

# 不同胰岛素抵抗替代指标与糖尿病视网膜病变的相关性

黄雪<sup>1</sup>, 赵鹏<sup>1</sup>, 张娟<sup>1</sup>, 赵亚鑫<sup>2</sup>

引用: 黄雪, 赵鹏, 张娟, 等. 不同胰岛素抵抗替代指标与糖尿病视网膜病变的相关性. 国际眼科杂志, 2026, 26(3): 499-505.

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划项目 (No. 2025JC-YBMS-1052)

作者单位: (723000) 中国陕西省汉中市, 三二〇一医院<sup>1</sup>内分泌科; <sup>2</sup>眼科

作者简介: 黄雪, 毕业于蚌埠医学院, 硕士, 主治医师, 研究方向: 内分泌与代谢性疾病。

通讯作者: 赵鹏, 毕业于第四军医大学, 博士, 副主任医师, 研究方向: 代谢性疾病. zhaopeng3201@163.com

收稿日期: 2025-07-30 修回日期: 2026-01-27

关键词: 甘油三酯葡萄糖指数; 甘油三酯葡萄糖-体质量指数; 稳态模型评估胰岛素抵抗指数; 胰岛素抵抗替代指标; 糖尿病视网膜病变

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.3.24

## Association of different surrogate indicators of insulin resistance with diabetic retinopathy

Huang Xue<sup>1</sup>, Zhao Peng<sup>1</sup>, Zhang Juan<sup>1</sup>, Zhao Yaxin<sup>2</sup>

Foundation item: Natural Science Basic Research Program of Shaanxi Province (No.2025JC-YBMS-1052)

<sup>1</sup>Department of Endocrinology; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, 3201 Hospital, Hanzhong 723000, Shaanxi Province, China

Correspondence to: Zhao Peng, Department of Endocrinology, 3201 Hospital, Hanzhong 723000, Shaanxi Province, China. zhaopeng3201@163.com

Received: 2025-07-30 Accepted: 2026-01-27

### 摘要

目的: 探讨甘油三酯葡萄糖 (TyG) 指数、甘油三酯葡萄糖-体质量指数 (TyG-BMI) 及稳态模型评估胰岛素抵抗 (HOMA-IR) 指数与糖尿病视网膜病变 (DR) 的关联以及评估三项指标对 DR 的诊断价值。

方法: 本研究为单中心回顾性研究。选取 2023 年 1 月 1 日至 2025 年 3 月 1 日于三二〇一医院内分泌科住院的 2 型糖尿病 (T2DM) 患者。根据 DR 诊断标准将研究对象分为 DR 组与无 DR (NDR) 组。分析两组患者的 TyG 指数、TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数与 DR 的相关性。

结果: 本研究共纳入 T2DM 患者 969 例, DR 组 816 例中男 271 例 (33.2%)、女 545 例 (66.8%), 平均年龄  $56.78 \pm 11.88$  岁; NDR 组 153 例中男 41 例 (26.8%)、女 112 例 (73.2%), 平均年龄  $59.40 \pm 10.52$  岁。DR 组与 NDR 组患者年龄、BMI、TyG 指数、TyG-BMI、HOMA-IR 指数、FBG、2 h PBG、FINS、2 h PINS、FCP、2 h PCP、CHO、TG、LDL-C、BUN、UA、DBIL、HbA1c、M-TP、MALB、UACR、24 h 尿蛋白、WBC、N、PLT 比较均有差异 (均  $P < 0.05$ ), 其余指标比较均无差异 (均  $P > 0.05$ )。多因素 Logistic 回归显示, TyG 指数 [ $aOR = 198.65$ , 95%  $CI(66.73-591.41)$ ,  $P < 0.001$ ] 与 TyG-BMI [ $aOR = 1.03$ , 95%  $CI(1.02-1.04)$ ,  $P < 0.001$ ] 均与 DR 发生呈正相关, 其四分位分组后, 随分位升高 (Q1-Q4), DR 发生风险持续上升 (均  $P_{趋势} < 0.001$ ); 未发现 HOMA-IR 指数与 DR 相关。多因素调整的限制性立方样条函数分析显示, 随着 TyG 指数升高, DR 风险逐渐上升 ( $P_{非线性检验} < 0.001$ ); TyG-BMI 与 DR 风险呈倒“U”形关联 ( $P_{非线性检验} < 0.05$ ); 倾向得分匹配后未发现 HOMA-IR 指数与 DR 有关。ROC 曲线分析显示, TyG 指数、TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数诊断 DR 的曲线下面积 (AUC) 分别为 0.870 (95%  $CI: 0.839-0.901$ )、0.710 (95%  $CI: 0.665-0.755$ )、0.657 (95%  $CI: 0.608-0.706$ )。

结论: TyG 指数和 TyG-BMI 是 DR 的危险因素。随 TyG 指数升高, DR 风险逐渐上升。TyG-BMI 与 DR 风险呈倒“U”形关联。与 TyG-BMI 和 HOMA-IR 指数相比, TyG 指数对 DR 的诊断效能更佳。

### Abstract

• AIM: To investigate the associations of triglyceride glucose (TyG) index, triglyceride glucose-body mass index (TyG-BMI), and homeostatic model assessment of insulin resistance (HOMA-IR) with diabetic retinopathy (DR), and to evaluate their diagnostic value.

• METHODS: This study was a single-center retrospective study. Patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) who were hospitalized in the endocrinology department of 3201 Hospital from January 1, 2023 to March 1, 2025 were included. According to the diagnostic criteria for DR, participants were classified into DR group and non-DR (NDR) group. Then the association of TyG index, TyG-BMI, and HOMA-IR index with DR of the two groups of patients were analyzed.

