文引用: 李其华, 陈见红, 陈慧生. 三种新型胰岛素抵抗指标水平与中年人群发生冠心病的相关性[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(2): 145-153. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.02.007.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-02-0145-09

· 临床研究 ·

## 三种新型胰岛素抵抗指标水平与中年人群发生冠心病的相关性

李其华, 陈见红, 陈慧生

柳州市人民医院心血管内科, 广西柳州市 545006

**[摘要]** **[目的]** 探讨胰岛素抵抗代谢评分(METS-IR)、估计葡萄糖处置率(eGDR)、甘油三酯葡萄糖指数结合体重指数(TyG-BMI)等三种新型胰岛素抵抗(IR)指标水平与中年人群发生冠心病的相关性。**[方法]** 选取2015年1月—2022年12月在柳州市人民医院心血管内科住院行冠状动脉造影的533例中年人群为研究对象。根据冠状动脉造影结果将研究对象分为冠心病组(241例)和对照组(292例)。收集两组一般资料和实验室检查指标,根据相关公式计算METS-IR、eGDR、TyG-BMI。采用双变量Spearman相关、多因素Logistic回归、限制性立方样条图分析不同IR指标水平与中年人群发生冠心病的相关性。采用亚组分析和交互作用检验主要观察结果在不同人群中的差异。采用受试者工作特征(ROC)曲线评估不同IR指标对中年人群发生冠心病的预测效能。**[结果]** 冠心病组METS-IR、TyG-BMI高于对照组,eGDR低于对照组( $P < 0.05$ )。Spearman相关分析结果显示,METS-IR、TyG-BMI与冠心病呈正相关关系( $r = 0.312, 0.267$ , 均 $P < 0.001$ ),eGDR与冠心病呈负相关关系( $r = -0.275, P < 0.001$ )。多因素Logistic回归分析结果显示,无论作为连续变量还是分类变量,METS-IR、eGDR、TyG-BMI水平均是中年人群发生冠心病的独立影响因素( $P$ 均 $< 0.001$ )。与最低四分位数组相比,METS-IR位于第2、3、4四分位数组的人群发生冠心病的风险分别增加2.286倍( $OR: 3.286, 95\% CI: 1.823 \sim 5.924$ )、2.061倍( $OR: 3.061, 95\% CI: 1.670 \sim 5.609$ )、4.646倍( $OR: 5.646, 95\% CI: 3.018 \sim 10.563$ );eGDR位于第4四分位数组的人群发生冠心病的风险降低79.2%( $OR: 0.208, 95\% CI: 0.114 \sim 0.379$ );TyG-BMI位于第2、3、4四分位数组的人群发生冠心病的风险分别增加1.579倍( $OR: 2.579, 95\% CI: 1.438 \sim 4.625$ )、2.155倍( $OR: 3.155, 95\% CI: 1.761 \sim 5.655$ )、3.142倍( $OR: 4.142, 95\% CI: 2.317 \sim 7.407$ )。限制性立方样条图显示,在调整混杂因素影响后,METS-IR、TyG-BMI水平与冠心病呈非线性正相关关系(均 $P_{\text{总体}} < 0.001, P_{\text{非线性}} = 0.002, 0.043$ ),eGDR水平与冠心病呈非线性负相关关系( $P_{\text{总体}} < 0.001, P_{\text{非线性}} = 0.010$ )。亚组分析显示,不同IR指标与冠心病的关联在超重/肥胖、糖尿病、高血压以外的人群中基本一致。ROC曲线分析显示,METS-IR、eGDR、TyG-BMI水平联合临床因素预测中年人群发生冠心病的曲线下面积分别为0.746( $95\% CI: 0.704 \sim 0.788, P < 0.001$ )、0.750( $95\% CI: 0.709 \sim 0.792, P < 0.001$ )和0.742( $95\% CI: 0.700 \sim 0.784, P < 0.001$ )。**[结论]** METS-IR、eGDR和TyG-BMI水平与中年人群发生冠心病独立相关,三者对冠心病均具有一定的预测价值,均可作为预测冠心病较为理想的指标。

**[关键词]** 胰岛素抵抗; 中年人群; 冠心病; 胰岛素抵抗代谢评分; 估计葡萄糖处置率; 甘油三酯葡萄糖指数结合体重指数

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

### Correlation between levels of three novel insulin resistance indicators and the occurrence of coronary heart disease in middle-aged population

LI Qihua, CHEN Jianhong, CHEN Huisheng

Department of Cardiology, Liuzhou People's Hospital, Liuzhou, Guangxi 545006, China

**[ABSTRACT]** **Aim** To investigate the correlation between levels of three novel insulin resistance (IR) indicators including metabolic score for insulin resistance (METS-IR), estimated glucose disposal rate (eGDR), triglyceride-glucose index combined with body mass index (TyG-BMI), and the occurrence of coronary heart disease (CHD) in middle-aged population. **Methods** A total of 533 middle-aged individuals who were hospitalized in the Department of Cardiology of

[收稿日期] 2025-09-11

[修回日期] 2025-11-10

[基金项目] 广西壮族自治区卫生健康委员会计划课题(Z-B20241227)

[作者简介] 李其华, 硕士, 副主任医师, 研究方向为冠心病的防治和康复管理, E-mail: liqihua22@126.com。通信作者陈慧生, 硕士, 副主任医师, 研究方向为心血管介入治疗, E-mail: baitg@sina.com。

