

• 妇科专栏 •

# 血清 SHBG 及 TXNIP 表达与妊娠期糖尿病 胰岛素抵抗及糖脂代谢的相关性研究

黄蕾, 赵蓓\*

(西北妇女儿童医院妇产科, 陕西 西安 710000)

**[摘要]** 目的 探究血清性激素结合球蛋白(sex hormone-binding globulin, SHBG)及硫氧还蛋白相互作用蛋白(thioredoxin interacting protein, TXNIP)表达与妊娠期糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)胰岛素抵抗及糖脂代谢的相关性。方法 选取西北妇女儿童医院 2021 年 1 月—2023 年 1 月收治的 GDM 患者 112 例作为研究对象,另选取本院同期孕检的无 GDM 的妊娠期女性 112 例作为对照组,比较 2 组的空腹血糖、餐后 2 h 血糖、胰岛素抵抗指数、三酰甘油(triacylglycerol, TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、血清 SHBG 及 TXNIP 水平。分析血清 SHBG 及 TXNIP 表达与空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、TG、TC、LDL-C、空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数的相关性。分析血清 SHBG 及 TXNIP 对 GDM 发病的评估价值。结果 研究组空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、TG、TC、LDL-C、空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数均高于对照组( $P < 0.05$ )。研究组 SHBG 低于对照组, TXNIP 高于对照组( $P < 0.05$ )。血清 SHBG 与空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、TG、TC、LDL-C、空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数呈负相关( $P < 0.05$ );血清 TXNIP 与空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、TG、TC、LDL-C、空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数呈正相关( $P < 0.05$ )。胰岛素抵抗指数、糖化血红蛋白、血清 TXNIP 是 GDM 发病的危险因素( $P < 0.05$ ),血清 SHBG 是 GDM 发病的保护因素( $P < 0.05$ )。血清 SHBG、TXNIP 单一及联合评估 GDM 发病的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为 0.771、0.751、0.844。结论 空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、TG、TC、LDL-C、空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数与血清 SHBG 呈负相关,与血清 TXNIP 呈正相关。

**[关键词]** 糖尿病, 妊娠; 胰岛素抵抗; 代谢 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.11.005

**[中图分类号]** R714.256 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)11-1266-05

## Study on the correlation of the expression of serum SHBG and TXNIP with insulin resistance, and glucose and lipid metabolism in gestational diabetes mellitus

HUANG Lei, ZHAO Bei\*

(Department of Obstetrics and Gynecology, Northwest Women's and Children's Hospital,  
Shaanxi Province, Xi'an 710000, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the correlation of the expression of serum sex hormone-binding globulin (SHBG) and thioredoxin interacting protein (TXNIP) with insulin resistance, and glucose and lipid metabolism in gestational diabetes mellitus (GDM). **Methods** In total, 112 GDM patients admitted to the Northwest Women's and Children's Hospital between January 2021 and January 2023 were selected as the research subjects, and another 112 pregnant women without GDM undergoing pregnancy examination in our hospital during the same period were selected as the control group. The levels of fasting blood glucose (FBG), 2-hour postprandial glucose (2 hPG), insulin resistance index (IRI), triglyceride (TG), total cholesterol (TC), low-

[收稿日期]2023-11-13

[基金项目]陕西省重点研发计划项目(2021ZDLSF02-14)