• RESULTS: A total of 969 patients with T2DM were enrolled in this study, including 816 patients in the DR group. Among DR group, 271 were males (33.2%) and 545 were females (66.8%), with a mean age of  $56.78 \pm 11.88$  years. The NDR group consisted of 153 patients, including 41 males (26.8%) and 112 females (73.2%), with a mean age of  $59.40 \pm 10.52$  years. Statistically significant differences were observed between the DR group and the NDR group in terms of age, BMI, TyG index, TyG-BMI, HOMA-IR index, fasting blood glucose (FBG), 2-h postprandial blood glucose (2 hPBG), fasting insulin (FINS), 2-h postprandial insulin (2 hPINS), fasting C-peptide (FCP), 2-h postprandial C-peptide (2 hPCP), total cholesterol (CHO), triglyceride (TG), low-density

lipoprotein (LDL-C), blood urea nitrogen (BUN), uric acid (UA), direct bilirubin (DBIL), glycosylated hemoglobin (HbA1c), milligrams per total protein (M-TP), microalbuminuria (MALB), urinary albumin to creatinine ratio (UACR), 24-hour urine protein, white blood cell (WBC), neutrophil (N), and platelets (PLT; all  $P < 0.05$ ), while no significant differences were found in the remaining indicators (all  $P > 0.05$ ). In multivariable Logistic regression, both TyG index (aOR=198.65, 95% CI: 66.73-591.41,  $P < 0.001$ ) and TyG-BMI (aOR=1.03, 95% CI: 1.02-1.04,  $P < 0.001$ ) remained independently positive associated with DR. Quartile analysis indicated a progressive increase in DR risk with ascending quartiles of TyG index and TyG-BMI (all  $P_{\text{trend}} < 0.001$ ). In contrast, HOMA-IR was not significantly associated with DR. Restricted cubic spline analysis, fully adjusted for confounders, showed a nonlinear upward trend in DR risk with increasing TyG index ( $P_{\text{nonlinearity}} < 0.001$ ), whereas TyG-BMI exhibited a U-shaped association ( $P_{\text{nonlinearity}} < 0.05$ ). No significant association was found between HOMA-IR and DR after propensity score matching. Receiver operating characteristic (ROC) curve demonstrated area under curve (AUC) values of 0.870 (95% CI: 0.839-0.901) for TyG index, 0.710 (95% CI: 0.665-0.755) for TyG-BMI, and 0.657 (95% CI: 0.608-0.706) for HOMA-IR.

• **CONCLUSION:** The TyG index and TyG-BMI are risk factors for DR. A dose-dependent increase in DR risk was associated with elevated TyG index values. TyG-BMI exhibited an inverted U-shaped relationship with DR risk. The TyG index had better diagnostic efficiency for DR compared to both TyG-BMI and HOMA-IR index.

• **KEYWORDS:** triglyceride glucose index; triglyceride glucose-body mass index; homeostatic model assessment of insulin resistance; surrogate index of insulin resistance; diabetic retinopathy

**Citation:** Huang X, Zhao P, Zhang J, et al. Association of different surrogate indicators of insulin resistance with diabetic retinopathy. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026, 26(3): 499-505.

## 0 引言

糖尿病视网膜病变 (diabetic retinopathy, DR) 是糖尿病主要的微血管并发症<sup>[1]</sup>, 一项全国糖尿病并发症调查显示 DR 患病率为 16.3%, 大约三分之一的糖尿病患者会出现 DR, 其也是成年工作人群发生可预防性视力障碍和失明的首要原因<sup>[2-3]</sup>。视力障碍和失明严重影响患者的生活质量, 增加合并症的发病风险, 并降低预期寿命<sup>[2]</sup>。在 DR 病变过程中, 胰岛素抵抗 (insulin resistance, IR) 使机体处于高糖环境, 视网膜毛细血管周围细胞出现凋亡, 进而导致视网膜血管功能损伤<sup>[4-5]</sup>, 因此评估 IR 严重程度对于 DR 的早期预测、诊断和治疗具有重要临床意义。

稳态模型评估胰岛素抵抗 (homeostatic model assessment of insulin resistance, HOMA-IR) 指数是评估 IR 最常用的方法, 然而, 该方法依赖于空腹胰岛素水平的检测, 这在基层医疗机构的临床应用受到限制<sup>[6]</sup>。少量研究表明 HOMA-IR 指数与 DR 存在关联<sup>[7-8]</sup>, 但也有研究并

未发现这种关联<sup>[9]</sup>。因此, 仍需进一步开展相关高质量研究。相比 HOMA-IR 指数, 甘油三酯葡萄糖指数 (triglyceride glucose, TyG) 指数更容易获取且能有效反映 IR<sup>[4, 10]</sup>, 多项研究证据表明 TyG 指数与 DR 的发生发展相关, 具有预测 DR 发病的潜在价值<sup>[11-14]</sup>, 但由于人群特征 (年龄、性别、饮食习惯等) 差异, 研究之间存在较大异质性, 因此需要通过多中心大样本研究进一步验证<sup>[15]</sup>。甘油三酯葡萄糖-体质量指数 (triglyceride glucose-body mass index, TyG-BMI) 是将 TyG 和 BMI 相结合的另一个 IR 标志物<sup>[16-17]</sup>。多项研究已表明 TyG-BMI 与糖尿病发病风险存在关联<sup>[18-20]</sup>, 但该指标与 DR 的关系尚不明确。综上, 本研究共同探讨了 TyG 指数、TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数与 DR 发生风险的相关性, 以期对 DR 早期筛查和预测提供一定科学依据。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 本研究为单中心回顾性研究。选取 2023 年 1 月 1 日至 2025 年 3 月 1 日于三二〇一医院内分泌科住院的 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 患者。纳入标准: (1) 符合《中国 2 型糖尿病防治指南 (2013 年版)》中 T2DM 诊断标准<sup>[21]</sup>; (2) 年龄  $\geq 18$  岁; (3) 病历资料完整, 有眼底照相结果。排除标准: (1) 合并急性眼病 (如急性青光眼、视网膜脱离等) 及其他非糖尿病眼病 (如黄斑病变、白内障等); (2) 合并严重肝肾功能不全; (3) 妊娠或哺乳期妇女; (4) 接受过糖尿病合并症的特殊治疗 (如胰岛移植、胰腺手术等)。本研究取得三二〇一医院医学伦理委员会审查批准, 所有参与者及家属均签署知情同意书。