Liuzhou People's Hospital from January 2015 to December 2022 and underwent coronary angiography were enrolled as the research subjects. They were divided into CHD group (241 cases) and control group (292 cases) according to the results of coronary angiography. The general data and laboratory examination indicators of the subjects were collected, and METS-IR, eGDR, TyG-BMI were calculated using relevant formulas. Bivariate Spearman correlation, multivariate Logistic regression, and restricted cubic spline plots were used to analyze the correlation between levels of various IR indicators and the occurrence of CHD in middle-aged population. Subgroup analysis and interaction tests were conducted to examine differences in the main results among different people. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the value of various IR indicators in predicting the occurrence of CHD in middle-aged population. **Results** METS-IR, TyG-BMI were higher in CHD group than those in control group, while eGDR was lower than that in control group ( $P < 0.05$ ). The Spearman correlation analysis results showed positive correlations between METS-IR, TyG-BMI and CHD ( $r = 0.312$  and  $0.267$ , respectively; all  $P < 0.001$ ), and negative correlation between eGDR and CHD in middle-aged population ( $r = -0.275$ ,  $P < 0.001$ ). Multivariate Logistic regression analysis showed that whether as continuous or categorical variable, METS-IR, eGDR, TyG-BMI were independent influencing factors for CHD in middle-aged population ( $P < 0.001$ ). Compared with the lowest quartile group, the risk of CHD in 2nd, 3rd, and 4th quartile groups of METS-IR increased by 2.286-fold ( $OR: 3.286$ ,  $95\% CI: 1.823 \sim 5.924$ ), 2.061-fold ( $OR: 3.061$ ,  $95\% CI: 1.670 \sim 5.609$ ), and 4.646-fold ( $OR: 5.646$ ,  $95\% CI: 3.018 \sim 10.563$ ) respectively; the risk of CHD in 4th quartile group of eGDR decreased 79.2% ( $OR: 0.208$ ,  $95\% CI: 0.114 \sim 0.379$ ); the risk of CHD in 2nd, 3rd, and 4th quartile groups of TyG-BMI increased by 1.579-fold ( $OR: 2.579$ ,  $95\% CI: 1.438 \sim 4.625$ ), 2.155-fold ( $OR: 3.155$ ,  $95\% CI: 1.761 \sim 5.655$ ), and 3.142-fold ( $OR: 4.142$ ,  $95\% CI: 2.317 \sim 7.407$ ) respectively. The restricted cubic spline plots revealed that, after adjusting for confounding factors, METS-IR, TyG-BMI levels were positively nonlinearly correlated with CHD ( $P$  for overall  $< 0.001$ ,  $P$  for nonlinearity =  $0.002$  and  $0.043$ , respectively), while eGDR level was negatively nonlinearly correlated with CHD ( $P$  for overall  $< 0.001$ ,  $P$  for nonlinearity =  $0.010$ ). Subgroup analysis showed that the association between various IR indicators and CHD were basically consistent in population other than those with overweight/obesity, diabetes and hypertension. ROC curve analysis showed that the areas under the curve (AUC) of METS-IR, eGDR, TyG-BMI combined with clinical factors in predicting CHD were 0.746 ( $95\% CI: 0.704 \sim 0.788$ ,  $P < 0.001$ ), 0.750 ( $95\% CI: 0.709 \sim 0.792$ ,  $P < 0.001$ ) and 0.742 ( $95\% CI: 0.700 \sim 0.784$ ,  $P < 0.001$ ) respectively. **Conclusion** The levels of METS-IR, eGDR, and TyG-BMI are independently associated with the occurrence of CHD in middle-aged population. All three indicators have certain predictive value for CHD and can serve as relatively ideal indicators for predicting CHD.

[**KEY WORDS**] insulin resistance; middle-aged population; coronary heart disease; metabolic score for insulin resistance; estimated glucose disposal rate; triglyceride-glucose index combined with body mass index

随着生活方式改变和城镇化进程加速,我国居民冠心病的发病率和死亡率呈持续上升趋势,给家庭和社会带来沉重负担,成为当前最严重的公共卫生问题之一<sup>[1]</sup>。研究表明,胰岛素抵抗(insulin resistance, IR)与冠心病存在密切关系<sup>[2]</sup>。IR是机体对胰岛素作用的敏感性和反应性降低的状态,通常发生在糖尿病出现之前。IR通过引起糖脂代谢异常、血管内皮功能障碍、慢性炎症反应等机制促进冠心病发生发展<sup>[3]</sup>。因此,及时识别IR对于冠心病的早期防治至关重要。高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验被认为是评估IR的金标准,但由于其高昂的检测成本和复杂的程序,仅限于小型研究,不适合大规模应用于临床和流行病学调查<sup>[4]</sup>。胰岛素抵抗稳态模型(homeostasis model assessment of insulin resistance, HOMA-IR)因其非侵入性、易操作性成为评估IR较为常用的指标,但在接受胰岛素治疗的患者

或 $\beta$ 细胞功能不全的患者中存在局限<sup>[5]</sup>,并且,HOMA-IR的计算需检测空腹胰岛素水平,基层单位难以常规开展,限制了其在疾病筛查中的广泛使用。胰岛素抵抗代谢评分(metabolic score for insulin resistance, METS-IR)、估计葡萄糖处置率(estimated glucose disposal rate, eGDR)、甘油三酯葡萄糖指数结合体重指数(triglyceride-glucose index combined with body mass index, TyG-BMI)是近年来发现的三种评估IR的新型指标,能可靠反映人体IR水平,具有成本低廉、计算简单、易于获得等优点<sup>[6-8]</sup>。然而,以上新型IR指标与冠心病的关系,尤其是在不同亚组人群中的关系,尚未完全明确。鉴于中年人群是冠心病重点防控人群,本研究以中年人群为研究对象,探讨上述新型IR指标水平与冠心病的相关性,为冠心病的防治提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

选取 2015 年 1 月—2022 年 12 月在柳州市人民医院心血管内科住院行冠状动脉造影的 533 例中年人群为研究对象,其中男性 276 例,年龄 53.00 (47.25~56.00) 岁;女性 257 例,年龄 54.00 (51.00~58.00) 岁。根据冠状动脉造影结果将研究对象分为冠心病组 (241 例) 和对照组 (292 例)。纳入标准: (1) 年龄 40~60 岁; (2) 无他汀类、贝特类等调脂药物使用史,无降糖药物、降压药物使用史,无减肥药物使用史,无糖皮质激素等影响血压、糖脂代谢和体重的药物使用史; (3) 病历资料完整,相关数据无缺失。排除标准: (1) 既往有冠心病、心肌梗死、脑血管病、严重外周动脉粥样硬化疾病患者; (2) 有严重慢性阻塞性肺疾病、支气管哮喘、肝肾功能不全、恶性肿瘤、严重贫血、风湿免疫性疾病等患者; (3) 研究人员认为不适合纳入本研究者。本研究经柳州市人民医院伦理审查委员会批准 (伦理审批号: KY-2024-009)。