[作者简介]黄蕾(1984-),女,陕西西安人,西北妇女儿童医

院主管护师,从事妇产科疾病护理研究。

\* 通信作者。E-mail:530045152@qq.com

density lipoprotein cholesterol (LDL-C), serum SHBG and TXNIP were compared between the two groups. The correlation of the expression of serum SHBG and TXNIP with FBG, 2 hPG, glycated hemoglobin, TG, TC, LDL-C, fasting insulin and IRI was analyzed as well as the evaluation value of serum SHBG and TXNIP in the pathogenesis of GDM. **Results** The FBG, 2 hPG, glycated hemoglobin, TG, TC, LDL-C, fasting insulin and IRI in the research group were higher than those in the control group ( $P < 0.05$ ). The SHBG of the research group was lower than that of the control group, while TXNIP was higher than that of the control group ( $P < 0.05$ ). Serum SHBG was negatively correlated with FBG, 2 hPG, glycated hemoglobin, TG, TC, LDL-C, fasting insulin and IRI ( $P < 0.05$ ). Serum TXNIP was positively correlated with FBG, 2 hPG, glycated hemoglobin, TG, TC, LDL-C, fasting insulin and IRI ( $P < 0.05$ ). IRI, glycated hemoglobin and serum TXNIP were identified as risk factors for the development of GDM ( $P < 0.05$ ), while serum SHBG was protective factor for GDM ( $P < 0.05$ ). The area under the curve (AUC) of serum SHBG and TXNIP alone and in combination in the assessment of development of GDM was 0.771, 0.751, and 0.844, respectively. **Conclusion** FBG, 2 h PG, glycated hemoglobin, TG, TC, LDL-C, fasting insulin and IRI are negatively correlated with serum SHBG and positively correlated with serum TXNIP.

**[Key words]** diabetes, gestational; insulin resistance; metabolism

妊娠期糖尿病 (gestational diabetes mellitus, GDM) 是妊娠期高发的并发症之一, 不仅影响母体及胎儿的健康, 同时增加产后心脑血管疾病、2 型糖尿病等并发症的发病率, 不利于妊娠期女性的正常分娩及产后恢复<sup>[1-2]</sup>。GDM 作为孕妇在妊娠期间出现的糖代谢异常疾病, 胰岛素抵抗和高血糖是其发病的主要特征及病理基础, 但目前虽然已有许多研究对 GDM 的病理机制进行了探索, 但分子机制仍尚未完全明晰<sup>[3-4]</sup>。因此筛查与 GDM 患者胰岛素抵抗和血糖代谢相关生物学因子, 有助于完善 GDM 的预防及针对性治疗工作。血清性激素结合球蛋白 (sex hormone-binding globulin, SHBG) 是肝脏合成的血清蛋白, 可与性激素及部分其他激素结合, 调节其生物活性<sup>[5-6]</sup>。硫氧还蛋白相互作用蛋白 (thioredoxin-interacting protein, TXNIP) 是一种调节胰岛素信号传导及细胞应激反应的蛋白<sup>[7-8]</sup>。二者均与血糖代谢相关疾病的发生、发展密切相关<sup>[9-10]</sup>。但目前针对血清 SHBG 及 TXNIP 表达与妊娠期糖尿病胰岛素抵抗及糖脂代谢的相关性研究报道有限, 本研究采用前瞻性研究的方法, 分析血清 SHBG 及 TXNIP 表达与妊娠期糖尿病胰岛素抵抗及糖脂代谢的相关性, 旨在揭示 SHBG 和 TXNIP 在妊娠期糖尿病发病机制中的作用, 并为进一步的 GDM 预防及针对性治疗研究提供基础。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料 选取西北妇女儿童医院 2021 年 1

月—2023 年 1 月收治的 112 例 GDM 患者作为研究对象, 记为研究组。纳入标准: ①符合 GDM 的临床诊断<sup>[11]</sup>; ②年龄 18~35 岁; ③单胎妊娠; ④定期孕检资料完整; ⑤患者签订知情同意书。排除标准: ①多囊卵巢综合征; ②合并妊娠期高血压; ③胎盘前置、异位妊娠等妊娠疾病; ④肝、肾功能指标异常; ⑤甲状腺功能亢进; ⑥妊娠前糖尿病、高血压、高血脂等慢性代谢性疾病; ⑦恶性肿瘤。另选取本院同期孕检的无 GDM 的 112 例妊娠期女性作为对照组, 糖耐量检测正常。2 组一般资料比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 1。

本研究通过医院医学伦理会审批。

**1.2 血糖、胰岛素及血脂指标检测** 入院后, 采用血糖仪检测患者的空腹血糖、餐后 2 h 血糖; 高效液相色谱仪检测糖化血红蛋白; 放射免疫分析仪检测空腹胰岛素, 并计算胰岛素抵抗指数; 全自动生化分析仪检测三酰甘油 (triacylglycerol, TG)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇 (low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)。