**1.2 方法** 通过医院电子病历收集入组患者资料: (1) 一般临床资料: 年龄、性别、体质量指数 (BMI)、吸烟史、饮酒史、家族史、糖尿病病程、血压 (收缩压和舒张压)、有无合并脑梗。(2) 实验室指标: 空腹血糖 (FBG)、餐后 2 h 血糖 (2 h PBG)、空腹胰岛素 (FINS)、餐后 2 h 胰岛素 (2 h PINS)、空腹 C 肽 (FCP)、餐后 2 h C 肽 (2 h PCP)、总胆固醇 (CHO)、甘油三酯 (TG)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C)、尿素氮 (BUN)、肌酐 (Cr)、尿酸 (UA)、总胆红素 (TBIL)、直接胆红素 (DBIL)、间接胆红素 (IBIL)、丙氨酸氨基转移酶 (ALT)、天门冬氨酸氨基转移酶 (AST)、糖化血红蛋白 (HbA1c)、尿微量总蛋白 (M-TP)、微量白蛋白 (MALB)、尿白蛋白/肌酐比值 (UACR)、24 h 尿蛋白、白细胞 (WBC) 计数、中性粒细胞 (N) 计数、单核细胞 (M) 计数、淋巴细胞 (L) 计数、单核细胞与淋巴细胞比值 (MLR)、血小板 (PLT) 计数。(3) 下列指标根据相应计算公式获得<sup>[22-23]</sup>:  $BMI = \text{体质量} / \text{身高}^2 (\text{kg} / \text{m}^2)$ ;  $TyG \text{ 指数} = \ln [TG (\text{mg} / \text{dL}) \times FBG (\text{mg} / \text{dL}) / 2]$ ;  $TyG-BMI = TyG \text{ 指数} \times BMI$ ;  $HOMA-IR \text{ 指数} = FBG (\text{mmol} / \text{L}) \times FINS (\text{mIU} / \text{L}) / 22.5$ 。(4) 所有入组患者均接受眼底镜检查、裂隙灯检查、光学相干断层扫描及散瞳后荧光素眼底血管造影检查。根据《我国糖尿病视网膜病变临床诊疗指南 (2022 年)——基于循证医学修订》<sup>[24]</sup> 进行 DR 诊断。单眼或双眼发生 DR 患者均纳入 DR 组。

统计学分析: 采用 R 软件 (版本 4.4.1) 进行统计分析。计量资料经正态性检验, 符合正态分布以  $\bar{x} \pm s$  表示, 组间比较采用独立样本  $t$  检验; 非正态分布则以  $M (P_{25}, P_{75})$

表示,两组间比较采用 Mann-Whitney  $U$  检验;分类资料以  $n(\%)$  表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。采用多变量 Logistic 回归分析评估 TyG 指数、TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数与 DR 风险的相关性。限制性立方样条函数(restricted cubic spline, RCS)模型用于探讨三项指标与 DR 风险之间的非线性关系,节点数由贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC)自动选择。通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估三项指标对 DR 的诊断效能。为提高结果稳健性,采用倾向得分匹配(propensity score matching, PSM)进行敏感性分析,匹配方法为 1:1 最近邻匹配,卡钳值设为倾向得分标准差的 0.25 倍。检验水准  $\alpha=0.05$ (双侧)。

## 2 结果

**2.1 纳入患者一般资料比较** 本研究共纳入 T2DM 患者 969 例,DR 组 816 例中男 271 例(33.2%)、女 545 例(66.8%),平均年龄  $56.78 \pm 11.88$  岁;无 DR (no-diabetic retinopathy, NDR)组 153 例,其中男 41 例(26.8%)、女 112 例(73.2%),平均年龄  $59.40 \pm 10.52$  岁。DR 组与 NDR 组患者年龄、BMI、TyG 指数、TyG-BMI、HOMA-IR 指数、FBG、2 h PBG、FINS、2 h PINS、FCP、2 h PCP、CHO、TG、LDL-C、BUN、UA、DBIL、HbA1c、M-TP、MALB、UACR、24 h 尿蛋白、WBC、N、PLT 比较差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),其余指标比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 1。

**2.2 Logistic 回归分析 TyG 指数和 TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数对 DR 发生的影响** 以是否发生 DR 为因变量, TyG 指数、TyG-BMI 和 HOMA-IR 指数为自变量,建立 Logistic 回归模型,粗模型不调整协变量,模型 1 调整年龄和性别,模型 2 在模型 1 基础上进一步调整 2 h PBG、2 h PINS、FCP、2 h PCP、CHO、LDL-C、BUN、UA、DBIL、HbA1c、M-TP、MALB、UACR、24 h 尿蛋白、WBC、N、PLT。回归结果显示, TyG 指数与 DR 发生呈正相关(模型 2:  $aOR = 198.65, 95\% CI: 66.73-591.41, P < 0.001$ )。将 TyG 按四分位分组后,与 Q1 组(参考组)相比, Q2 组(第 2 四分位组)、Q4 组(最高四分位组)的 DR 发生风险均更高,且随分位升高, DR 发生风险持续上升(模型 2:  $P_{趋势} < 0.05$ )。TyG-BMI 与 DR 发生呈正相关(模型 2:  $aOR = 1.03, 95\% CI: 1.02-1.04, P < 0.001$ ),其四分位分析结果显示,与 Q1 组相比, Q2-Q4 组的 DR 发生风险均更高,趋势性检验有统计学意义(模型 2:  $P_{趋势} < 0.001$ )。HOMA-IR 指数在模型 1 中与 DR 发生呈正相关( $aOR = 1.13, 95\% CI: 1.04-1.22, P < 0.05$ ),但在模型 2 中关联消失( $P = 0.495$ )。四分位分组后,仅 Q3 组较 Q1 组的 DR 发生风险更高(模型 2:  $aOR = 3.30, 95\% CI: 1.74-6.25, P < 0.001$ ),见表 2。

**2.3 TyG 指数和 TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数与 DR 的非线性关联** RCS 函数多因素调整后(包括年龄、性别、2 h PBG、2 h PINS、FCP、2 h PCP、CHO、LDL-C、BUN、UA、DBIL、HbA1c、M-TP、MALB、UACR、24 h 尿蛋白、WBC、N、PLT),结果显示 TyG 指数与 DR 风险之间存在非线性关系( $P_{非线性检验} < 0.001, P_{整体检验} < 0.001$ ), DR 风险随 TyG 指数升高而逐渐上升,并在 TyG  $\approx 5.57$  时达到峰值( $OR = 2.41, 95\% CI: 0.85-6.83$ ),见图 1A。TyG-BMI 与 DR 风险的曲线呈倒“U”形( $P_{非线性检验} = 0.012, P_{整体检验} < 0.001$ ),在 TyG-