### 1.2 研究方法

本研究采用回顾性分析方法,通过电子病历系统采集以下数据资料。(1) 一般资料:包括人口统计学特征 (年龄、性别)、体重指数 (body mass index, BMI)、个人史 (吸烟史等)、既往病史 (高血压、糖尿病、高脂血症等慢性病史); (2) 实验室检查指标:包括空腹血糖 (fasting blood glucose, FBG)、糖化血红蛋白 (hemoglobin A1c, HbA1c)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、甘油三酯 (triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDLC)、低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDLC), 所有血液标本均在禁食 8 h 后于次日晨间采集,分离血浆后使用全自动生物化学分析仪进行检测; (3) 冠状动脉评估:采用选择性冠状动脉造影术,操作过程由取得介入资质的心血管内科医师在标准化导管室完成,造影结果由两位资深心脏介入专家独立评估冠状动脉狭窄程度。

### 1.3 相关定义和标准

冠心病的定义根据美国心脏病协会 (American Heart Association, AHA) 制定的标准<sup>[9]</sup>,左主干、左前降支、左回旋支、右冠状动脉或其主要分支,管腔狭窄 $\geq 50\%$ 。吸烟史定义为连续吸烟超过 1 年且平均每日吸烟量 $\geq 1$  支。高血压的定义依据多次非同日血压测量结果,收缩压 (systolic blood pressure,

SBP)  $\geq 140$  mmHg 和/或舒张压 (diastolic blood pressure, DBP)  $\geq 90$  mmHg<sup>[10]</sup>。2 型糖尿病的诊断参照《中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版)》<sup>[11]</sup>: FBG  $\geq 7.0$  mmol/L, 或糖耐量试验 2 h 血糖  $\geq 11.1$  mmol/L, 或 HbA1c  $\geq 6.5\%$ 。高脂血症定义为 TC  $\geq 5.2$  mmol/L 和/或 LDLC  $\geq 3.4$  mmol/L 和/或 TG  $\geq 1.7$  mmol/L。BMI 的计算公式为: BMI = 体重 (kg) / 身高 (m)<sup>2</sup>。超重定义为  $24 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 28 \text{ kg/m}^2$ , 肥胖定义为  $\text{BMI} \geq 28 \text{ kg/m}^2$ 。IR 指标的计算公式为: METS-IR =  $\ln[0.2 \times \text{FBG} (\text{mg/L}) + 0.1 \times \text{TG} (\text{mg/L})] \times \text{BMI} (\text{kg/m}^2) / \ln[0.1 \times \text{HDL} (\text{mg/L})]$ ; eGDR =  $19.02 - 0.22 \times \text{BMI} (\text{kg/m}^2) - 3.26 \times \text{高血压} (1 = \text{是}, 0 = \text{否}) - 0.61 \times \text{HbA1c} (\%)$ ; TyG-BMI =  $\ln[\text{TG} (\text{mg/L}) \times \text{FBG} (\text{mg/L}) / 200] \times \text{BMI} (\text{kg/m}^2)$ 。

### 1.4 统计学处理方法

采用 SPSS25.0 统计软件对数据进行统计分析。符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,两组间比较采用 *t* 检验。不符合正态分布的计量资料以中位数和四分位数表示,两组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以例 (%) 表示,两组间比较采用  $\chi^2$  检验。采用双变量 Spearman 相关、多因素 Logistic 回归分析不同 IR 指标与中年人群发生冠心病的相关性。为了调整混杂因素对结果的影响,本研究建立了 3 个模型:模型 1 未调整变量,模型 2 调整了性别、年龄,模型 3 在模型 2 基础上调整了吸烟史、高血压、高脂血症。采用 R4.2.3 软件绘制限制性立方样条图分析 IR 指标与冠心病的剂量-反应关系。采用亚组分析和交互作用检验观察主要结果在不同人群中的差异。采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评估 IR 指标对中年人群发生冠心病的预测价值。采用 MedCalc20.0 统计软件,比较 ROC 曲线下面积,评估 IR 指标对冠心病的预测效能是否存在差异。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组一般资料和实验室检查指标比较

两组 TC、LDLC 水平比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。冠心病组年龄大于对照组,男性占比、吸烟史占比、高血压发生率、糖尿病发生率、高脂血症发生率、BMI、SBP、DBP、FBG、HbA1c、TG、METS-IR、TyG-BMI 高于对照组,HDLC、eGDR 水平低于对照组 ( $P < 0.05$ ; 表 1)。

表 1. 两组一般资料和实验室检查指标比较

Table 1. Comparison of baseline data and laboratory examination indicators between the two groups

项目	对照组 (n=292)	冠心病组 (n=241)	Z/t/ $\chi^2$	P
年龄/岁	53.00(49.00,56.00)	54.00(50.00,58.00)	-3.578	<0.001
男性/[例(%)]	114(39.0)	162(67.2)	41.989	<0.001
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	23.83(22.04,26.56)	25.33(23.31,27.21)	-4.398	<0.001
吸烟史/[例(%)]	50(17.1)	94(39.0)	32.059	<0.001
高血压/[例(%)]	148(50.7)	166(68.9)	18.057	<0.001
糖尿病/[例(%)]	34(11.6)	75(31.1)	30.786	<0.001
高脂血症/[例(%)]	134(45.9)	158(65.6)	20.622	<0.001
SBP/mmHg	127.00(117.00,143.00)	135.00(123.00,148.00)	-4.265	<0.001
DBP/mmHg	74.00(67.25,84.75)	78.00(70.00,86.00)	-2.310	0.021
FBG/(mmol/L)	4.84(4.54,5.27)	5.11(4.67,5.95)	-4.353	<0.001
HbA1c/%	5.70(5.40,5.90)	6.00(5.60,6.50)	-6.207	<0.001
TC/(mmol/L)	4.41(3.90,5.03)	4.57(4.05,5.31)	-1.857	0.063
TG/(mmol/L)	1.23(0.92,1.90)	1.74(1.21,2.49)	-5.819	<0.001
HDLc/(mmol/L)	1.22(1.00,1.50)	1.01(0.88,1.18)	-7.140	<0.001
LDLc/(mmol/L)	2.55±0.85	2.70±0.98	-1.807	0.071
METS-IR	35.35(30.88,40.74)	40.62(35.55,45.06)	-7.192	<0.001
eGDR	8.20(6.71,10.59)	6.92(6.22,8.95)	-6.340	<0.001
TyG-BMI	203.73(182.60,232.07)	223.77(202.94,247.55)	-6.165	<0.001