**1.3 血清 SHBG 及 TXNIP 水平检测** 入院后, 采集患者的空腹肘静脉血 4 mL, 加入高速离心机 3 500 r/min 离心分离 12 min (离心半径 13.5 cm), 取上清液, 采用酶联免疫法检测血清 SHBG 及 TXNIP 水平。试剂盒购自美国 R&D Systems 公司。

表1 一般资料比较

Table 1 Comparison of general information

(n=112)

组别	年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	孕前体重指数 ( $\bar{x} \pm s$ )	妊娠周期 ( $\bar{x} \pm s$ , 周)	糖尿病家族史 (例数, %)	妊娠史(例数, %)	
					初次妊娠	多次妊娠
研究组	29.06±2.14	22.06±0.79	26.81±0.84	11(9.82)	50(44.64)	62(55.36)
对照组	28.79±1.56	21.97±1.12	26.74±0.59	7(6.25)	43(38.39)	69(61.61)
t/ $\chi^2$ 值	1.079	0.695	0.722	0.967	0.901	
P 值	0.282	0.488	0.471	0.326	0.343	

1.4 统计学方法 应用 SPSS24.0 统计软件分析数据。计量资料采用 t 检验。计数资料采用  $\chi^2$  检验。Pearson 相关系数模型对血清 SHBG、TXNIP 与血糖、胰岛素、血脂进行相关性分析, Logistic 逐步回归模型用于影响因素分析。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析血清 SHBG 及 TXNIP 对 GDM 的评估价值。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 血糖指标比较 研究组空腹血糖、餐后 2 h 血糖及糖化血红蛋白均高于对照组, 差异有统计学意义(P<0.05)。见表 2。

表2 2组血糖指标比较

Table 2 Comparison of blood glucose indicators between the two groups

(n=112,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	空腹血糖 (mmol/L)	餐后 2 h 血糖 (mmol/L)	糖化血红蛋白 (%)
研究组	5.91±1.73	12.79±2.51	8.71±2.35
对照组	4.32±0.33	7.84±1.83	5.06±0.96
t 值	9.554	16.864	15.217
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

2.2 2组胰岛指标比较 研究组空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数均高于对照组, 差异有统计学意义(P<0.05)。见表 3。

表3 2组胰岛素指标比较

Table 3 Comparison of insulin indicators between the two groups

(n=112,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	空腹胰岛素(mU/L)	胰岛素抵抗指数
研究组	11.42±2.91	2.99±0.81
对照组	6.74±0.95	1.32±0.41
t 值	16.179	19.467
P 值	<0.001	<0.001

2.3 2组血脂指标比较 研究组 TG、TC 及 LDL-C 均高于对照组, 差异有统计学意义(P<0.05)。见表 4。

2.4 2组血清 SHBG 及 TXNIP 水平比较 研究组的 SHBG 低于对照组, TXNIP 高于对照组, 差异有

统计学意义(P<0.05)。见表 5。

表4 2组血脂指标比较

Table 4 Comparison of blood lipid indicators between the two groups

(n=112,  $\bar{x} \pm s$ , mmol/L)

组别	TG	TC	LDL-C
研究组	2.89±0.31	4.97±0.85	3.01±0.61
对照组	2.41±0.25	3.64±0.57	2.38±0.54
t 值	12.756	13.753	8.184
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

表5 2组血清 SHBG 及 TXNIP 水平比较

Table 5 Comparison of serum SHBG and TXNIP levels between the two groups

(n=112,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	SHBG( $\mu$ g/L)	TXNIP(ng/L)
研究组	314.97±57.69	53.69±7.81
对照组	429.85±40.61	40.15±8.23
t 值	17.234	12.929
P 值	<0.001	<0.001

2.5 血清 SHBG、TXNIP 与血糖、胰岛素、血脂的相关性分析 Pearson 分析结果显示, 空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、TG、TC、LDL-C、空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数与血清 SHBG 呈负相关(P<0.05), 与血清 TXNIP 呈正相关, 差异均有统计学意义(P<0.05)。见表 6。

表6 血清 SHBG、TXNIP 与血糖、胰岛素、血脂的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of serum SHBG, TXNIP with blood glucose, insulin, and blood lipids