BMI  $\approx 144.06$  时风险最高( $OR = 1.91, 95\% CI: 1.32-2.75$ ),随后下降(图 1B)。HOMA-IR 指数与 DR 风险也呈非线性( $P_{非线性检验} < 0.001, P_{整体检验} < 0.001$ ), HOMA-IR 指数  $\approx 5.97$  时风险达到最高( $OR = 1.47, 95\% CI: 1.03-2.09$ ),随后下降(图 1C)。

**2.4 TyG 指数和 TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数对 DR 的诊断效能** TyG 指数对应曲线下面积(area under the curve, AUC)为 0.870, TyG-BMI 的 AUC 为 0.710, HOMA-IR 指数的 AUC 为 0.657。相比后两者, TyG 指数的 AUC 更高,其最佳截断值为 4.864, 准确率为 0.769, 灵敏度为 0.755, 特异度为 0.843, 阳性预测值(positive predictive value, PPV)为 0.963, 阴性预测值(negative predictive value, NPV)为 0.392, 见图 2、表 3。

**2.5 敏感性分析** 本研究在 PSM 前, DR 组( $n = 816$ )与 NDR 组( $n = 153$ )之间样本量不平衡,可能导致模型分析结果存在偏倚。通过 1:1 匹配后,两组样本数量趋于均衡,改善了模型评估的稳定性。因此,匹配后模型更能真实反映指标对结局的影响和诊断效能,也更具有临床应用的参考价值。PSM 后, TyG 指数( $aOR = 49.10, 95\% CI: 16.11-149.67$ )和 TyG-BMI( $aOR = 1.02, 95\% CI: 1.01-1.03$ )仍与 DR 呈正相关; HOMA-IR 指数无论作为连续型变量还是四分位分组变量,均与 DR 无关。RCS 分析显示随 TyG 指数水平升高, DR 风险逐渐上升( $P_{非线性检验} < 0.001$ ),与 PSM 前分析结果基本一致; TyG-BMI 与 DR 风险仍呈倒“U”形关联( $P_{非线性检验} < 0.05$ ),但与 PSM 前相比风险上升幅度略有减少;未发现 HOMA-IR 指数与 DR 风险存在关联( $P_{非线性检验} = 0.233, P_{整体检验} = 0.092$ )。ROC 曲线分析, TyG 指数对 DR 的诊断效能依然显著(AUC = 0.787),略低于 PSM 前水平; TyG-BMI(AUC = 0.622)和 HOMA-IR 指数(AUC = 0.560)在 PSM 后诊断效能均有所下降。

## 3 讨论

本研究利用 T2DM 住院患者数据详细探讨了 TyG 指数、TyG-BMI、HOMA-IR 指数与 DR 的相关性,结果表明 TyG 指数和 TyG-BMI 是 DR 发生的危险因素。随着 TyG 指数水平升高, DR 发生风险呈上升趋势。TyG-BMI 与 DR 风险则呈倒“U”形关联,尚未发现 HOMA-IR 指数与 DR 有关。此外,与 TyG-BMI 和 HOMA-IR 指数相比, TyG 指数对 DR 的诊断价值更优。

多项研究表明 TyG 指数是 DR 的危险因素<sup>[11,14,22,25-29]</sup>,一项 Meta 分析表示 TyG 指数与 DR 风险呈正相关<sup>[15]</sup>。国内一项研究的 RCS 分析发现 TyG 水平超过 8.61 时, DR 风险明显持续增加<sup>[27]</sup>,这与本研究结果一致。DR 的发病机制复杂,目前研究已证实高血糖诱导的氧化应激、炎症反应、糖基化终末产物累积及血管内皮生长因子过表达是 DR 发病的关键推动因素<sup>[30]</sup>。高葡萄糖水平会导致非酶促甘油三酯合成增加、甘油三酯代谢紊乱、脂质过氧化和脂质沉积<sup>[4]</sup>。因此, T2DM 患者常伴有脂代谢紊乱,血脂升高又会促进糖尿病黄斑变性的发展,主要表现为临床早期黄斑硬性渗出<sup>[31]</sup>。此外,研究表明 TG 水平升高与细胞间黏附分子高表达相关,进而促进微血管炎症,推动 DR 进程<sup>[32]</sup>。由此可见, TyG 指数在一定程度上能够综合反映高血糖和高甘油三酯在 DR 发生与发展中的重要作用。

