

本文引用: 马京洁, 黄长芳, 唐秋妮, 等. TyG-BMI 变化与妊娠糖尿病及妊娠结局的关系: 一项基于 NHANES 数据库和真实世界的回顾性研究[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(8): 771-780. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.08.008.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-08-0771-10

· 临床研究 ·

TyG-BMI 变化与妊娠糖尿病及妊娠结局的关系: 一项基于 NHANES 数据库和真实世界的回顾性研究

马京洁¹, 黄长芳², 唐秋妮³, 陈建虹³

1. 宝鸡市妇幼保健院营养膳食指导科, 陕西省宝鸡市 721000; 2. 西北妇女儿童医院产科, 陕西省西安市 710061; 3. 宝鸡市妇幼保健院产科, 陕西省宝鸡市 721000

[摘要] **[目的]** 探讨甘油三酯-葡萄糖指数-体重指数(TyG-BMI)变化与妊娠糖尿病(GDM)发病及不良妊娠结局的关联性,联合美国国家健康与营养调查(NHANES)数据库挖掘与真实世界病例验证,为 GDM 的早期筛查、风险分层及改善妊娠结局提供临床依据。**[方法]** 本研究采用公共数据库挖掘联合真实世界临床验证的两阶段设计:首先,基于 NHANES 2007—2020 年共 6 个周期的数据,纳入 153 例适龄妊娠女性,通过多元 Logistic 回归分析 TyG-BMI 水平与 GDM 患病风险的关联,再利用限制性立方样条分析二者的剂量-反应关系;随后回顾性收集宝鸡市妇幼保健院 486 例 GDM 孕妇的临床资料,采用基于群体的潜变量增长模型(LGMM)识别孕早期至孕中期的 TyG-BMI 变化轨迹。通过单因素、多因素 Logistic 回归分析 TyG-BMI 变化与不良妊娠结局的关联,采用 ROC 曲线评估其预测效能。本研究以 GDM 发病率为主要结局指标,以妊娠期高血压疾病、剖宫产等复合不良妊娠结局为次要结局指标。**[结果]** NHANES 数据库分析结果显示,GDM 组的 BMI、TyG-BMI 水平显著高于非 GDM 组($P<0.05$)。单因素 Logistic 回归分析结果显示,TyG-BMI 每增加 1 个单位,GDM 患病风险升高 0.7% ($OR=1.007, 95\% CI: 1.001 \sim 1.013, P=0.015$);校正年龄和 BMI 后,该关联不再具有统计学意义($P>0.05$)。限制性立方样条分析证实,TyG-BMI 与 GDM 呈线性正相关(总体关联 $P=0.043$),不存在明显的风险阈值或拐点。临床队列验证共识别出 3 种不同的 TyG-BMI 变化类型,分别为稳定组($n=125$)、中度上升组($n=293$)和快速上升组($n=68$);其中快速上升组的肥胖家族史占比显著高于另外两组($P=0.028$),三组研究对象的年龄、孕前 BMI 均无统计学差异($P>0.05$)。在 486 例 GDM 孕妇中,复合不良妊娠结局的总发生率为 65.8%,且发生率随 TyG-BMI 水平的上升呈递增趋势,稳定组、中度上升组、快速上升组的发生率分别为 56.00%、66.89%、79.41% ($P<0.05$),剖宫产、巨大儿等单一不良妊娠结局也呈现出相同的变化趋势。多因素 Logistic 回归分析结果显示,以稳定组作为参照,校正混杂因素后,中度上升组与快速上升组发生复合不良妊娠结局的风险分别增加 57.1% ($OR=1.571, 95\% CI: 1.018 \sim 2.423$) 和 195.7% ($OR=2.957, 95\% CI: 1.514 \sim 6.064$)。ROC 曲线分析结果表明,TyG-BMI 变化对复合不良妊娠结局具有良好的预测效能($AUC=0.898, 95\% CI: 0.863 \sim 0.932$),预测效果显著优于孕早期($AUC=0.566$)与孕中期($AUC=0.614$)的单次 TyG-BMI 检测($P<0.05$),与 $\Delta TyG-BMI$ ($AUC=0.905$)的预测效果相当($P=0.460$);在构建 TyG-BMI 变化联合年龄、孕前 BMI 等指标的预测模型后, AUC 可达 0.872 ($95\% CI: 0.832 \sim 0.912$),灵敏度和特异度均优于单一指标。**[结论]** TyG-BMI 的中度、快速上升趋势会破坏孕期糖脂代谢与体重的稳态平衡,是 GDM 患者不良妊娠结局的独立相关因素,其预测效能优于单时点指标测量;NHANES 横断面分析显示,单次 TyG-BMI 静态测量值在校正 BMI 后与 GDM 无独立关联。孕期动态监测 TyG-BMI 变化趋势,有助于早期识别代谢稳态失衡的高危人群,为改善妊娠结局提供新的干预靶点。

[关键词] 甘油三酯-葡萄糖指数; 体重指数; 妊娠糖尿病; 妊娠结局; NHANES 数据库; 真实世界研究

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

Association between TyG-BMI trajectories and gestational diabetes mellitus and pregnancy outcomes: a retrospective study based on the NHANES database and real-world data

[收稿日期] 2026-04-09

[修回日期] 2026-07-16

[基金项目] 宝鸡市 2024 年度科研计划立项课题(2024-069)

[作者简介] 马京洁, 硕士, 中级营养师, 主要研究方向为妇女、儿童常见疾病及各种慢性、代谢性疾病的营养评估和干预, E-mail: majingjieer@163.com。通信作者陈建虹, 副主任医师, 主要研究方向为妇产科相关疾病的诊断与治疗, E-mail: Sxbj19790820@126.com。

Ma Jingjie¹, Huang Changfang², Tang Qiuni³, Chen Jianhong³

1. Department of Nutrition and Dietary Guidance, Baoji Maternal and Child Health Hospital, Baoji, Shaanxi 721000, China;

2. Department of Obstetrics, Northwest Women's and Children's Hospital, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 3. Department of Obstetrics, Baoji Maternal and Child Health Care Hospital, Baoji, Shaanxi 721000, China

[**ABSTRACT**] **Aim** To investigate the association of triglyceride-glucose index-body mass index (TyG-BMI) trajectories with the incidence of gestational diabetes mellitus (GDM) and adverse pregnancy outcomes, integrating data mining from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) database with real-world case validation, to provide a clinical basis for early screening, risk stratification of GDM, and improvement of pregnancy outcomes. **Methods**

This study employed a two-stage design combining public database mining with real-world clinical validation; first, data from six cycles of the NHANES from 2007 to 2020 were extracted, including 153 reproductive-age pregnant women. Multivariate Logistic regression was used to analyze the association between TyG-BMI levels and the risk of GDM, and restricted cubic spline was employed to assess the dose-response relationship. Subsequently, clinical data were retrospectively collected from 486 pregnant women with GDM at Baoji Maternal and Child Health Hospital. Group-based latent growth mixture model (LGMM) was used to identify TyG-BMI trajectories from early to mid-pregnancy. Univariate and multivariate Logistic regression analyses were performed to examine the association between these trajectories and adverse pregnancy outcomes, and ROC curves were used to evaluate predictive performance. The primary outcome was the incidence of GDM, and secondary outcomes were composite adverse pregnancy outcomes, including hypertensive disorders of pregnancy and cesarean section.