## 2.2 双变量 Spearman 相关性分析

对不同 IR 指标(赋值:实测值)与冠心病(赋值:是=1,否=0)行双变量 Spearman 相关分析,结果显示,METS-IR、TyG-BMI 水平与中年人群发生冠心病呈正相关关系( $r=0.312, 0.267$ ,均  $P<0.001$ ); eGDR 水平与中年人群发生冠心病呈负相关关系( $r=-0.275, P<0.001$ )。

## 2.3 多因素 Logistic 回归分析

分别以不同 IR 指标连续变量和分类变量(四分位数)为自变量,以是否发生冠心病为因变量(赋值:是=1,否=0),以性别(赋值:男=1,女=0)、年龄(赋值:实测值)、吸烟史(赋值:是=1,否=0)、高血压(赋值:是=1,否=0)、高脂血症(赋值:是=1,否=0)为控制变量进行单因素和多因素 Logistic 回归分析,构建模型 1(未控制变量)、模型 2(控制性

别、年龄)、模型 3(控制性别、年龄、吸烟史、高血压、高脂血症),结果显示,无论作为连续变量还是分类变量,METS-IR、eGDR 和 TyG-BMI 均是中年人群发生冠心病的独立影响因素( $P$ 均  $<0.001$ ),3 个模型结果一致。在模型 3 中,与最低四分位数组相比,METS-IR 位于第 2、3、4 四分位数组的人群发生冠心病的风险分别增加 2.286 倍( $OR: 3.286, 95\% CI: 1.823 \sim 5.924$ )、2.061 倍( $OR: 3.061, 95\% CI: 1.670 \sim 5.609$ )、4.646 倍( $OR: 5.646, 95\% CI: 3.018 \sim 10.563$ ); eGDR 位于第 4 四分位数组的人群发生冠心病的风险降低 79.2% ( $OR: 0.208, 95\% CI: 0.114 \sim 0.379$ ); TyG-BMI 位于第 2、3、4 四分位数组的人群发生冠心病的风险分别增加 1.579 倍( $OR: 2.579, 95\% CI: 1.438 \sim 4.625$ )、2.155 倍( $OR: 3.155, 95\% CI: 1.761 \sim 5.655$ )、3.142 倍( $OR: 4.142, 95\% CI: 2.317 \sim 7.407$ )(表 2)。

表 2. 不同 IR 指标与中年人群发生冠心病关系的 Logistic 回归分析

Table 2. Logistic regression analysis of the correlation between levels of various IR indicators and the occurrence of CHD in middle-aged population

变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	OR(95% CI)	P	OR(95% CI)	P	OR(95% CI)	P
METS-IR 连续变量	1.076(1.051~1.102)	<0.001	1.066(1.040~1.093)	<0.001	1.058(1.032~1.086)	<0.001
METS-IR 四分位数	1.788(1.514~2.110)	<0.001	1.663(1.391~1.989)	<0.001	1.588(1.321~1.909)	<0.001
Q1(<32.75)	1		1		1	

续表

变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	OR(95% CI)	P	OR(95% CI)	P	OR(95% CI)	P
Q2(32.75 ~37.53)	3.888(2.238 ~6.755)	<0.001	3.513(1.979 ~6.239)	<0.001	3.286(1.823 ~5.924)	<0.001
Q3(37.53 ~43.18)	4.657(2.681 ~8.090)	<0.001	3.517(1.958 ~6.316)	<0.001	3.061(1.670 ~5.609)	<0.001
Q4(≥43.18)	7.258(4.152 ~12.685)	<0.001	5.700(3.135 ~10.364)	<0.001	5.646(3.018 ~10.563)	<0.001
eGDR 连续变量	0.759(0.695 ~0.829)	<0.001	0.771(0.702 ~0.846)	<0.001	0.786(0.715 ~0.864)	<0.001
eGDR 四分位数	0.590(0.501 ~0.695)	<0.001	0.607(0.510 ~0.722)	<0.001	0.630(0.527 ~0.752)	<0.001
Q1(<6.42)	1		1		1	
Q2(6.42 ~7.40)	0.793(0.488 ~1.289)	0.349	0.896(0.534 ~1.504)	0.678	0.979(0.577 ~1.662)	0.937
Q3(7.40 ~10.09)	0.692(0.426 ~1.124)	0.137	0.741(0.440 ~1.247)	0.259	0.858(0.497 ~1.481)	0.583
Q4(≥10.09)	0.159(0.091 ~0.277)	<0.001	0.179(0.100 ~0.321)	<0.001	0.208(0.114 ~0.379)	<0.001
TyG-BMI 连续变量	1.014(1.009 ~1.019)	<0.001	1.013(1.007 ~1.018)	<0.001	1.011(1.006 ~1.016)	<0.001
TyG-BMI 四分位数	1.663(1.413 ~1.957)	<0.001	1.600(1.344 ~1.903)	<0.001	1.533(1.282 ~1.833)	<0.001
Q1(<190.71)	1		1		1	
Q2(190.71 ~213.64)	2.737(1.609 ~4.657)	<0.001	2.558(1.469 ~4.453)	0.001	2.579(1.438 ~4.625)	0.001
Q3(213.64 ~241.01)	4.109(2.418 ~6.981)	<0.001	3.452(1.956 ~6.090)	<0.001	3.155(1.761 ~5.655)	<0.001
Q4(≥241.01)	5.118(2.997 ~8.740)	<0.001	4.480(2.570 ~7.808)	<0.001	4.142(2.317 ~7.407)	<0.001

注:模型 1:未控制变量。模型 2:控制性别、年龄。模型 3:METS-IR、TyG-BMI 为自变量时,控制性别、年龄、吸烟史、高血压;eGDR 为自变量时,控制性别、年龄、吸烟史、高脂血症。

### 2.4 限制性立方样条图分析

限制性立方样条图分析显示,在调整混杂因素影响后,METS-IR、TyG-BMI 水平与冠心病呈非线性正相关关系(均  $P_{\text{总体}} < 0.001$ ,  $P_{\text{非线性}} = 0.002, 0.043$ ),

eGDR 水平与冠心病呈非线性负相关关系( $P_{\text{总体}} < 0.001$ ,  $P_{\text{非线性}} = 0.010$ )。随着 METS-IR、TyG-BMI 水平升高,冠心病发生风险呈上升趋势;随着 eGDR 水平升高,冠心病发生风险呈下降趋势(图 1)。