表1 纳入患者一般资料比较

指标		DR( <i>n</i> = 816)	NDR( <i>n</i> = 153)	Z/ <i>t</i> /χ <sup>2</sup>	<i>P</i>
年龄[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), 岁]		57.50 (50.75, 64.00)	60.00 (52.00, 66.00)	-2.38	0.017
性别(例, %)	男	271 (33.2)	41 (26.8)	2.43	0.119
	女	545 (66.8)	112 (73.2)		
BMI[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), kg/m <sup>2</sup> ]		25.06 (23.00, 26.85)	24.46 (22.30, 26.20)	-2.24	0.025
糖尿病病程[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), a]		6.00 (2.00, 13.00)	7.00 (3.00, 12.00)	-0.33	0.739
吸烟史(例, %)	无	407 (49.9)	71 (46.4)	0.62	0.431
	有	409 (50.1)	82 (53.6)		
饮酒史(例, %)	无	432 (52.9)	80 (52.3)	0.02	0.882
	有	384 (47.1)	73 (47.7)		
家族史(例, %)	无	558 (68.4)	111 (72.6)	1.05	0.306
	有	258 (31.6)	42 (27.4)		
收缩压[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmHg]		130.00 (120.00, 141.00)	130.00 (120.00, 140.00)	-0.11	0.912
舒张压[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmHg]		80.00 (70.00, 83.00)	79.00 (70.00, 80.00)	-1.91	0.056
脑梗(例, %)	无	720 (88.2)	131 (85.6)	0.82	0.364
	有	96 (11.8)	22 (14.4)		
IR 替代指标	TyG[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> )]	5.09 (4.87, 5.30)	4.63 (4.50, 4.79)	-14.53	<0.001
	TyG-BMI[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> )]	126.60 (115.13, 139.83)	113.28 (100.31, 122.99)	-8.25	<0.001
	HOMA-IR[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> )]	3.25 (2.05, 4.95)	2.06 (1.45, 3.30)	-6.17	<0.001
实验室指标	FBG[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmol/L]	9.06 (7.08, 11.38)	6.84 (5.57, 8.03)	-9.82	<0.001
	2 h PBG( $\bar{x} \pm s$ , mmol/L)	18.79 ± 5.11	15.34 ± 4.95	7.71	<0.001
	FINS[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), μIU/mL]	8.33 (5.45, 11.97)	7.25 (4.81, 10.88)	-2.10	0.036
	2 h PINS[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), μIU/mL]	25.14 (14.80, 39.96)	28.82 (19.73, 41.19)	-2.17	0.030
	FCP[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), ng/mL]	1.96 (1.39, 2.79)	1.65 (1.23, 2.29)	-3.54	<0.001
	2 h PCP[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), ng/mL]	5.09 (3.58, 7.21)	5.69 (4.20, 7.34)	-2.24	0.025
	CHO[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmol/L]	4.69 (3.94, 5.50)	3.89 (3.31, 4.67)	-7.01	<0.001
	TG[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmol/L]	1.77 (1.27, 2.56)	0.94 (0.80, 1.21)	-12.95	<0.001
	HDL-C[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmol/L]	1.15 (0.97, 1.35)	1.14 (1.01, 1.35)	-0.32	0.752
	LDL-C[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmol/L]	3.01 (2.45, 3.57)	2.46 (1.98, 3.01)	-6.82	<0.001
	BUN[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mmol/L]	5.80 (4.70, 7.30)	5.40 (4.60, 6.50)	-2.60	0.009
	Cr[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), μmol/L]	65.00 (55.00, 78.00)	66.00 (55.00, 75.00)	-0.45	0.649
	UA[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), μmol/L]	315.00 (265.00, 378.00)	298.00 (240.00, 351.00)	-3.01	0.003
	TBIL[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), μmol/L]	14.30 (10.90, 18.50)	14.00 (10.90, 17.60)	-0.22	0.822
	DBIL[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), μmol/L]	2.80 (2.10, 3.60)	3.00 (2.40, 4.00)	-2.79	0.005
	IBIL[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), μmol/L]	11.50 (8.70, 15.00)	10.90 (8.60, 13.70)	-1.05	0.292
	ALT[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), U/L]	19.75 (14.38, 27.80)	19.50 (15.10, 25.10)	-0.18	0.854
	AST[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), U/L]	20.40 (16.80, 25.80)	20.70 (17.70, 25.00)	-0.79	0.431
	HbA1c[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), %]	8.92 (7.23, 11.07)	7.41 (6.47, 8.67)	-6.62	<0.001
	M-TP[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mg/L]	113.15 (65.62, 202.15)	86.35 (56.80, 140.35)	-3.63	<0.001
	MALB[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mg/L]	18.15 (7.90, 62.84)	9.88 (5.00, 29.62)	-4.59	<0.001
	UACR[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mg/g]	2.36 (0.87, 10.11)	1.12 (0.60, 3.71)	-4.93	<0.001
	24 h 尿蛋白[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), mg/24 h]	112.97 (75.75, 206.19)	99.60 (71.20, 162.72)	-2.06	0.039
	WBC[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), 10 <sup>9</sup> /L]	6.13 (5.01, 7.31)	5.68 (4.82, 6.65)	-3.45	<0.001
	N[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), 10 <sup>9</sup> /L]	3.77 (2.95, 4.74)	3.28 (2.82, 4.22)	-3.72	<0.001
	M[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), 10 <sup>9</sup> /L]	0.37 (0.29, 0.46)	0.35 (0.30, 0.44)	-0.67	0.503
	L[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), 10 <sup>9</sup> /L]	1.70 (1.33, 2.15)	1.72 (1.21, 2.16)	-1.24	0.214
	MLR[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> )]	0.21 (0.16, 0.27)	0.21 (0.17, 0.28)	-0.56	0.573
	PLT[ <i>M</i> ( <i>P</i> <sub>25</sub> , <i>P</i> <sub>75</sub> ), 10 <sup>9</sup> /L]	180.00 (146.00, 223.00)	170.00 (136.00, 206.00)	-2.44	0.015

本研究发现 TyG-BMI 是 DR 发生的危险因素,与既往国内外多项研究结果一致。Zhou 等<sup>[22]</sup>基于美国国家健康与营养调查(National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES)数据的大样本分析显示, TyG-BMI 是

DR 的显著危险因素(*OR* = 1.014, 95% *CI*: 1.001-1.027)。在国内研究中,李玉玲<sup>[26]</sup>、隋源等<sup>[33]</sup>及 Xu 等<sup>[34]</sup>在不同中国 T2DM 人群中的观察,均报告了相同结论。这些证据共同支持 TyG-BMI 作为 DR 风险标志物的有效性。此

表 2 Logistic 回归 TyG 指数和 TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数对 DR 发生的影响

指标	粗模型		模型 1		模型 2	
	OR (95%CI)	P	aOR (95%CI)	P	aOR (95%CI)	P
TyG 指数	283.03 (112.43-712.49)	<0.001	296.43 (115.92-758.00)	<0.001	198.65 (66.73-591.41)	<0.001
TyG 指数四分位分组	参考组		参考组		参考组	
Q1						
Q2	5.37 (3.44-8.38)	<0.001	5.42 (3.44-8.53)	<0.001	4.61 (2.83-7.51)	<0.001
Q3	40.16 (15.99-100.89)	<0.001	41.58 (16.46-105.04)	<0.001	28.57 (10.91-74.80)	<0.001
Q4	50.63 (18.26-140.37)	<0.001	54.13 (19.21-152.51)	<0.001	28.24 (9.18-86.87)	<0.001
<i>P</i> 趋势		0.199		0.948		0.006
TyG-BMI	1.04 (1.03-1.05)	<0.001	1.04 (1.03-1.05)	<0.001	1.03 (1.02-1.04)	<0.001
TyG-BMI 四分位分组	参考组		参考组		参考组	
Q1						
Q2	1.87 (1.23-2.87)	0.004	1.94 (1.27-2.98)	0.002	1.68 (1.04-2.71)	0.033
Q3	4.26 (2.54-7.15)	<0.001	4.25 (2.53-7.15)	<0.001	3.56 (2.01-6.31)	<0.001
Q4	6.97 (3.80-12.77)	<0.001	6.49 (3.52-11.96)	<0.001	4.01 (2.01-8.00)	<0.001
<i>P</i> 趋势		<0.001		<0.001		<0.001
HOMA-IR 指数	1.14 (1.05-1.23)	0.001	1.13 (1.04-1.22)	0.003	0.97 (0.88-1.06)	0.495
HOMA-IR 指数四分位分组	参考组		参考组		参考组	
Q1						
Q2	1.65 (1.07-2.55)	0.023	1.63 (1.05-2.52)	0.029	1.32 (0.80-2.19)	0.280
Q3	4.31 (2.49-7.46)	<0.001	4.16 (2.40-7.20)	<0.001	3.30 (1.74-6.25)	<0.001
Q4	3.20 (1.94-5.29)	<0.001	3.08 (1.86-5.12)	<0.001	1.42 (0.66-3.06)	0.364
<i>P</i> 趋势		<0.001		<0.001		<0.001