Results The analysis results of the NHANES database showed that the BMI and TyG-BMI levels in the GDM group were significantly higher than those in the non-GDM group ($P < 0.05$). The results of univariate Logistic regression analysis showed that for every 1 unit increase in TyG-BMI, the risk of GDM increased by 0.7% ($OR = 1.007$, 95% CI : 1.001 ~ 1.013, $P = 0.015$); after adjusting for age and BMI, the association was no longer statistically significant ($P > 0.05$). Restricted cubic spline analysis confirmed a linear positive correlation between TyG-BMI and GDM (overall correlation $P = 0.043$), with no clear risk threshold or inflection point. Clinical cohort validation identified three distinct TyG-BMI trajectory patterns: the stable group ($n = 125$), the moderate-increase group ($n = 293$), and the rapid-increase group ($n = 68$). The proportion of family history of obesity was significantly higher in the rapid-increase group compared to the other two groups ($P = 0.028$), while there were no significant differences in age or pre-pregnancy BMI among the three groups ($P > 0.05$). Among the 486 GDM women, the overall incidence of composite adverse pregnancy outcomes was 65.8%, and which increased across the three TyG-BMI trajectory groups, being 56.00%, 66.89% and 79.41% in the stable, moderate-increase, and rapid-increase groups, respectively ($P < 0.05$). Similar trends were observed for individual adverse outcomes such as cesarean section and macrosomia. The results of multiple Logistic regression analysis showed that, with the stable group as a reference and after adjusting for confounders, the risk of composite adverse pregnancy outcomes increased by 57.1% ($OR = 1.571$, 95% CI : 1.018 ~ 2.423) and 195.7% ($OR = 2.957$, 95% CI : 1.514 ~ 6.064) in the moderate-increase group and rapid-increase group, respectively. ROC curve analysis indicated that the TyG-BMI trajectory had good predictive performance for composite adverse pregnancy outcomes ($AUC = 0.898$, 95% CI : 0.863 ~ 0.932), significantly better than single TyG-BMI measurements in early pregnancy ($AUC = 0.566$) and mid-pregnancy ($AUC = 0.614$, $P < 0.05$), and comparable to Δ TyG-BMI ($AUC = 0.905$, $P = 0.460$). After constructing a predictive model combining TyG-BMI trajectory with indicators such as age and pre-pregnancy BMI, the AUC reached 0.872 (95% CI : 0.832 ~ 0.912), with sensitivity and specificity superior to single indicators.

Conclusions The moderate and rapid increasing trends of TyG-BMI can disrupt the homeostasis of glucose and lipid metabolism as well as body weight during pregnancy, and are independently associated with adverse pregnancy outcomes in women with GDM. As a reflection of these metabolic changes, the TyG-BMI dynamic trajectory demonstrates predictive performance superior to single-point measurements. Dynamic monitoring of TyG-BMI trends during pregnancy can facilitate early identification of high-risk populations with metabolic homeostasis imbalance, providing a novel intervention target for improving pregnancy outcomes.

[**KEY WORDS**] triglyceride-glucose index; body mass index; gestational diabetes mellitus; pregnancy outcome; NHANES database; real-world study

妊娠糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)指妊娠期间发生的糖代谢异常,是妊娠期最常见的代谢并发症之一,该病与妊娠期高血压、巨大儿、早

产等不良妊娠结局密切相关,还会升高母婴远期罹患慢性疾病的风险^[1-2]。因此,早期识别 GDM 高危人群并开展精准干预,对改善围产期结局具有重要

意义。GDM 发病机制复杂,核心病理生理基础为胰岛素抵抗和胰岛 β 细胞功能相对不足。随着孕周增加,胎盘会分泌多种激素诱导生理性胰岛素抵抗,此时胰岛 β 细胞可通过增殖与功能增强进行代偿,维持血糖稳态^[3]。若孕妇本身存在潜在胰岛素抵抗基础,或胰岛 β 细胞代偿能力不足,则会出现血糖升高,最终进展为 GDM。在胰岛素抵抗状态下,脂肪分解增强会促使游离脂肪酸水平升高,使肝脏合成并分泌的甘油三酯增多;同时,胰岛素介导的葡萄糖摄取与利用发生障碍,进而导致血糖升高^[4]。研究证实,甘油三酯-葡萄糖指数(triglyceride-glucose index, TyG)与胰岛素抵抗指数高度相关,其诊断效能优于稳态模型评估法得到的胰岛素抵抗指数。将 TyG 与体重指数(body mass index, BMI)结合得到的 TyG-BMI 指标,可全面反映个体在肥胖与糖脂代谢紊乱共同作用下的胰岛素抵抗状态^[5-6]。

现有研究大多是基于单次测量的 TyG-BMI 水平分析其与 GDM 的关联,无法揭示孕期代谢指标的动态变化规律,也无法说明该变化对 GDM 发生的影响^[7-8]。近年来,变化分析方法已经在慢性病流行病学研究中得到广泛应用^[9-10],该方法可识别出研究人群中发展变化特征不同的亚组,明确暴露因素的长期变化模式与疾病结局的关联,但目前鲜有研究采用该方法探究 TyG-BMI 动态变化与 GDM 的关系。基于此,本研究旨在探究孕早期至孕中期 TyG-BMI 的动态变化趋势与 GDM 发生风险及不良妊娠结局的关联,明确不同变化模式亚组孕妇的代谢风险特征,为识别干预的重点人群、制定个体化的孕期代谢管理策略提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 研究设计

本研究为回顾性研究,采用公共数据库挖掘与临床队列验证相结合的策略。首先,本研究基于美国国家健康与营养调查(National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES) 2007—2020 年数据开展横断面分析,探究 TyG-BMI 水平与 GDM 患病风险的关联。在此基础上,本研究选取宝鸡市妇幼保健院 2024 年 1 月—2025 年 12 月分娩孕妇的临床资料,开展针对 GDM 孕妇的纵向队列研究,识别孕早期至孕中期 TyG-BMI 的变化规律,并验证该指标对 GDM 及不良妊娠结局的预测价值。NHANES 作为高质量公共研究数据库,具备标准化的检测流程与严格的质控体系,可为 TyG-BMI 与 GDM 的关联分