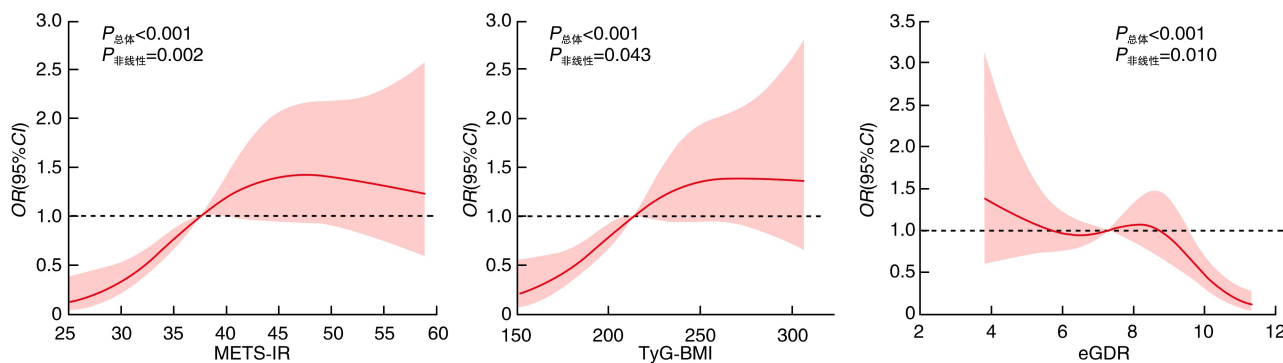


图 1. 不同 IR 指标与中年人群发生冠心病关系的限制性立方样条图分析

Figure 1. Restricted cubic spline plot analysis of the relationship between levels of various IR indicators and the occurrence of CHD in middle-aged population

### 2.5 亚组分析

按性别、年龄、BMI、吸烟史、高血压、糖尿病和高脂血症等因素进行亚组分析和交互作用检验,结果显示,BMI、高血压、糖尿病 3 个分组变量与 IR 指标对发生冠心病的影响存在交互作用( $P_{\text{交互}} < 0.05$ ),其余分组变量与 IR 指标无交互作用( $P_{\text{交互}} > 0.05$ )。在非超重/肥胖、非糖尿病人群中,IR 指标与冠心病的关联存在统计学意义( $P < 0.05$ ),而在超

重/肥胖、糖尿病人群中此关联无统计学意义( $P > 0.05$ ),在非高血压人群中此关联较高血压人群显著。在不同性别、年龄、吸烟史、血脂状态的亚组人群中,IR 指标与冠心病的关联与总体人群一致( $P < 0.05$ )或呈现近似的趋势(年龄 < 50 岁亚组中,METS-IR 的 OR:1.04,95% CI:0.99 ~ 1.08,  $P = 0.113$ ;TyG-BMI 的 OR:1.01,95% CI:1.00 ~ 1.02,  $P = 0.099$ 。非高脂血症亚组中,TyG-BMI 的 OR:1.01,95% CI:

1.00 ~ 1.02,  $P=0.084$ )。综上分析,不同 IR 指标与冠心病的关联在超重/肥胖、糖尿病、高血压以外的人群中与总体人群基本一致(表 3)。

## 2.6 ROC 曲线分析

以 IR 指标为检验变量,冠心病为状态变量,绘制 ROC 曲线,结果显示, METS-IR、eGDR、TyG-BMI 水平预测中年人群发生冠心病的曲线下面积( area under the curve, AUC)分别为 0.681(95% CI:0.636 ~ 0.726,  $P<0.001$ )、0.659(95% CI:0.614 ~ 0.705,  $P<0.001$ )、0.655(95% CI:0.609 ~ 0.701,  $P<0.001$ ),

最佳截断值分别为 34.02、10.00、193.17,灵敏度分别为 0.851、0.846、0.867,特异度分别为 0.445、0.438、0.397。METS-IR、eGDR、TyG-BMI 水平联合临床因素(性别、年龄、吸烟史)预测冠心病,预测效能将明显提高,其 AUC 分别为 0.746(95% CI:0.704 ~ 0.788,  $P<0.001$ )、0.750(95% CI:0.709 ~ 0.792,  $P<0.001$ )、0.742(95% CI:0.700 ~ 0.784,  $P<0.001$ ),曲线下面积两两比较,差异无统计学意义(均  $P>0.05$ ;表 4 和图 2)。

表 3. 不同 IR 指标与中年人群发生冠心病关系的亚组分析

Table 3. Subgroup analysis of the relationship between levels of various IR indicators and the occurrence of CHD in middle-aged population

变量	METS-IR			eGDR			TyG-BMI		
	OR(95% CI)	P	$P_{交互}$	OR(95% CI)	P	$P_{交互}$	OR(95% CI)	P	$P_{交互}$
总体	1.06(1.03 ~ 1.09)	<0.001		0.79(0.71 ~ 0.86)	<0.001		1.01(1.01 ~ 1.02)	<0.001	
性别			0.715			0.620			0.989
女性	1.06(1.02 ~ 1.10)	0.001		0.80(0.70 ~ 0.92)	0.002		1.01(1.00 ~ 1.02)	0.005	
男性	1.06(1.02 ~ 1.09)	0.002		0.76(0.67 ~ 0.87)	<0.001		1.01(1.00 ~ 1.02)	0.003	
年龄			0.078			0.598			0.250
<50 岁	1.04(0.99 ~ 1.08)	0.113		0.80(0.66 ~ 0.97)	0.023		1.01(1.00 ~ 1.02)	0.099	
≥50 岁	1.07(1.04 ~ 1.11)	<0.001		0.77(0.69 ~ 0.86)	<0.001		1.01(1.01 ~ 1.02)	<0.001	
BMI			<0.001			0.016			0.006
<24 kg/m <sup>2</sup>	1.18(1.09 ~ 1.27)	<0.001		0.68(0.57 ~ 0.80)	<0.001		1.03(1.01 ~ 1.04)	<0.001	
≥24 kg/m <sup>2</sup>	1.03(0.99 ~ 1.06)	0.158		0.88(0.77 ~ 1.01)	0.064		1.01(1.00 ~ 1.01)	0.155	
吸烟史			0.447			0.615			0.355
否	1.05(1.02 ~ 1.08)	<0.001		0.79(0.71 ~ 0.89)	<0.001		1.01(1.00 ~ 1.02)	0.002	
是	1.08(1.02 ~ 1.13)	0.007		0.77(0.63 ~ 0.93)	0.006		1.02(1.00 ~ 1.03)	0.007	
高血压			0.026			0.004			0.019
否	1.10(1.05 ~ 1.16)	<0.001		0.44(0.30 ~ 0.64)	<0.001		1.02(1.01 ~ 1.03)	<0.001	
是	1.03(1.00 ~ 1.07)	0.034		0.86(0.68 ~ 1.08)	0.198		1.01(1.00 ~ 1.01)	0.069	
糖尿病			0.001			0.031			0.001
否	1.08(1.04 ~ 1.11)	<0.001		0.77(0.68 ~ 0.86)	<0.001		1.01(1.01 ~ 1.02)	<0.001	
是	0.98(0.94 ~ 1.03)	0.434		1.00(0.81 ~ 1.23)	0.965		1.00(0.99 ~ 1.01)	0.369	
高脂血症			0.767			0.620			0.933
否	1.05(1.00 ~ 1.10)	0.039		0.82(0.71 ~ 0.94)	0.006		1.01(1.00 ~ 1.02)	0.084	
是	1.04(1.01 ~ 1.07)	0.020		0.77(0.68 ~ 0.88)	<0.001		1.01(1.00 ~ 1.01)	0.043	