注:粗模型:未调整协变量;模型 1:调整年龄、性别;模型 2:调整年龄、性别、2 h PBG、2 h PINS、FCP、2 h PCP、CHO、LDL-C、BUN、UA、DBIL、HbA1c、M-TP、MALB、UACR、24 h 尿蛋白、WBC、N、PLT; Q1-Q4 分别代表最低四分位组(参考组)、第 2 四分位组、第 3 四分位组和最高四分位组。

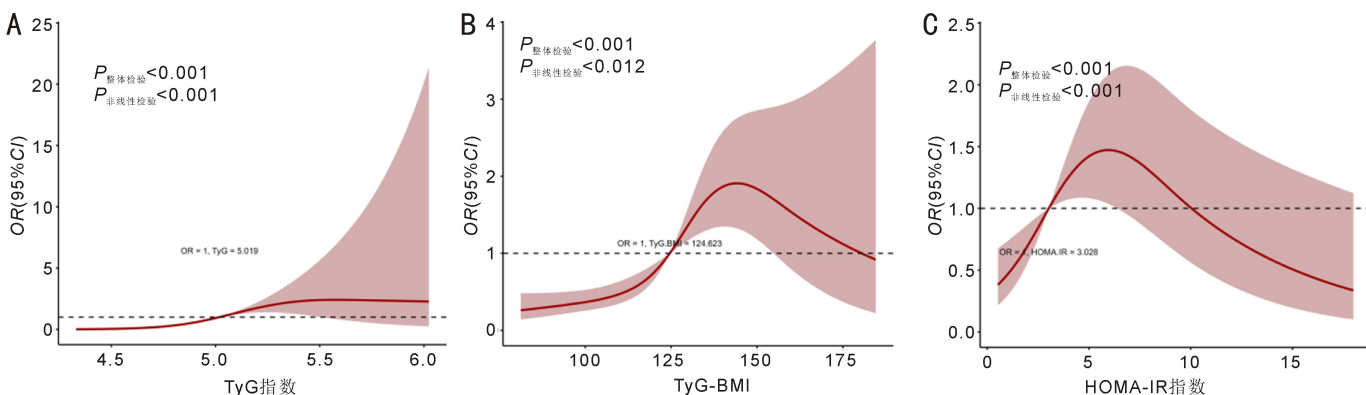


图 1 TyG 指数和 TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数与 DR 的非线性关联 A:TyG 指数;B:TyG-BMI;C:HOMA-IR 指数。

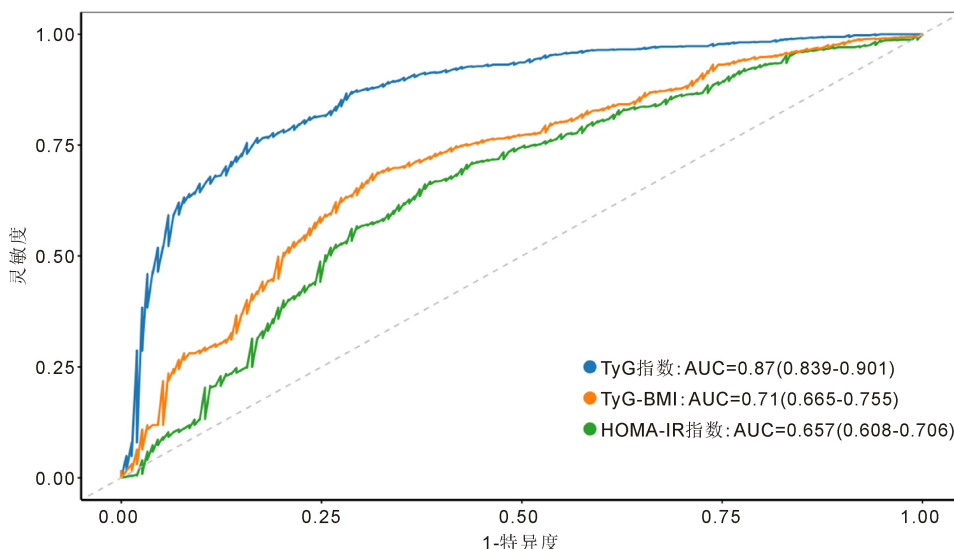


图 2 TyG 指数和 TyG-BMI 及 HOMA-IR 指数诊断 DR 的 ROC 曲线。

表3 TyG指数和TyG-BMI及HOMA-IR指数对DR的诊断效能

指标	AUC	准确率	灵敏度	特异度	PPV	NPV	Cutoff
TyG指数	0.870 (0.839-0.901)	0.769	0.755 (0.658-0.808)	0.843 (0.765-0.895)	0.963	0.392	4.864
TyG-BMI	0.710 (0.665-0.755)	0.685	0.685 (0.572-0.734)	0.686 (0.588-0.752)	0.921	0.290	118.206
HOMA-IR指数	0.657(0.608-0.706)	0.655	0.662 (0.562-0.725)	0.621 (0.529-0.693)	0.903	0.256	2.456