析提供来自外部人群的横断面证据,临床队列则可通过纵向设计揭示 TyG-BMI 动态变化的预测价值。本研究已获得宝鸡市妇幼保健院伦理委员会批准(LLSC-2026-11)。

1.2 研究对象

1.2.1 NHANES 数据库研究人群 NHANES 是由美国国家卫生统计中心开展的连续横断面调查项目,采用多阶段分层随机抽样方法,旨在评估美国居民的健康和营养状况。本研究提取了该数据库 2007—2020 年共 6 个调查周期的数据。纳入标准:(1)女性,年龄 20~44 岁;(2)有完整的空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、甘油三酯(triglyceride, TG)检测数据;(3)有身高、体重测量数据;(4)有明确的糖尿病病史或 GDM 病史记录, NHANES 数据库编码 DIQ010 为“是”且 DIQ050 为“是”定义为 GDM; DIQ010 为“是”且 DIQ050 非“是”定义为孕前糖尿病并予排除, GDM 的实验室判定参照 IADPSG 标准(FPG ≥ 5.1 mmol/L)。排除标准:(1)孕前诊断为 1 型糖尿病(type 1 diabetes mellitus, T1DM)或 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM),可通过问卷自报,或满足 FPG ≥ 7.0 mmol/L、糖化血红蛋白(glycated hemoglobin, HbA1c) $\geq 6.5\%$ 的判定标准;(2)重要协变量数据(年龄、种族、教育水平)缺失;(3)妊娠状态不明确或妊娠结局信息缺失;(4)TG 或血糖数据异常值。最终纳入 NHANES 数据库分析的有效样本量为 153 例。

1.2.2 临床外部验证队列 采用潜变量增长模型(latent growth mixture model, LGMM)识别指标变化趋势,并结合多因素 Logistic 回归开展分析。潜变量增长模型稳定识别变化趋势至少需要 300~500 例样本;结合预调查结果,本院既往 GDM 发生率约为 22%,且本研究 Logistic 回归模型预计纳入 10 个自变量,依据流行病学样本量估算经验公式 $n=10 \times (\text{结局事件数}/\text{自变量数})$,本研究至少需要 100 例 GDM 病例,因此总样本量需 ≥ 450 例。

本研究结合数据库挖掘得到的变化分布比例与临床研究样本量估算标准确定总样本量,最终选取宝鸡市妇幼保健院 2024 年 1 月—2025 年 12 月收治的 486 例单胎 GDM 孕妇作为研究对象。纳入标准:(1)年龄 20~44 岁;(2)单胎妊娠;(3)孕早期(8~12 周)和孕中期(24~28 周)均有完整的体格检查和实验室检测数据;(4)在本院完成产检并分娩,分娩记录完整;(5)临床资料完整,包括基本人口学特征、既往孕产史、家族史、孕期并发症、分娩结局等。排除标准:(1)孕前糖尿病(孕前确诊或孕

早期 FPG ≥ 7.0 mmol/L); (2) 慢性高血压、甲状腺疾病、自身免疫性疾病、慢性肝肾疾病等可能影响代谢状态的疾病; (3) 多胎妊娠; (4) 辅助生殖技术受孕; (5) 孕期使用影响血糖或血脂的药物(糖皮质激素、 β 受体阻滞剂、噻嗪类利尿剂等); (6) 重要临床资料缺失; (7) 失访或转院分娩。

1.3 数据收集

1.3.1 数据库数据收集 通过 NHANES 数据库官方平台提取研究对象的基本信息, 包括年龄、种族、教育水平、产次等; 提取实验室检测指标, 包括 TG、FPG、胰岛素等; 同时提取研究对象孕前及孕期不同阶段的身高、体重数据, 以及 GDM 诊断结果和妊娠结局资料。实验室指标测定方法: FPG 采用己糖激酶法测定, TG 采用酶比色法测定, 总胆固醇 (total cholesterol, TC) 采用胆固醇氧化酶法测定, 高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDLC) 和低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDLC) 采用直接法测定, 肝肾功能相关指标分别采用速率法和酶法测定。按照 TyG 及 BMI 计算公式, 计算孕前及孕期不同阶段的 TyG 值及 BMI 值。

1.3.2 真实世界数据收集 通过宝鸡市妇幼保健院电子病历系统收集研究对象的基本信息: (1) 社会人口学特征: 年龄、职业、教育程度、婚姻状况、居住地 (城市/农村); (2) 孕史: 孕次、流产史; (3) 家族史: 一级亲属的糖尿病病史、高血压病史、肥胖史; (4) 孕早期基线资料: 孕前体重、身高 (用于计算孕前 BMI)、孕早期收缩压 (systolic blood pressure, SBP)/舒张压 (diastolic blood pressure, DBP), 以及经全自动生化分析仪检测得到的孕早期 FPG、孕早期血脂四项 (TG、TC、HDLC、LDLC) 和孕早期肝肾功能指标 [丙氨酸氨基转移酶 (alanine aminotransferase, ALT)、天冬氨酸氨基转移酶 (aspartate aminotransferase, AST)、肌酐 (creatinine, Cr)、血尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN)、尿酸 (uric acid, UA)]; (5) 孕中期资料: 孕中期 (24~28 周) FPG 水平、孕中期血脂四项、孕中期体重 (计算孕中期 BMI)、孕中期血压; (6) 妊娠结局资料: GDM 诊断情况、妊娠期高血压疾病、分娩孕周、分娩方式 (顺产/剖宫产)、产后出血量、胎膜早破、羊水异常、胎盘异常、新生儿出生体重、身长、Apgar 评分、新生儿并发症。

1.4 研究指标与分组

1.4.1 TyG-BMI 计算 TyG 计算公式: $TyG = \ln [TG (mg/dL) \times FPG (mg/dL) / 2]$; 单位转换: $TG (mg/dL) = TG (mmol/L) \times 88.5$, $FPG (mg/dL) = FPG$

$(mmol/L) \times 18$ 。TyG-BMI 计算公式: $TyG-BMI = TyG \times BMI (kg/m^2)$; 孕早期 TyG-BMI: 基于孕早期 FPG、TG 和 BMI; 孕中期 TyG-BMI: 基于孕中期 FPG、TG 和 BMI; 变化值: $\Delta TyG-BMI = TyG-BMI_2 - TyG-BMI_1$, 反映孕早期至孕中期 TyG-BMI 的绝对变化; 变化率: $\Delta TyG-BMI\% = (TyG-BMI_2 - TyG-BMI_1) / TyG-BMI_1 \times 100\%$, 反映其相对变化率, 用于评估孕期 TyG-BMI 的变化速度, 辅助变化分析。