指标	SHBG		TXNIP	
	r 值	P 值	r 值	P 值
空腹血糖	-0.617	<0.001	0.601	<0.001
餐后 2 h 血糖	-0.681	<0.001	0.683	<0.001
糖化血红蛋白	-0.677	<0.001	0.679	<0.001
TG	-0.671	<0.001	0.670	<0.001
TC	-0.674	<0.001	0.672	<0.001
LDL-C	-0.623	<0.001	0.604	<0.001
空腹胰岛素	-0.679	<0.001	0.685	<0.001
胰岛素抵抗指数	-0.724	<0.001	0.698	<0.001

2.6 GDM 发病的危险因素分析 以 GDM 发病为因变量(是=1, 否=0), 空腹血糖、糖化血红蛋白、胰岛素抵抗指数、血清 SHBG 及 TXNIP(均为连续变

量)为自变量。结果显示,空腹血糖与GDM具有较强相关性,糖化血红蛋白、胰岛素抵抗指数、血清TXNIP是GDM发病的危险因素( $P < 0.05$ ),血清SHBG是GDM发病的保护因素( $P < 0.05$ )。见表7。

表7 GDM发病的危险因素分析

Table 7 Analysis of risk factors for the development of GDM

指标	回归系数	标准误	Wald $\chi^2$ 值	P 值	OR 值	95%CI
空腹血糖	1.569	0.654	5.756	0.002	4.802	1.641~14.049
糖化血红蛋白	1.239	0.562	4.860	0.004	3.452	1.179~10.100
胰岛素抵抗指数	1.135	0.461	6.062	0.002	3.111	1.063~9.102
血清SHBG	-1.358	0.642	4.474	0.005	0.257	0.088~0.752
血清TXNIP	1.187	0.585	4.117	0.006	3.277	1.120~9.588

表8 血清SHBG及TXNIP对GDM发病的评估价值分析

Table 8 Analysis of the assessment value of serum SHBG and TXNIP in the development of GDM

指标	最佳截断点	敏感度(%)	特异度(%)	AUC	95%CI
血清SHBG	372.39 $\mu\text{g/L}$	67.86	77.68	0.771	0.702~0.849
血清TXNIP	46.87 $\text{ng/L}$	76.79	71.43	0.751	0.631~0.842
二者联合	—	78.57	85.71	0.844	0.786~0.931

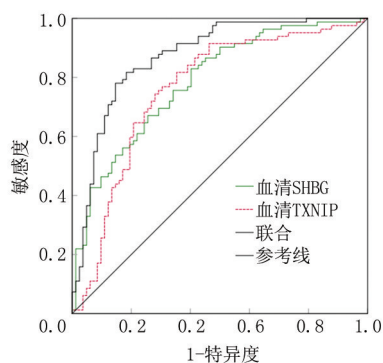


图1 血清SHBG及TXNIP对GDM发病的评估价值分析

Figure 1 Analysis of the assessment value of serum SHBG and TXNIP in the development of GDM

### 3 讨论

GDM是临床妇产科常见的妊娠期并发症,致病因素较多且病理机制复杂,可导致产妇心血管疾病、产后2型糖尿病的发病风险增加,以及婴儿中的巨细胞症及分娩并发症,影响妊娠结局及孕妇和胎儿的身体健康<sup>[12-14]</sup>。相关研究<sup>[15-17]</sup>表明,孕早期至孕中期胎盘激素的分泌量增加是导致胰岛素抵抗的重要原因。近些年,随着对GDM发病机制研究的不断深入,更多的细胞因子与GDM患者糖脂代谢及胰岛素抵抗的关系被证实。Sarina等<sup>[18]</sup>研究表明,GDM孕妇胎盘中的TXNIP呈显著升高状态,并证实TXNIP可诱导活性氧积累和线粒体改变,损伤胎盘组织,改变妊娠结局。此外,SHBG作为多囊卵巢综合征的早期生物学标志物和治疗靶点,是肝脏产生的具有高度亲和力和特异性的性类