注:AUC:曲线下面积;PPV:阳性预测值;NPV:阴性预测值;Cutoff:最佳截断值(基于约登指数确定)。

外,本研究还通过RCS分析揭示了TyG-BMI与DR发生风险的倒“U”形关联。除了前述的高血糖和脂代谢异常,肥胖也是DR的重要危险因素<sup>[35]</sup>。研究表明,肥胖引起的慢性低水平炎症通过加重胰岛素抵抗来促进糖尿病并发症的发生和发展<sup>[22]</sup>。具体而言,脂肪组织巨噬细胞通过分泌多种活性因子,以旁分泌或系统性作用方式干扰靶细胞的胰岛素信号传导,其中M1型巨噬细胞释放的炎症因子通过直接修饰胰岛素信号通路关键蛋白(如胰岛素受体底物磷酸化抑制、过氧化物酶体增殖物激活受体 $\gamma$ 表达下调),激活神经酰胺合成等途径破坏胰岛素敏感性<sup>[36]</sup>。在视网膜病变中,IL-1 $\beta$ 、TNF- $\alpha$ 等与肥胖有关的炎症因子通过破坏血-视网膜屏障直接诱发黄斑水肿,并驱动血管内皮生长因子过度表达导致新生血管形成<sup>[36]</sup>。这些共同阐释了TyG-BMI与DR相关的机制,进一步支持TyG-BMI作为DR早期风险评估的潜在预测因子。

本研究在完全调整的Logistic回归模型中未观察到HOMA-IR指数与DR之间存在关联。值得注意的是,RCS分析显示HOMA-IR指数与DR风险呈倒“U”形相关,但在敏感性分析结果中关联消失,这一发现与韩国糖尿病患者的研究一致<sup>[9]</sup>。然而,一项国内研究发现T2DM患者BMI较高组中,HOMA-IR指数与DR有关,在BMI较低组中则无关<sup>[8]</sup>。这些研究差异反映了HOMA-IR指数与DR的关联可能依赖于代谢特征,特别是在肥胖相关的胰岛素抵抗人群中更为显著。

Zhou等<sup>[22]</sup>研究中ROC曲线分析显示TyG指数对DR的诊断价值高于TyG-BMI和HOMA-IR指数。延天美等<sup>[37]</sup>研究也同样发现TyG指数对DR的诊断价值高于TyG-BMI。这两项研究与本研究结果一致。曹旭等<sup>[38]</sup>在既往使用降脂药、降压药、降糖药的T2DM患者中开展的研究发现,HOMA-IR指数对于DR的预测价值优于TyG指数、TyG-BMI等IR替代指标。此外,李玉玲<sup>[26]</sup>研究发现相比于TyG指数,TyG-BMI对T2DM患者发生DR的预测价值更高。这些不同的研究结论表明三种指标在不同研究人群中可能存在适用性差异。

本研究创新性在于,基于中国T2DM住院患者的大样本人群,通过严格调整混杂因素的Logistic回归模型、RCS分析以及ROC曲线分析,首次综合、系统、全面地对TyG指数、TyG-BMI及HOMA-IR指数三种IR替代指标与DR的关联和诊断价值进行了直接、同期的头对头比较,弥补了在该特定人群中缺乏三种指标系统性对比研究的数据空白,为临床上选择最佳DR筛查指标提供了更具可比性、高质量的科学证据,也为在目标人群中建立标准化、高效的DR早期风险分层工具提供了关键依据。本研究仍存在若干局限性:(1)研究样本来源于单一医疗中心的住院T2DM患者,存在选择偏倚,结论外推至社区或病情较轻的糖尿病群体时需谨慎,有待在相应人群中进一步验

证;(2)本研究为病例对照研究,属于回顾性资料,无法确定三项IR替代指标与DR的时序关系,难以进行因果推断;(3)研究中三个IR替代指标均为单次测量的基线数据,未能考虑指标水平的长期动态变化对结局的影响;(4)未考虑患者用药等其他潜在混杂因素的影响。因此,未来应开展大规模多中心的前瞻性研究,考虑患者的用药情况(如胰岛素、降糖药、降脂药)等临床特征的潜在混杂作用,并利用动态监测指标,以更深入地探讨TyG指数、TyG-BMI和HOMA-IR指数与DR发生发展的关系,更精准地评估这些指标在不同人群中的应用价值,从而为DR的早期防治提供更可靠的循证依据。

综上所述,TyG指数与TyG-BMI是DR发生的危险因素,且TyG指数对DR的诊断价值优于TyG-BMI和HOMA-IR指数。基于上述发现,建议在临床实践中将TyG指数纳入糖尿病患者的常规代谢评估体系,对于TyG指数较高的糖尿病患者及时启动并加强眼底检查与定期随访,以提升DR的早期检出率,为实现早期干预提供关键窗口,这对延缓疾病进展具有重要临床价值。

**利益冲突声明:**本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:**黄雪论文选题与修改,数据分析,初稿撰写;张娟文献检索;赵亚鑫监督审核;赵鹏选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

#### 参考文献

- [1] Tan TE, Wong TY. Diabetic retinopathy: looking forward to 2030. *Front Endocrinol*, 2023,13:1077669.
- [2] Hou XH, Wang LM, Zhu DL, et al. Prevalence of diabetic retinopathy and vision-threatening diabetic retinopathy in adults with diabetes in China. *Nat Commun*, 2023,14(1):4296.
- [3] Teo ZL, Tham YC, Yu M, et al. Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*, 2021,128(11):1580-1591.
- [4] 何立娜,王玲玲,孙华.甘油三酯葡萄糖指数与糖尿病视网膜病变相关性的研究进展. *吉林医药学院学报*, 2024,45(2):144-148.
- [5] Little K, Llorián-Salvador M, Scullion S, et al. Common pathways in dementia and diabetic retinopathy: understanding the mechanisms of diabetes-related cognitive decline. *Trends Endocrinol Metab*, 2022, 33(1):50-71.
- [6] Tahapary DL, Pratisthita LB, Fitri NA, et al. Challenges in the diagnosis of insulin resistance: Focusing on the role of HOMA-IR and Tryglyceride/glucose index. *Diabetes Metab Syndr*, 2022, 16(8):102581.
- [7] Tung TH, Shih HC, Tsai ST, et al. A community-based study of the relationship between insulin resistance/beta-cell dysfunction and diabetic retinopathy among type II diabetics in kinmen, Taiwan. *Ophthalmic Epidemiol*, 2007,14(3):148-154.
- [8] Li YY, Yang XF, Gu H, et al. The relationship between insulin

resistance/ $\beta$ -cell dysfunction and diabetic retinopathy in Chinese patients with type 2 diabetes mellitus; the Desheng Diabetic Eye Study. *Int J Ophthalmol*, 2018,11(3):493-500.