1.4.2 结局指标定义 主要结局为 GDM 的发生, 其诊断标准参照国际糖尿病与妊娠研究组指南^[11]及中国《妊娠期高血糖诊治指南 (2022 版)》^[12]: 所有孕妇在孕 24~28 周完成 75 g 口服葡萄糖耐量试验, 分别检测空腹、服糖后 1 h、服糖后 2 h 的静脉血糖水平。诊断界值为: FPG ≥ 5.1 mmol/L, 服糖后 1 h 血糖 ≥ 10.0 mmol/L, 服糖后 2 h 血糖 ≥ 8.5 mmol/L, 满足任意一项即可诊断为 GDM。次要结局为不良妊娠结局, 具体包括: (1) 妊娠期高血压疾病: 包括妊娠期高血压 (妊娠 20 周后首次出现血压 $\geq 140/90$ mmHg, 无蛋白尿)、子痫前期 (妊娠期高血压伴 24 h 尿蛋白 ≥ 0.3 g 或随机尿蛋白 ≥ 1 个加号), 参照《妊娠期高血压疾病诊治指南 (2020 版)》^[13] 诊断; (2) 剖宫产: 分娩方式为剖宫产, 包括择期剖宫产和急诊剖宫产; (3) 早产: 分娩孕周 < 37 周; (4) 巨大儿: 新生儿出生体重 ≥ 4000 g; (5) 大于胎龄儿: 新生儿出生体重大于同胎龄平均体重的第 90 百分位数, 参照中国新生儿生长曲线标准; (6) 小于胎龄儿: 新生儿出生体重低于同胎龄平均体重的第 10 百分位数; (7) 产后出血: 阴道分娩产后 24 h 出血量 ≥ 500 mL, 剖宫产产后 24 h 出血量 ≥ 1000 mL; (8) 胎膜早破: 临产前胎膜破裂, 包括足月胎膜早破和未足月胎膜早破; (9) 新生儿低血糖: 新生儿出生后 24 h 内血糖 < 2.2 mmol/L; (10) 新生儿高胆红素血症: 新生儿出生后 24 h 内血清总胆红素 $> 102 \mu\text{mol/L}$, 或需要光疗干预。复合不良结局定义为: 至少发生上述任意一种不良妊娠结局。

1.5 统计学分析

采用 R4.2.1 和 SPSS 26.0 软件进行统计分析。采用 Shapiro-Wilk 检验判断连续变量的正态性: 符合正态分布的变量以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组间比较采用独立样本 t 检验, 三组及以上比较采用单因素方差分析; 不符合正态分布的变量以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验。分类变量以例 (%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法。

NHANES 数据属于横断面调查, 分析时均充分考虑其复杂抽样设计并采用了对应抽样权重, 该部

分仅用于分析 TyG-BMI 与 GDM 的静态关联,不涉及纵向变化分析。采用多因素 Logistic 回归分析 TyG-BMI 水平与 GDM 患病风险的关联,共构建三个校正模型:模型 1 未校正任何协变量;模型 2 校正了年龄、种族因素;模型 3 进一步校正了教育程度、孕产次、家庭收入。采用限制性立方样条法评估 TyG-BMI 与 GDM 风险的剂量-反应关系,节点选取为第 10、50、90 百分位数。临床队列采用基于群体的 LGMM,识别孕早期至孕中期 TyG-BMI 的变化趋势。本研究虽仅纳入孕早期和孕中期 2 个观测时点,但核心关注两时点间的线性变化趋势,2 个时点已可完成线性斜率的定义;且孕早期和孕中期属于临床常规产检的关键节点,数据可及性强,具备直接临床转化价值。分析从单类别模型开始,依次拟合 2~5 类模型,结合贝叶斯信息准则 (Bayesian information criterion, BIC)、赤池信息准则 (Akaike information criterion, AIC)、熵值 (>0.8)、平均后验概率 (>0.7)、变化组规模 ($\geq 5\%$) 及 LMR-LRT 检验结果综合确定最优类别数,必要时引入二次项以优化变化轨迹形状。

比较不同变化组的基线特征与结局指标差异,将单因素分析中 $P<0.10$ 的变量纳入多因素 Logistic 回归模型。采用多因素 Logistic 回归分析 TyG-BMI 变化与不良妊娠结局的关联,以稳定组为参照组构建三个校正模型:模型 1 未校正任何协变量;模型 2 校正年龄、孕前 BMI;模型 3 进一步校正产次、糖尿病家族史、肥胖家族史、孕早期收缩压及孕早期 TC,最终计算比值比 (odds ratio, OR) 及其 95% 置信区间 (confidence interval, CI)。采用 ROC 曲线评估 TyG-BMI 变化、孕前 BMI、孕早期 FPG、孕早期 TG、孕早期单次 TyG-BMI 对 GDM 的预测效能,计算曲线下面积 (area under the curve, AUC)、灵敏度、特异

度、约登指数,DeLong 检验比较 AUC 差异。构建联合预测模型并绘制 ROC 曲线。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 NHANES 数据库分析

2.1.1 研究人群筛选流程 在公共数据库分析中,研究对象取自 NHANES 2007—2020 年共 6 个周期 (分别为 2007—2008 年、2009—2010 年、2011—2012 年、2013—2014 年、2015—2016 年、2017—2020 年),首先筛选出年龄为 20~44 岁的女性,随后通过 RIDEXPRG 变量筛选出确认妊娠的女性,排除孕前糖尿病以及 FPG、血脂、BMI 数据缺失的受试者后,最终纳入 153 例妊娠女性。其中,将存在 GDM 病史或 $FPG \geq 5.1$ mmol/L 的受试者定义为 GDM 患者,共 50 例,非 GDM 患者共 103 例。

2.1.2 研究人群基线特征 GDM 组的 BMI 与 TyG-BMI 水平显著高于非 GDM 组 (P 均 <0.05),两组的年龄、TyG 差异无统计学意义 ($P>0.05$;表 1)。

2.1.3 TyG-BMI 与 GDM 关联的 Logistic 回归分析 以 GDM 为因变量,分别进行单因素和多因素 Logistic 回归分析。单因素分析结果显示, TyG-BMI 每增加 1 个单位, GDM 患病风险升高 0.7% ($OR = 1.007, 95\% CI: 1.001 \sim 1.013, P = 0.015$)。校正年龄和 BMI 后, TyG-BMI 与 GDM 的关联不再具有统计学意义 ($OR = 0.985, 95\% CI: 0.964 \sim 1.005, P = 0.143$);在该模型中, BMI 每增加 1 个单位, GDM 患病风险升高 25.1% ($OR = 1.251, 95\% CI: 1.031 \sim 1.538, P = 0.027$),提示 TyG-BMI 与 GDM 的单因素关联可能主要由 BMI 介导,二者在回归模型中存在共线性 (表 1)。

表 1. 妊娠女性基线特征及与 GDM 关联的 Logistic 回归分析

Table 1. Baseline characteristics of pregnant women and Logistic regression analysis of factors associated with GDM