固醇,Qu等<sup>[19]</sup>研究发现,在肾动脉血红蛋白与非酒精性脂肪肝与胰岛素的关系验证中,SHBG与胰岛素抵抗呈显著负相关,可能是调节胰岛素抵抗的潜在生物学标志物。因此,进一步明确血清TXNIP、SHBG与GDM患者糖脂代谢紊乱及胰岛素的相关性,有助于临床实践中制定更具针对性的预防及治疗方案,改善GDM患者的妊娠结局。

本研究结果提示随着GDM患者糖脂代谢紊乱及胰岛素抵抗程度的增加,血清SHBG水平呈下降趋势。研究发现,葡萄糖转运蛋白是调节葡萄糖摄取的调节因子,其表达量降低提示机体对血糖的摄取能力下降,可引起血糖异常升高<sup>[20-21]</sup>;磷脂酰肌醇3激酶p85 $\alpha$ 亚基是磷脂酰肌醇3激酶的重要组成部分,参与胰岛素信号转导过程中的PI3K/AKT通路。当胰岛素受体被激活后,p85 $\alpha$ 亚基与p110 $\alpha$ 亚基结合形成复合物,使得PI3K催化活性增强,进而引发一系列的信号级联反应,促进葡萄糖的摄取和代谢,并调节胰岛素的生物学效应<sup>[22]</sup>。因此研究分析,血清SHBG可能通过调节磷脂酰肌醇3激酶p85 $\alpha$ 亚基、葡萄糖转运蛋白3/4等信号途径促进糖脂代谢及抑制胰岛素抵抗。本研究结果提示随着GDM患者糖脂代谢紊乱及胰岛素抵抗程度的增加,血清TXNIP水平呈升高趋势。研究分析,当TXNIP表达增加时,可与胰岛素受体底物IRS-1结合,抑制IRS-1的酪氨酸激酶活性,从而干扰胰岛素信号的传递,并导致胰岛素抵抗的发生<sup>[23]</sup>。同时,高表达的TXNIP可通过减少葡萄糖转运体蛋白4

的表达,降低葡萄糖的摄取和利用,并抑制磷酸果糖激酶 2 的活性,从而阻碍糖酵解途径的进行,导致葡萄糖代谢异常<sup>[24]</sup>。此外, TXNIP 可通过调节脂肪酸氧化及 TG 合成等关键酶的表达来影响脂质代谢<sup>[25]</sup>。本研究 ROC 分析显示,血清 SHBG、TXNIP 单一及联合评估 GDM 发病的 AUC 分别为 0.771、0.751、0.844。进一步证实血清 SHBG 及 TXNIP 对 GDM 的病理改变存在相关性,可提示 GDM 的发生。

综上所述,空腹血糖、餐后 2 h 血糖、糖化血红蛋白、TG、TC、LDL-C、空腹胰岛素及胰岛素抵抗指数与血清 SHBG 呈负相关( $P < 0.05$ ),与血清 TXNIP 呈正相关。