表 4. 不同 IR 指标预测中年人群发生冠心病的 ROC 曲线分析

Table 4. ROC curve analysis of levels of various IR indicators in predicting the occurrence of CHD in middle-aged population

检验变量	AUC	95% CI	P	约登指数	最佳截断值	灵敏度	特异度
METS-IR	0.681	0.636 ~ 0.726	<0.001	0.296	34.02	0.851	0.445
eGDR	0.659	0.614 ~ 0.705	<0.001	0.284	10.00	0.846	0.438
TyG-BMI	0.655	0.609 ~ 0.701	<0.001	0.264	193.17	0.867	0.397
METS-IR 联合临床因素	0.746	0.704 ~ 0.788	<0.001				
eGDR 联合临床因素	0.750	0.709 ~ 0.792	<0.001				
TyG-BMI 联合临床因素	0.742	0.700 ~ 0.784	<0.001				

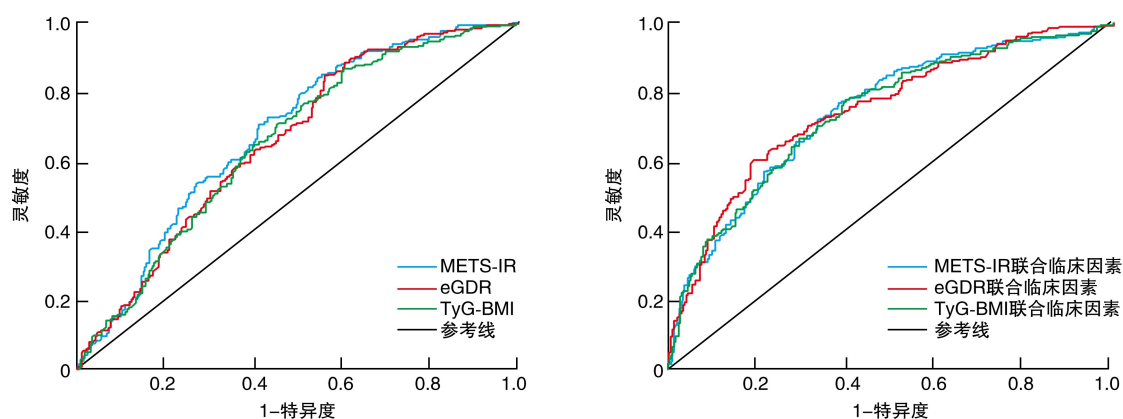


图 2. 不同 IR 指标预测中年人群发生冠心病的 ROC 曲线

Figure 2. ROC curve of various IR indicators in predicting the occurrence of CHD in middle-aged population

### 3 讨论

METS-IR 是一种用来评估 IR 的新型替代指标,该指标经高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验验证,在评估 IR 方面具有很高的准确度<sup>[6]</sup>。国内外研究表明, METS-IR 水平与心血管疾病 (cardiovascular disease, CVD) 及其危险因素、不良预后有关,但该关联在不同亚组中的差异存在不一致的报道。一项针对非糖尿病韩国成年人的大型纵向队列研究发现,较高的 METS-IR 水平与新发缺血性心脏病风险增加有关<sup>[12]</sup>。由于种族和生活习惯的差异,国内人群是否存在类似的关联,仍需进行深入研究。一项基于中国健康与养老纵向调查 (China Health and Retirement Longitudinal Study, CHARLS) 的前瞻性研究纳入 4 540 名参与者,结果显示, METS-IR 水平与 CVD 的风险增加有关, METS-IR 每升高一个四分位数, CVD 的发生风险增加 38%, 年龄、性别、吸烟史与 METS-IR 水平无交互作用<sup>[13]</sup>。另一项基于 CHARLS 数据的横断面研究发现, METS-IR 水平是冠心病的独立预测因素,进一步的亚组分析表明,仅在男性、年轻患者 ( $\leq 60$  岁) 和糖尿病前期患者中观察到有统计学意义<sup>[14]</sup>。在 CHARLS 研究中 CVD 是基于自我报告,部分参与者未经冠状动脉造影明确诊断,不能完全避免误报、误诊的可能,因此研究结论存在一定的局限性。

本研究结果显示, METS-IR 在冠心病组的水平明显高于对照组,其与冠心病呈正相关关系。多因素 Logistic 回归分析结果显示, METS-IR 水平是中年人群发生冠心病的独立影响因素。与最低四分位数相比, METS-IR 水平位于第 2、3、4 四分位数的人群发生冠心病的风险分别增加 2.286 倍、2.061