变量	总体 ($n=153$)	非 GDM 组 ($n=103$)	GDM 组 ($n=50$)	P^a	未校正 OR (95% CI)	校正后 OR (95% CI)
年龄/岁	28.97 $\pm$ 6.38	28.50 $\pm$ 6.35	29.92 $\pm$ 6.41	0.199		1.045 (0.989 ~ 1.106)
BMI/(kg/m ²)	28.87 $\pm$ 6.68	27.73 $\pm$ 5.52	31.23 $\pm$ 8.21	0.002		1.251 (1.031 ~ 1.538)
TyG	8.44 $\pm$ 0.62	8.47 $\pm$ 0.59	8.40 $\pm$ 0.67	0.457		
TyG-BMI	245.08 $\pm$ 63.73	235.99 $\pm$ 54.05	263.35 $\pm$ 76.12	0.012	1.007 (1.001 ~ 1.013)	0.985 (0.964 ~ 1.005)

注:空白表示不适用;a 为 t 检验所得 P 值。

2.1.4 TyG-BMI 与 GDM 的剂量-反应关系 限制性立方样条分析结果显示,未发现 TyG-BMI 与

GDM 之间存在显著的非线性关联 (非线性检验 $P = 0.681$),二者整体呈线性关联 (总体关联 $P =$

0.043),提示随着 TyG-BMI 水平升高,GDM 风险呈持续、平稳上升趋势,且未观察到明显的风险阈值或拐点(图 1)。结合单因素分析结果,提示 TyG-BMI 与 GDM 存在线性正相关关系,可作为 GDM 患病风险的连续监测指标。

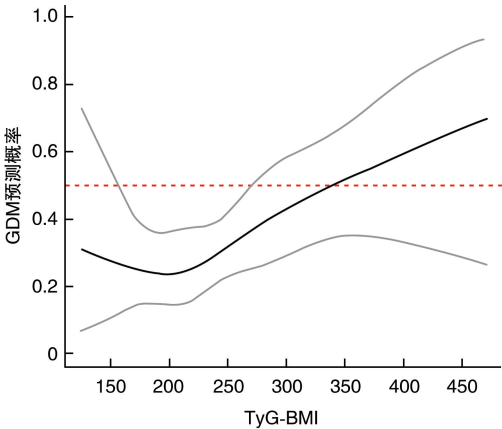


图 1. TyG-BMI 与 GDM 患病风险关联的限制性立方样条分析

Figure 1. Restricted cubic spline analysis of the association between TyG-BMI and GDM risk

2.2 临床队列验证

2.2.1 TyG-BMI 变化类型识别 为进一步验证上述结论、识别 TyG-BMI 的动态变化特征,本研究基于 486 例临床队列研究对象,采用 LGMM 分析孕早期至孕中期的 TyG-BMI 动态变化,并结合 BIC、AIC、熵值(>0.8)、平均后验概率(>0.7)等判定标准,最终识别出 3 种 TyG-BMI 变化类型:①稳定组($n=125$):孕早期至孕中期 TyG-BMI 维持在较低水平,变化幅度较小($\Delta\text{TyG-BMI}=9.40\pm2.53$);②中度上升组($n=293$):孕早期 TyG-BMI 处于中等水平,孕中期呈逐渐上升趋势($\Delta\text{TyG-BMI}=28.03\pm4.27$);③快速上升组($n=68$):孕早期 TyG-BMI 处于较高水平,孕中期上升速度较快($\Delta\text{TyG-BMI}=49.29\pm7.00$)。

2.2.2 不同 TyG-BMI 变化组基线特征比较 稳定组、中度上升组和快速上升组的年龄、孕前 BMI 差异均无统计学意义($P>0.05$);快速上升组的高血压家族史、肥胖家族史占比均为三组最高,其中肥胖家族史占比的组间差异具有统计学意义($P=0.028$);其余分类变量包括居住地、教育程度、糖尿病家族史,差异在三组间无统计学意义($P>0.05$;表 2)。

表 2. 不同 TyG-BMI 变化组 GDM 孕妇基线特征比较

Table 2. Comparison of baseline characteristics of pregnant women with GDM among different TyG-BMI trajectory groups

项目	稳定组($n=125$)	中度上升组($n=293$)	快速上升组($n=68$)	χ^2/F	P
年龄/岁	29.30 $\pm$ 4.43	29.78 $\pm$ 4.23	30.12 $\pm$ 4.35	0.917	0.406
孕前 BMI/(kg/m ²)	22.70 $\pm$ 3.36	22.61 $\pm$ 3.04	22.08 $\pm$ 3.09	0.961	0.379
居住地/[例(%)]				4.342	0.114
城市	98(78.40)	210(71.67)	44(64.71)		
农村	27(21.60)	83(28.33)	24(35.29)		
教育程度/[例(%)]				3.890	0.857
初中及以下	55(44.00)	127(43.34)	32(47.06)		
高中及以上	70(56.00)	166(56.66)	36(52.94)		
糖尿病家族史/[例(%)]				2.380	0.696
无	96(76.80)	235(80.20)	55(80.88)		
有	29(23.20)	58(19.80)	13(19.12)		
高血压家族史/[例(%)]				5.206	0.074
无	92(73.60)	210(71.67)	40(58.82)		
有	33(26.40)	83(28.33)	28(41.18)		
肥胖家族史/[例(%)]				7.152	0.028
无	109(87.20)	223(76.11)	51(75.00)		
有	16(12.80)	70(23.89)	17(25.00)		

2.2.3 不同 TyG-BMI 变化组不良妊娠结局比较
486 例 GDM 孕妇中,不同 TyG-BMI 变化组的不

良妊娠结局发生率存在显著差异:复合不良妊娠结局发生率随 TyG-BMI 上升幅度增大而逐级升高,稳

定组、中度上升组、快速上升组分别为 56.00%、66.89%、79.41%，快速上升组相较于稳定组绝对风险增加 23.4% ($P<0.05$)。在各单一不良妊娠结局中，剖宫产发生率、早产发生率、巨大儿发生率、小于胎龄儿发生率、新生儿低血糖发生率、新生儿高

胆红素血症发生率均随 TyG-BMI 变化幅度增大呈递增趋势，组间差异具有统计学意义(均 $P<0.05$)；妊娠期高血压发生率分别为 6.40%、10.92%、16.18%，组间差异无统计学意义($P=0.099$ ；表 3)。

表 3. 不同 TyG-BMI 变化组 GDM 孕妇不良妊娠结局比较
Table 3. Comparison of adverse pregnancy outcomes in pregnant women with GDM among different TyG-BMI trajectory groups
单位:例(%)