#### [参考文献]

- [1] Chatzakis C, Cavoretto P, Sotiriadis A. Gestational diabetes mellitus pharmacological prevention and treatment[J]. *Curr Pharm Des*, 2021, 27(36): 3833-3840.
- [2] Lu W, Hu C. Molecular biomarkers for gestational diabetes mellitus and postpartum diabetes[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2022, 135(16): 1940-1951.
- [3] Dluski DF, Wolinska E, Skrzypczak M. Epigenetic changes in gestational diabetes mellitus[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(14): 7649.
- [4] Hedeager MA, Hotoft D, Ortenblad L, et al. Diabetes prevention interventions for women after gestational diabetes mellitus: an overview of reviews[J]. *Endocrinol Diabetes Metab*, 2021, 4(3): e230.
- [5] Lu L, Wan B, Sun M. Mendelian randomization identifies age at menarche as an independent causal effect factor for gestational diabetes mellitus[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2023, 25(1): 248-260.
- [6] Hill M, Parizek A, Simjak P, et al. Steroids, steroid associated substances and gestational diabetes mellitus[J]. *Physiol Res*, 2021, 70(4): S617-S634.
- [7] Wang Y, Yu H, Liu F, et al. Analysis of key genes and their functions in placental tissue of patients with gestational diabetes mellitus[J]. *Reprod Biol Endocrinol*, 2019, 17(1): 104.
- [8] Sa R, Ma J, Yang J, et al. High TXNIP expression accelerates the migration and invasion of the GDM placenta trophoblast[J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2023, 23(1): 235.
- [9] 郭丹凤, 曹晓辉, 顾颖. 妊娠期糖尿病患者血清 SHBG、Nesfatin-1、25(OH)D3 水平与妊娠结局的关系[J]. *山东医药*, 2021, 61(32): 49-52.
- [10] 任丽芳, 马玉珍, 何金英. 胎盘组织中 GLUT、IRS、SHBG 表达与妊娠期糖尿病关系[J]. *中国妇幼健康研究*, 2021, 32(4): 514-518.
- [11] 陈露露, 石海君, 漆洪波. 加拿大妇产科医师协会“妊娠期糖尿病指南(2019)”要点解读[J]. *实用妇产科杂志*, 2021, 37(1): 23-27.
- [12] Ortega-Contreras B, Armella A, Appel J, et al. Pathophysiological role of genetic factors associated with gestational diabetes mellitus[J]. *Front Physiol*, 2022, 13(4): 769924.
- [13] Wander PL, Christophi CA, Araneta M, et al. Adiposity, related biomarkers, and type 2 diabetes after gestational diabetes: the diabetes prevention program [J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2022, 30(1): 221-228.
- [14] 徐庆丽, 燕巍, 李志刚, 等. 妊娠期糖尿病孕妇血清 SHBG 水平与胰岛素分泌及不良妊娠结局关系[J]. *中国计划生育学杂志*, 2022, 30(1): 50-54.
- [15] 徐庆英, 王健. 胎盘组织中 GLUT、IRS、SHBG 与妊娠期糖尿病相关性[J]. *中国计划生育学杂志*, 2021, 29(5): 1025-1028.
- [16] 丁媛媛, 陈秀萍, 郝东亚, 等. 血清 SHBG  $\beta$ -HCG HIF-1 $\alpha$  与妊娠期糖尿病及不良妊娠结局的关系分析[J]. *河北医学*, 2022, 28(12): 2022-2026.
- [17] Plows JF, Stanley JL, Baker PN, et al. The pathophysiology of gestational diabetes mellitus[J]. *Int J Mol Sci*, 2018, 19(11): 3342.
- [18] Sarina, Li DF, Feng ZQ, et al. Mechanism of placenta damage in gestational diabetes mellitus by investigating TXNIP of patient samples and gene functional research in cell line[J]. *Diabetes Ther*, 2019, 10(6): 2265-2288.
- [19] Qu X, Donnelly R. Sex hormone-binding globulin (SHBG) as an early biomarker and therapeutic target in polycystic ovary syndrome[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(21): 8191.
- [20] Siddiqui K, George TP, Joy SS, et al. Association of sex hormone binding globulin with gestational age and parity in gestational diabetes mellitus [J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2022, 35(8): 1433-1438.
- [21] Luo X, Cai WY, Song JY, et al. Predictive value of circulating sex hormone-binding globulin for gestational diabetes: a meta-analysis[J]. *Biomark Med*, 2021, 15(12): 1043-1053.
- [22] Liu X, Wang N, Gao Z. beta-Carotene regulates glucose transport and insulin resistance in gestational diabetes mellitus by increasing the expression of SHBG[J]. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 2022, 49(12): 1307-1318.
- [23] 任鸿睿, 赵振兴. 妊娠期糖尿病患者血清 TXNIP、GRP78 表达与胰岛素抵抗的相关性[J]. *中国计划生育学杂志*, 2022, 30(6): 1420-1424.
- [24] Chen F, Sheng X, Sun H, et al. Advanced glycation end products induce nucleus pulposus cell apoptosis by upregulating TXNIP via inhibiting glycolysis pathway in intervertebral disc degeneration[J]. *J Biochem Mol Toxicol*, 2024, 38(1): e23515.
- [25] 陶琳, 赵晓莲, 齐淑芳. 血清 TXNIP 在 2 型糖尿病视网膜病变患者中的表达及其与氧化应激的关系[J]. *天津医药*, 2022, 50(2): 186-190.

(本文编辑:刘斯静)