[9] Song DK, Hong YS, Sung YA, et al. Effects of insulin resistance and  $\beta$ -cell function on diabetic complications in Korean diabetic patients. *PLoS One*, 2024,19(10):e0312439.

[10] 樊金梦, 齐昊. 三酰甘油-葡萄糖指数与 2 型糖尿病及其并发症的关系研究进展. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2024,22(4):674-677.

[11] 曹维, 王婉莹, 徐冲, 等. 甘油三酯-葡萄糖指数与糖尿病视网膜病变进展风险的相关性. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2025,45(4):560-567.

[12] 薛丽萍, 章诗琪. 老年 2 型糖尿病患者 TyG 指数与糖尿病视网膜病变的相关性分析. *标记免疫分析与临床*, 2024,31(10):1872-1875.

[13] 姚琼, 刘尚全. 中老年 2 型糖尿病患者甘油三酯-葡萄糖指数与糖尿病视网膜病变的相关性. *临床与病理杂志*, 2024,44(10):1378-1386.

[14] 王坤, 云川, 陈小盼, 等. 甘油三酯-葡萄糖指数对糖尿病视网膜病变的预测价值分析. *中国糖尿病杂志*, 2023,31(10):726-730.

[15] Nayak SS, Kuriyakose D, Polisetty LD, et al. Diagnostic and prognostic value of triglyceride glucose index: a comprehensive evaluation of meta-analysis. *Cardiovasc Diabetol*, 2024,23(1):310.

[16] Gao X, Chen TY, Zhou FL, et al. The association between different insulin resistance surrogates and all-cause mortality and cardiovascular mortality in patients with metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease. *Cardiovasc Diabetol*, 2025,24(1):200.

[17] 宋珂, 王毅, 潘三葱. 甘油三酯葡萄糖-体质量指数与心血管及代谢性疾病相关性研究进展. *心血管病学进展*, 2024,45(7):636-641.

[18] Qiao QC, Liang K, Wang C, et al. J-shaped association of the triglyceride glucose-body mass index with new-onset diabetes. *Sci Rep*, 2024,14(1):13882.

[19] 张方芳, 王云辉, 刘星, 等. 甘油三酯葡萄糖-体质量指数与 2 型糖尿病发病风险的关联. *现代预防医学*, 2024,51(24):4591-4596.

[20] 雷庆华, 李军华, 霍燕飞, 等. 老年 2 型糖尿病患者甘油三酯葡萄糖指数与体质量指数乘积与糖尿病发病率关系. *科学技术与工程*, 2023,23(5):1882-1887.

[21] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2013 年版). *中华糖尿病杂志*, 2014,6(7):447-498.

[22] Zhou Y, Lu Q, Zhang M, et al. The U-shape relationship between triglyceride-glucose index and the risk of diabetic retinopathy among the US population. *J Pers Med*, 2023,13(3):495.

[23] Wang Q, Zeng N, Tang HB, et al. Diabetic retinopathy risk prediction in patients with type 2 diabetes mellitus using a nomogram model. *Front Endocrinol*, 2022,13:993423.

[24] 黎晓新. 《我国糖尿病视网膜病变临床诊疗指南(2022 年)——基于循证医学修订》更新点. *中华眼底病杂志*, 2023,39(2):91-94.

[25] Zhou JL, Zhu L, Li YD. Association between the triglyceride glucose index and diabetic retinopathy in type 2 diabetes: a meta-analysis. *Front Endocrinol*, 2023,14:1302127.

[26] 李玉玲. TyG 指数联合 BMI 与 2 型糖尿病视网膜病变的相关性研究. *大理大学*, 2023.

[27] Wan XH, Zhang RH, Abudukeranmu A, et al. Elevated triglyceride-glucose index as a risk stratification marker for diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus: the influence of glycemic control. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2025,18:743-759.

[28] Cao BF, Liu K, Chen HW, et al. Impact of baseline and trajectory of the cardiometabolic indices on incident microvascular complications in patients with type 2 diabetes. *Atherosclerosis*, 2025,407:120407.

[29] 尚利晓, 魏菁, 谢琦莲, 等. 血清 TyG 指数和 nesfatin-1 及 RBP4 联合预测糖尿病视网膜病变的价值. *国际眼科杂志*, 2024,24(11):1802-1806.

[30] Seo H, Park SJ, Song M. Diabetic retinopathy (DR): mechanisms, current therapies, and emerging strategies. *Cells*, 2025,14(5):376.

[31] 毛晓婷, 文雯, 李东伟. 2 型糖尿病患者糖脂代谢水平和尿酸水平与糖尿病视网膜病变的相关性. *疑难病杂志*, 2025,24(10):1220-1223.

[32] 张佳成, 张璐涵, 祖立平, 等. 社区居民血脂水平和糖尿病视网膜病变关联研究. *中国慢性病预防与控制*, 2025,33(7):543-545.

[33] 隋源, 姜冰冰, 勾晓梅, 等. TyG-BMI、HAR、GRI 与糖尿病视网膜病变的关系. *天津医药*, 2025,53(1):93-97.

[34] Xu YX, Pu SD, Zhang YT, et al. Insulin resistance is associated with the presence and severity of retinopathy in patients with type 2 diabetes. *Clin Exp Ophthalmol*, 2024,52(1):63-77.

[35] Wan H, Wang YY, Xiang Q, et al. Associations between abdominal obesity indices and diabetic complications: Chinese visceral adiposity index and neck circumference. *Cardiovasc Diabetol*, 2020,19(1):118.

[36] Rohm TV, Meier DT, Olefsky JM, et al. Inflammation in obesity, diabetes, and related disorders. *Immunity*, 2022,55(1):31-55.

[37] 延天美, 吴亚楠, 刘月影, 等. 甘油三酯葡萄糖指数联合肥胖指标与糖尿病视网膜病变的相关性. *临床荟萃*, 2024,39(7):612-619.

[38] 曹旭, 杜玮. 胰岛素抵抗替代指标评估 2 型糖尿病视网膜病变的价值. *河南医学研究*, 2023,32(13):2316-2321.