项目	稳定组($n=125$)	中度上升组($n=293$)	快速上升组($n=68$)	χ^2	P
妊娠期高血压	8(6.40)	32(10.92)	11(16.18)	4.623	0.099
子痫前期	4(3.20)	14(4.78)	5(7.35)	1.688	0.430
剖宫产	19(15.20)	87(29.69)	36(52.94)	30.405	<0.001
胎膜早破	8(6.40)	24(8.19)	6(8.82)	0.501	0.779
产后出血	3(2.40)	11(3.75)	5(7.35)	2.924	0.232
早产	8(6.40)	20(6.83)	12(17.65)	9.304	0.010
巨大儿	9(7.20)	26(8.87)	16(23.53)	14.563	0.001
小于胎龄儿	2(1.60)	10(3.41)	8(11.76)	12.461	0.002
新生儿低血糖	4(3.20)	21(7.17)	12(17.65)	13.276	0.001
新生儿高胆红素血症	6(4.80)	38(12.97)	16(23.53)	14.543	0.001
复合不良妊娠结局	70(56.00)	196(66.89)	54(79.41)	11.099	0.004

2.2.4 TyG-BMI 变化与不良妊娠结局的多因素关联分析 以稳定组为参照，在调整年龄、孕前 BMI 等混杂因素后，多因素 Logistic 回归分析结果显示：中度上升组发生复合不良妊娠结局的风险升高($OR=1.571, 95\% CI: 1.018 \sim 2.423$)，快速上升组发生复合不良妊娠结局的风险为稳定组的 2.957 倍($OR=2.957, 95\% CI: 1.514 \sim 6.064$)，且该关联独立于年龄、孕前 BMI、糖尿病家族史、产次及孕早期收缩压。

将肥胖家族史纳入模型后，结果显示肥胖家族史与复合不良妊娠结局的关联未达到统计学意义($OR=2.098, 95\% CI: 0.831 \sim 5.540, P=0.125$)，调整后 TyG-BMI 变化分组的效应估计值仍基本稳健。在单一不良妊娠结局中，快速上升组与剖宫产($OR=2.929, 95\% CI: 1.501 \sim 5.998$)、巨大儿($OR=3.031, 95\% CI: 1.558 \sim 6.190$)的关联最为密切(表 4)。

表 4. TyG-BMI 变化与复合不良妊娠结局关联的多因素 Logistic 回归分析
Table 4. Multivariate Logistic regression analysis of the association between TyG-BMI trajectories and composite adverse pregnancy outcomes

变量	模型 1 $OR(95\% CI)$	模型 2 $OR(95\% CI)$	模型 3 $OR(95\% CI)$
稳定组	1.000(参考)	1.000(参考)	1.000(参考)
中度上升组	1.588(1.033 ~ 2.438)	1.562(1.014 ~ 2.402)	1.571(1.018 ~ 2.423)
快速上升组	3.031(1.558 ~ 6.190)	2.929(1.501 ~ 5.998)	2.957(1.514 ~ 6.064)
年龄		1.036(0.990 ~ 1.084)	1.036(0.991 ~ 1.084)
孕前 BMI		0.978(0.920 ~ 1.040)	0.976(0.918 ~ 1.038)
糖尿病家族史			1.335(0.829 ~ 2.190)
肥胖家族史			2.098(0.831 ~ 5.540)
产次			0.983(0.687 ~ 1.419)
孕早期收缩压			1.003(0.985 ~ 1.022)

注：空白表示不适用。

2.2.5 各预测指标对复合不良妊娠结局的预测效能评估 ROC 曲线分析结果显示, TyG-BMI 变化对复合不良妊娠结局的预测效能显著优于孕早期和孕中期的单次 TyG-BMI 检测(均 $P < 0.05$), 预测效能与 Δ TyG-BMI 相当($P = 0.460$; 表 5)。构建联合预测模型后, AUC 提升至 0.872(95% CI: 0.832 ~ 0.912), 灵敏度和特异度均优于单一指标, 提示联合预测模型可进一步提升对该结局的风险分层能力(图 2)。

表 5. 各预测指标及联合模型对复合不良妊娠结局的预测效能比较

Table 5. Comparison of the predictive efficacy of each predictive indicator and the combined model for composite adverse pregnancy outcomes

项目	AUC(95% CI)	灵敏度/%	特异度/%	约登指数
TyG-BMI 变化	0.898(0.863 ~ 0.932)	82.4	81.5	0.639
孕早期 TyG-BMI	0.566(0.508 ~ 0.624)	58.7	52.1	0.108
孕中期 TyG-BMI	0.614(0.556 ~ 0.672)	63.5	60.3	0.238
Δ TyG-BMI	0.905(0.862 ~ 0.948)	85.6	83.2	0.688
联合预测模型	0.872(0.832 ~ 0.912)	84.2	80.9	0.651

注: 联合模型包含 TyG-BMI 变化、年龄、孕前 BMI、糖尿病家族史、孕早期 FPG。

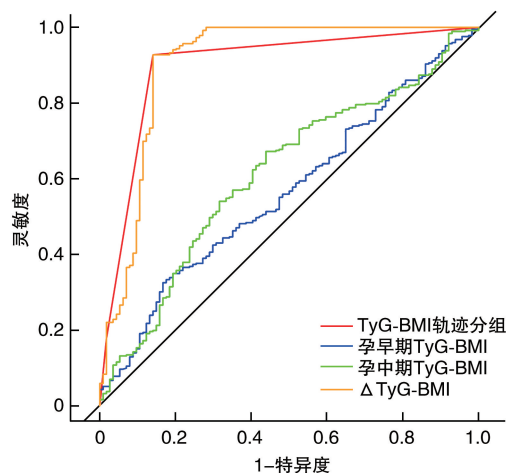


图 2. 预测指标对复合不良妊娠结局的预测效能

Figure 2. The predictive efficacy of prognostic indicators for composite adverse pregnancy outcomes

3 讨论

本研究采用公共数据库挖掘结合真实世界临床验证的研究策略, 系统探讨了 TyG-BMI 动态变化与 GDM 及不良妊娠结局的关联, 主要发现包括: 第

一, TyG-BMI 与 GDM 患病风险呈线性正相关; 第二, 在临床队列中可识别出稳定、中度上升、快速上升三种变化轨迹, 其中快速上升组不良妊娠结局的发生风险最高, 且该变化轨迹的预测效能显著优于单次测量结果。

NHANES 数据分析结果显示, 在纳入分析的 153 名 20 ~ 44 岁已确认妊娠的女性中, GDM 患病率为 32.68%。GDM 组的 BMI 值为 $31.23 \pm 8.21 \text{ kg/m}^2$, 且 TyG-BMI 水平显著高于非 GDM 组。Logistic 回归分析结果显示, TyG-BMI 与 GDM 的单因素关联在校正 BMI 后不再具有统计学意义, 提示二者的关联主要由 BMI 介导。脂肪组织过度堆积可导致脂肪因子分泌紊乱, 抑制胰岛素信号传导, 诱导胰岛素抵抗, 进而破坏葡萄糖稳态, 增加 GDM 的发病风险^[13]。限制性立方样条分析证实, TyG-BMI 与 GDM 呈线性正相关, 未发现明确的风险阈值。上述结果与 Li 等^[14]针对 67 936 例中国孕妇开展的队列研究结论一致, 该研究显示, 孕前 BMI 与 TyG 对 GDM 风险存在显著交互作用, 超重、肥胖同时合并高水平 TyG 的人群 GDM 风险显著升高。TyG-BMI 作为整合了糖脂代谢与肥胖特征的复合指标, 可为 GDM 的早期风险评估提供更全面的参考信息^[15]。