倍和 4.646 倍。本研究所有入选对象均进行冠状动脉造影检查,最大限度保证了研究结论的可靠性。FBG、TG、HDL-C 和 BMI 是 METS-IR 的组成成分,均与 IR 密切相关。IR 导致胰岛素在促进葡萄糖摄取和利用方面的效果减弱,引起血糖浓度升高<sup>[15]</sup>。IR 还可促进脂肪组织释放 TG, 升高血液中 TG 水平, TG 升高又可引起脂肪组织发生炎症反应,释放出促胰岛素抵抗的化学物质,进一步加重 IR, 形成恶性循环<sup>[16]</sup>。IR 伴随的高胰岛素血症,可引起脂肪组织中的激素敏感性脂肪酶过度抑制,导致脂肪分解减少;高胰岛素血症还可促进肝脏中脂肪合成酶 (如乙酰辅酶 A 羧化酶、脂肪酸合成酶) 的过度表达,增加脂肪合成,导致患者超重和肥胖<sup>[17]</sup>。而 HDL-C 通过抗炎、抗氧化,减少异位脂质沉积,改善脂质代谢与分布,激活胰岛素受体底物,减少胰岛  $\beta$  细胞凋亡,改善胰岛素信号传导通路等机制抑制 IR 发生<sup>[18-19]</sup>。METS-IR 由于综合了以上几个指标,评估 IR 的价值更大。本研究亚组分析显示, BMI、高血压、糖尿病 3 个分组变量与 METS-IR 存在交互作用,性别、年龄、吸烟史、血脂状态与 METS-IR 无交互作用。在非超重/肥胖、非糖尿病人群中 METS-IR 水平与冠心病的关联存在统计学意义,而超重/肥胖、糖尿病人群中此关联无统计学意义,在非高血压人群中此关联较高血压人群显著。这与上述研究结果部分一致。分析其原因,考虑与超重/肥胖、糖尿病、高血压作为冠心病最主要的危险因素,对冠心病的影响大于 METS-IR 有关。

eGDR 是一种创新的、基于非胰岛素的 IR 替代指标,与高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验具有相似的准确度<sup>[7]</sup>。来自美国人群的数据表明, eGDR 水平降低与 CVD 风险增加密切相关<sup>[20-21]</sup>。近期两项基于

CHARLS 的前瞻性队列研究亦发现较低水平的 eGDR 与 CVD 风险增加有关,进一步亚组分析显示,年龄、性别、吸烟、糖尿病状态等亚组的 CVD 发病风险与总体人群一致,但 eGDR 水平在预测非糖尿病患者的 CVD 方面表现出更高的敏感性<sup>[22-23]</sup>。本研究结果显示,eGDR 水平与中年人群发生冠心病呈负相关关系,当 eGDR 水平位于第 4 四分位数组时,冠心病发生风险比最低四分位数组降低 79.2%。BMI、高血压、HbA1c 是构成 eGDR 的组分,反映了个人长期的身体状况,这些组分均与 IR 存在密切的关系。如前所述,IR 发生时 FBG 明显升高,由于 HbA1c 可反映人体最近 3 个月平均血糖水平,受短期血糖波动、饮食、运动、药物等因素的影响较小,理论上比 FBG 更适合用于评估 IR 状态。IR 通过高胰岛素血症刺激交感神经系统和肾素-血管紧张素-醛固酮系统、释放炎症因子、促进氧化应激,导致高血压的发生<sup>[2]</sup>。由于 eGDR 整合了以上临床和实验室数据,从而提供了更全面、更稳定的 IR 评估效能。进一步分析显示,在不同性别、年龄、吸烟等各亚组人群中 eGDR 水平与冠心病的关联与上述研究一致,而在非糖尿病人群中 eGDR 水平与冠心病发病风险有关,在糖尿病人群中此关联无统计学意义,与以上研究存在差异,其原因如前所述,考虑为糖尿病患者大血管并发症多且严重,对冠心病的影响掩盖了 eGDR 水平与冠心病的关联。

甘油三酯葡萄糖指数 (triglyceride-glucose index, TyG) 是另一个新型的 IR 替代指标,与诊断 IR 的金指标“高胰岛素-正葡萄糖钳夹试验”显著相关<sup>[8]</sup>。TyG-BMI 是 TyG 的衍生指标,由于结合了肥胖指标 BMI,可以明显提高 TyG 在评估 IR 方面的准确度<sup>[24]</sup>。国内一项大样本前瞻性队列研究表明, TyG 及结合肥胖指标水平升高与 CVD 发病风险显著相关,以 TyG-BMI 与 CVD 关联最为密切<sup>[25]</sup>。课题组早前的研究发现, TyG 在评估中年人群冠心病发生风险方面存在性别差异,对女性人群具有较高的评估价值,而在男性人群评估价值低<sup>[26]</sup>。本研究结果提示, TyG-BMI 水平是中年人群发生冠心病的独立影响因素,当 TyG-BMI 水平位于第 2、3、4 四分位数组时,冠心病发生风险比最低四分位数组分别增加 1.579 倍、2.155 倍、3.142 倍。进一步行亚组分析发现 TyG-BMI 水平与冠心病的关联在男、女性无明显差异,提示 TyG-BMI 水平在评估冠心病方面较 TyG 水平具有更好的稳定性。Huang 等<sup>[27]</sup> 调查了 3 143 名志愿者患动脉粥样硬化性心血管疾病 (atherosclerotic cardiovascular disease, ASCVD) 的风

险,发现 TyG-BMI 升高与男性和女性 ASCVD 的高风险均密切相关,本研究结果与之一致。本研究通过 ROC 曲线分析显示, METS-IR、eGDR、TyG-BMI 水平对冠心病具有一定的预测效能,如联合性别、年龄、吸烟史等临床因素,预测效能进一步提高。

综上所述, METS-IR、eGDR、TyG-BMI 三种新型 IR 指标水平与中年人群发生冠心病独立相关,对冠心病具有一定的预测价值。因其简单可靠,可作为预测冠心病较为理想的指标,尤其适用于超重/肥胖、高血压、糖尿病以外人群的冠心病筛查工作,有利于冠心病的早期识别与防治,从而降低冠心病的致残和致死风险,为冠心病的防控提供指导和参考。本研究亦存在一定的局限性,首先,本研究为回顾性观察研究,IR 指标与冠心病的因果关系有待进一步证实;其次,本研究为单中心研究,样本量偏小,难以完全避免潜在混杂因素带来的偏倚,有待今后增加样本量,采取多中心前瞻性研究进一步证实该结论。