临床队列识别出的三种变化类型反映了 TyG-BMI 的基线水平与动态变化差异。其中快速上升组 TyG-BMI 上升幅度最大, 对应的不良妊娠结局风险最高, 剖宫产、巨大儿、新生儿低血糖的发生率均呈现递增趋势。

TyG-BMI 快速上升反映出孕期胰岛素抵抗在持续加重。母体的高血糖状态会刺激胎儿胰岛 β 细胞增殖, 使胎儿形成高胰岛素血症, 促进胎儿过度生长, 最终导致巨大儿出生, 同时推高剖宫产率。胎儿娩出后母体血糖供应中断, 但胎儿胰岛素分泌仍处于高水平, 因此更容易引发新生儿低血糖^[16]。本研究中, 快速上升组的小于胎龄儿发生率显著升高, Artemieva 等^[17]的研究显示, GDM 患者胎盘绒毛中胎盘催乳素、滋养层 $\beta 1$ -糖蛋白、胎盘 $\alpha 1$ 微球蛋白及蛋白酶 3 的表达会发生改变; 胎盘灌注异常一方面会诱发子宫收缩, 升高早产风险, 另一方面会导致胎儿宫内营养供应不足, 影响胎儿生长发育, 进而增加小于胎龄儿的发生风险^[18]。此外, 既往研究报道胰岛素抵抗同样是子痫前期的重要致病因素^[19], Liu 等^[20]的研究也证实 TyG-BMI 与妊娠期高血压疾病风险独立相关。但在本研究中, 虽然妊娠期高血压及子痫前期的发生率随 TyG-BMI 的上升而升高, 但组间差异却均未达到统计学意义, 这可能与本研究中该结局的事件数相对较少、统计学效

能不足有关。

多因素 Logistic 回归校正混杂因素后,中度上升组发生复合不良结局的风险增加 57.1%,快速上升组则增加 195.7%,证实 TyG-BMI 的快速上升趋势是 GDM 孕妇不良妊娠结局的独立相关因素。按变化趋势分组的预测效能与 Δ TyG-BMI 相当,且显著优于孕早期和孕中期的单次测量。单次检测 TyG-BMI 仅能反映某一时点的代谢状态,而变化趋势分析整合了指标的基线水平与动态变化特征,能够更精准地反映孕期代谢风险的演变过程,这一结论在早发冠心病相关研究中也得到了证实^[21]。基于 TyG-BMI 变化的风险评估策略,可帮助临床医生在孕早期综合评估孕妇的代谢风险,为不同风险亚组制定个体化的孕期监测方案,实现 GDM 孕妇的精准分层管理。本研究基于现有研究结果,提出针对 GDM 患者的孕期风险分层管理策略:对于指标稳定组可维持常规随访,中度上升组需加强孕期监测,快速上升组则应纳入重点干预对象,采取更严格的血糖控制、胎儿生长监测以及高血压预防措施。

尽管上述风险分层策略具备较好的临床可操作性,但本研究仍存在以下局限性:一方面,NHANES 数据的最终分析样本仅为 153 例,由于妊娠女性在 NHANES 总人群中占比偏低、仅部分受访者完成空腹血检、明确标注妊娠相关变量的对象有限,且部分妊娠结局信息不完整,本研究结论受样本量限制,外推应用时仍需保持谨慎;NHANES 数据库本身为横断面调查设计,无法直接开展变化趋势分析,仅可为临床队列的动态分析提供静态参照,同样受前述样本量问题限制存在引入选择偏倚的可能。另一方面,本研究的临床队列采用回顾性设计,无法排除饮食结构、体力活动、心理应激等混杂因素的影响;且临床验证仅在宝鸡市妇幼保健院单中心开展,可能存在选择偏倚与地域局限性,仍需多中心研究进一步验证结果;同时,LGMM 变化分析仅基于孕早期、孕中期两个时点的测量数据,不足以捕捉全孕期 TyG-BMI 的非线性变化趋势;最后,肥胖家族史在单因素分析中组间差异存在统计学意义,但纳入多因素模型后与不良妊娠结局未呈现显著关联,这一结果可能由样本量有限导致统计效能不足造成,仍需后续研究进一步验证。

基于本研究结果,未来可从以下方向拓展相关研究:开展前瞻性多中心队列研究,在孕早期、孕中期、孕晚期多个时点测量 TyG-BMI,进一步验证本研究结论,同时探索该结论在不同种族人群中的适用性;深入挖掘 TyG-BMI 水平变化人群的代谢谱特征,筛选关键代谢物与相关作用通路;依托本研究

构建的联合预测模型,开发适配 GDM 患者不良结局风险评估的简易计算器或手机应用,助力该方法的临床推广;此外,还应对不同 TyG-BMI 变化组的产妇及子代开展长期随访。

综上所述,TyG-BMI 的中度及快速上升趋势是 GDM 患者发生不良妊娠结局的独立危险因素,其临床应用价值优于单次指标测量。临床可通过动态监测 TyG-BMI 识别存在高危变化的孕妇,从而降低不良妊娠结局的发生风险,改善最终妊娠结局。后续仍需开展多中心、大样本的前瞻性队列研究,进一步验证 TyG-BMI 动态变化的临床应用价值,为 GDM 的长期管理提供更全面的循证依据。

[参考文献]

- [1] Wang H, Li N, Chivese T, et al. IDF diabetes atlas: estimation of global and regional gestational diabetes mellitus prevalence for 2021 by international association of diabetes in pregnancy study group's criteria[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2022, 183: 109050.
- [2] Nelson Kumar S, Lakshmi Suseela T, Parveen S, et al. Assessment of prevalence, risk factors, and psychosocial factors of gestational diabetes mellitus: a prospective observational study[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2025, 225: 112256.
- [3] Shao H, Qian Y, Gao S, et al. Effect of delayed cord clamping on jaundice and hypoglycemia in the neonates of mothers with gestational diabetes mellitus [J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2022, 156(1): 77-81.
- [4] 李晓辉,尹洁,刘冰,等. 三酰甘油-葡萄糖指数与脂肪组织胰岛素抵抗的关系分析[J]. *首都医科大学学报*, 2023, 44(3): 393-399.
Li X H, Yin J, Liu B, et al. Effect of triglyceride-glucose index in evaluating adipose tissue insulin resistance[J]. *J Cap Med Univ*, 2023, 44(3): 393-399.
- [5] Guo S, Liu D, Bi X, et al. Barriers and facilitators to self-management among women with gestational diabetes: a systematic review using the COM-B model [J]. *Midwifery*, 2024, 138: 104141.
- [6] Zhang L, Yan X, Zheng W, et al. Assessment of first-trimester insulin resistance indices for gestational diabetes mellitus: a prospective cohort study[J]. *J Endocrinol Invest*, 2025, 48(9): 2167-2176.
- [7] Sun J, Chen Y, Chen J, et al. The triglyceride glucose-body mass index and the risk of gestational diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis [J]. *Front Nutr*, 2026, 13: 1833116.
- [8] Meng Z, Lin M, Song L, et al. The first-trimester triglyceride glucose-body mass index is a valuable predictor for adverse pregnancy outcomes [J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2025, 25(1): 142.

- [9] Miller E S, Saade G R, Simhan H N, et al. Trajectories of antenatal depression and adverse pregnancy outcomes[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2022, 226(1): 108. e1-108. e9.
- [10] Kamphof H D, Marijnen M C, Damhuis S E, et al. Predictive value of fetal doppler velocimetry, fetal growth trajectory and maternal serum biomarkers for short-term adverse perinatal outcome; secondary analysis of DRIGITAT study[J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2025, 66(4): 470-479.
- [11] International Association of Diabetes and Pregnancy Study Groups Consensus Panel. International association of diabetes and pregnancy study groups recommendations on the diagnosis and classification of hyperglycemia in pregnancy[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33(3): 676-682.
- [12] 中华医学会妇产科学分会产科学组, 中华医学会围产医学分会, 中国妇幼保健协会妊娠合并糖尿病专业委员会. 妊娠期高血糖诊治指南(2022)[第一部分][J]. *中华妇产科杂志*, 2022, 57(1): 3-12.
- Obstetrics Subgroup of Chinese Society of Obstetrics and Gynecology of Chinese Medical Association, Chinese Society of Perinatal Medicine of Chinese Medical Association, Professional Committee of Gestational Diabetes Mellitus of China Maternal and Child Health Association, et al. Guidelines for diagnosis and treatment of hyperglycemia in pregnancy (2022)[Part 1][J]. *Chin J Obstet Gynecol*, 2022, 57(1): 3-12.
- [13] Naja K, Anwardeen N, Albagha O, et al. Lipid subclasses differentiate insulin resistance by triglyceride-glucose index[J]. *Metabolites*, 2025, 15(5): 342.
- [14] Li L, Zhou Y L, Li H, et al. Pre-pregnancy BMI modifies the associations between triglyceride-glucose index in early pregnancy and adverse perinatal outcomes: a 5-year cohort study of 67 936 women in China[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2024, 16(1): 311.
- [15] 赵建勇, 郭春月, 宋翠. 中老年人群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.
- ZHAO J Y, GUO C Y, SONG C. Association between triglyceride-glucose index and hypertension in middle-aged and older adults[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(7): 583-589.
- [16] Xu X, Luo S, Lin J, et al. Association between maternal lipid profiles and lipid ratios in early to middle pregnancy as well as their dynamic changes and gestational diabetes mellitus[J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2024, 24(1): 510.
- [17] Artemieva K A, Stepanova Y V, Stepanova I I, et al. Morfofunctional and molecular changes in placenta and peripheral blood in preeclampsia and gestational diabetes mellitus[J]. *Dokl Biol Sci*, 2023, 513(1): 387-394.
- [18] Wang J, Wu D, Peng B, et al. The associations between maternal glycolipid metabolism and fetal growth in term births[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 38591.
- [19] Yang X F, Zhong Q M, Huang M W, et al. Causal relationship between gestational diabetes and preeclampsia: a bidirectional mendelian randomization analysis[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2024, 210: 111643.
- [20] Liu J, Ma H, Chen X, et al. Association between triglyceride-glucose body mass index and risk of hypertensive disorders of pregnancy: a case-control study[J]. *Front Med (Lau-sanne)*, 2026, 13: 1844562.
- [21] 罗健敏, 梁敏仪, 林小媚, 等. TyG-BMI 指数和血脂水平对高龄妊娠期糖尿病孕妇妊娠结局的预测价值[J]. *湖南师范大学学报(医学版)*, 2026, 23(1): 61-65.
- Luo J M, Liang M Y, Lin X M, et al. The predictive value of TyG-BMI index and blood lipid levels on pregnancy outcomes in advanced-age pregnant women with gestational diabetes mellitus[J]. *J Hunan Norm Univ (Med Sci)*, 2026, 23(1): 61-65.
- (此文编辑 文玉珊)

(上接第 742 页)

- [15] 韩发兰, 逢淑超, 崔英华, 等. ATG16L1 基因启动子单核苷酸多态性可增加急性心肌梗死的易感性[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2021, 29(12): 1040-1046.
- Han F L, Pang S C, Cui Y H, et al. Single nucleotide polymorphism of ATG16L1 gene promoter increases susceptibility to acute myocardial infarction[J]. *Chin J Arterioscler*, 2021, 29(12): 1040-1046.
- [16] 白冠男, 郜雪, 闫波. 组织蛋白酶 D 基因启动子序列单核苷酸多态性与急性心肌梗死的相关性[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2022, 30(11): 955-960.
- Bai G N, Gao X, Yan B. Correlation of cathepsin D gene promoter region single nucleotide polymorphism and acute myocardial infarction[J]. *Chin J Arterioscler*, 2022, 30(11): 955-960.
- [17] Serpooshan V, Liu Y H, Buikema J W, et al. Nkx2.5⁺ cardiomyoblasts contribute to cardiomyogenesis in the neonatal heart[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 12590.
- [18] Villavicencio-Guzmán L, Sánchez-Gómez C, Jaime-Cruz R, et al. Human heart morphogenesis: a new vision based on *in vivo* labeling and cell tracking[J]. *Life*, 2023, 13(1): 165.
- [19] Wu M, Peng S, Yang J, et al. Baf250a orchestrates an epigenetic pathway to repress the Nkx2.5-directed contractile cardiomyocyte program in the sinoatrial node[J]. *Cell Res*, 2014, 24(10): 1201-1213.
- [20] Mehta A, Ramachandra C J A, Chitre A, et al. Acetylated signal transducer and activator of transcription 3 functions as molecular adaptor independent of transcriptional activity during human cardiogenesis[J]. *Stem Cells*, 2017, 35(10): 2129-2137.
- [21] Wu L, Du J, Jing X, et al. Bone morphogenetic protein 4 promotes the differentiation of Tbx18-positive epicardial progenitor cells to pacemaker-like cells[J]. *Exp Ther Med*, 2019, 17(4): 2648-2656.
- (此文编辑 许雪梅)