#### [参考文献]

- [1] 国家心血管病中心, 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 2024 概要[J]. 中国循环杂志, 2025, 40(6): 521-559.  
National Center for Cardiovascular Diseases, the Writing Committee of the Report on Cardiovascular Health and Diseases in China. Report on cardiovascular health and diseases in China 2024: an updated summary[J]. Chin Circ J, 2025, 40(6): 521-559.
- [2] ORMAZABAL V, NAIR S, ELFEKY O, et al. Association between insulin resistance and the development of cardiovascular disease[J]. Cardiovasc Diabetol, 2018, 17(1): 122.
- [3] 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.
- [4] MINH H V, TIEN H A, SINH C T, et al. Assessment of preferred methods to measure insulin resistance in Asian patients with hypertension[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2021, 23(3): 529-537.
- [5] GONZÁLEZ-GONZÁLEZ J G, VIOLANTE-CUMPA J R, ZAMBRANO-LUCIO M, et al. HOMA-IR as a predictor of health outcomes in patients with metabolic risk factors: a systematic review and Meta-analysis[J]. High Blood Press Cardiovasc Prev, 2022, 29(6): 547-564.
- [6] BELLO-CHAVOLLA O Y, ALMEDA-VALDES P, GOMEZ-VELASCO D, et al. METS-IR, a novel score to evaluate insulin sensitivity, is predictive of visceral adiposity and incident type 2 diabetes[J]. Eur J Endocrinol, 2018, 178(5): 533-544.
- [7] DASTJERDI P, HOSSEINI MOHAMMADI N S, ANARAKI N, et al. Estimated glucose disposal rate and risk of cardiovascular events in type 1 diabetes: a systematic review and Meta-analysis[J]. Dia-

- betol Metab Syndr, 2025, 17(1): 348.
- [8] BRITO A D M, HERMSDORFF H H M, FILGUEIRAS M S, et al. Predictive capacity of triglyceride-glucose (TyG) index for insulin resistance and cardiometabolic risk in children and adolescents: a systematic review[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2021, 61(16): 2783-2792.
- [9] AUSTEN W G, EDWARDS J E, FRYE R L, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc committee for grading of coronary artery disease, council on cardiovascular surgery, American Heart Association[J]. Circulation, 1975, 51(4 Suppl): 5-40.
- [10] 邓启明, 王运红, 蔡军. 2024 年《中国高血压临床实践指南》十大亮点[J]. 中国动脉硬化杂志, 2024, 32(12): 1020-1031.  
DENG Q M, WANG Y H, CAI J. Ten highlights of the 2024 "clinical practice guidelines for the management of hypertension in China"[J]. Chin J Arterioscler, 2024, 32(12): 1020-1031.
- [11] 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, 2021, 13(4): 315-409.
- [12] YOON J, JUNG D, LEE Y, et al. The metabolic score for insulin resistance (METS-IR) as a predictor of incident ischemic heart disease: a longitudinal study among Korean without diabetes[J]. J Pers Med, 2021, 11(8): 742.
- [13] QIAN T, SHENG X, SHEN P, et al. METS-IR as a predictor of cardiovascular events in the middle-aged and elderly population and mediator role of blood lipids[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2023, 14: 1224967.
- [14] WU Z, CUI H, LI W, et al. Comparison of three non-insulin-based insulin resistance indexes in predicting the presence and severity of coronary artery disease[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9: 918359.
- [15] 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.
- [16] OH Y S, BAE G D, BAEK D J, et al. Fatty acid-induced lipotoxicity in pancreatic beta-cells during development of type 2 diabetes[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2018, 9: 384.
- [17] RAMÍREZ-MANENT J I, LÓPEZ-GONZÁLEZ Á A, TOMÁS-GIL P, et al. Relationship between abdominal volume index and body adiposity index and scales of insulin resistance and metabolic syndrome[J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(21): 3356.
- [18] FERNANDES DAS NEVES M, BATUCA J R, DELGADO ALVES J. The role of high-density lipoprotein in the regulation of the immune response: implications for atherosclerosis and autoimmunity[J]. Immunology, 2021, 164(2): 231-241.
- [19] JIA C, ANDERSON J L C, GRUPPEN E G, et al. High-density lipoprotein anti-inflammatory capacity and incident cardiovascular events[J]. Circulation, 2021, 143(20): 1935-1945.
- [20] SONG J, MA R, YIN L. Associations between estimated glucose disposal rate and arterial stiffness and mortality among US adults with non-alcoholic fatty liver disease[J]. Front Endocrinol (Lausanne), 2024, 15: 1398265.
- [21] GUO R, TONG J, CAO Y, et al. Association between estimated glucose disposal rate and cardiovascular mortality across the spectrum of glucose tolerance in the US population[J]. Diabetes Obes Metab, 2024, 26(12): 5827-5835.
- [22] TAO S, YU L, LI J, et al. Insulin resistance quantified by estimated glucose disposal rate predicts cardiovascular disease incidence: a nationwide prospective cohort study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2025, 24(1): 161.
- [23] REN X, JIANG M, HAN L, et al. Estimated glucose disposal rate and risk of cardiovascular disease: evidence from the China health and retirement longitudinal study[J]. BMC Geriatr, 2022, 22(1): 968.
- [24] LIM J, KIM J, KOO S H, et al. Comparison of triglyceride glucose index, and related parameters to predict insulin resistance in Korean adults: an analysis of the 2007-2010 Korean national health and nutrition examination survey[J]. PLoS One, 2019, 14(3): e0212963.
- [25] 王淑琳, 张向辉, 木拉提, 等. 甘油三酯葡萄糖乘积指数及结合肥胖指标与心血管疾病关联的前瞻性队列研究[J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(12): 1943-1949.  
WANG S L, ZHANG X H, MULATIBIEKE, et al. Prospective cohort study of the association of cardiovascular disease with triglyceride glucose index and triglyceride glucose-related indicators[J]. Chin J Epidemiol, 2023, 44(12): 1943-1949.
- [26] 李其华, 陈慧生, 陈见红. 甘油三酯葡萄糖指数评估不同性别中年人群发生冠心病的价值[J]. 中国心血管病研究, 2024, 22(5): 448-453.  
LI Q H, CHEN H S, CHEN J H. The value of triglyceride-glucose index in evaluating coronary heart disease in middle-aged people of different genders[J]. Chin J Cardiovasc Res, 2024, 22(5): 448-453.
- [27] HUANG Y C, HUANG J C, LIN C I, et al. Comparison of innovative and traditional cardiometabolic indices in estimating atherosclerotic cardiovascular disease risk in adults[J]. Diagnostics (Basel), 2021, 11(4): 603.

(此文编辑 许雪梅)