血清指标、胎儿脐动脉血流参数及生长指标对妊娠期糖尿病孕妇妊娠结局的预测价值

陈丽敏[1],陈 楚[1],叶 梅[1],叶生福[2]
(1. 广东祈福医院超声科;2. 广东祈福医院检验科,广东 广州 511495)

摘 要:目的:分析血清指标、胎儿脐动脉血流参数及生长指标对妊娠期糖尿病(Gestational diabetes mellitus,GDM)孕妇妊娠结局的预测。**方法:**将2022年6月至2025年6月期间广东祈福医院收治的300例GDM孕妇纳为研究对象,采用回顾性研究方法,依据孕妇妊娠结局分为不良组及良好组,收集对比2组一般资料、血清指标、胎儿脐动脉血流参数及胎儿生长指标,对存在差异的指标进行Logistic回归分析,明确GDM孕妇妊娠预后不良的影响因素,并绘制列线图及受试者工作特征(Receiver operating characteristic,ROC)曲线分析相关因素对GDM孕妇妊娠预后不良的预测价值。**结果:**300例GDM孕妇,其中46例预后不良(不良组),另254例孕妇为妊娠预后良好(良好组)。不良组空腹血糖(Fasting plasma glucose,FPG)、胎儿脐动脉搏动指数(Pulsatility index,PI)、脐动脉收缩期与舒张期血流速度比值(Systolic/diastolic ratio,S/D)、腹围(Abdominal circumference,AC)及估计胎儿体重(Estimated fetal weight,EFW)高于良好组(P<0.05),且为GDM孕妇妊娠预后不良的危险因素。通过绘制列线图及校准曲线可知,基于上述因素构建预测模型应用价值较高,其联合预测GDM孕妇妊娠预后不良的ROC曲线下面积(Area under curve,AUC)值为0.875(95%CI:0.821~0.929)。**结论:**空腹血糖、PI、S/D、AC及EFW是GDM孕妇发生不良妊娠结局的独立危险因素,基于上述指标构建的列线图预测模型具有较高的预测价值,5项指标联合检测可提高GDM孕妇发生不良妊娠结局的预测准确性。

关键词:妊娠期糖尿病;妊娠结局;血清指标;脐动脉血流参数;胎儿生长指标;预测价值
中图分类号:R714.256 **文献标志码:**A **文章编号:**2097-7174(2026)09-0800-06
DOI:10.3969/j.issn.2097-7174.2026.09.002

Predictive value of serum parameters, fetal umbilical artery blood flow parameters, and growth indicators for pregnancy outcomes in pregnant women with gestational diabetes mellitus

CHEN Limin[1], CHEN Chu[1], YE Mei[1], YE Shengfu[2]
(1. Department of Ultrasound, Guangdong Qifu Hospital; 2. Department of Laboratory Medicine, Guangdong Clifford Hospital, Guangzhou, Guangdong 511495)

Abstract: Objective: To analyze the predictive value of serum indicators, fetal umbilical artery blood flow parameters and fetal growth indicators for pregnancy outcomes in pregnant women with gestational diabetes mellitus (GDM). **Methods:** A total of 300 pregnant women with GDM admitted to Guangdong Clifford Hospital from June 2022 to June 2025 were enrolled in this retrospective study. According to pregnancy outcomes, the subjects were divided into adverse outcome group and favorable outcome group. General data, serum indicators, fetal umbilical artery blood flow parameters and fetal growth indicators were collected and compared between the two groups. Logistic regression analysis was performed on the statistically different indicators to identify the independent risk factors for adverse pregnancy outcomes in GDM women. A nomogram and receiver operating characteristic (ROC) curve were drawn to evaluate the predictive value of these factors for adverse pregnancy outcomes in pregnant women with GDM. **Results:** Among the 300 GDM pregnant women, 46 cases had adverse pregnancy outcomes (adverse outcome group), and the remaining 254 cases had favorable pregnancy outcomes

作者简介:陈丽敏,女,本科,副主任医师,副教授,研究方向:妇产科超声。E-mail:576106708@qq.com

(favorable outcome group). The levels of fasting plasma glucose (FPG), fetal umbilical artery pulsatility index (PI), systolic/diastolic ratio (S/D), abdominal circumference (AC) and estimated fetal weight (EFW) in the adverse outcome group were significantly higher than those in the favorable outcome group ($P<0.05$), and these indicators were independent risk factors for adverse pregnancy outcomes in GDM women. The nomogram combined with calibration curve showed that the predictive model established on the above factors had higher application value. The area under the curve (AUC) of the ROC curve of the combined prediction for adverse pregnancy outcomes was 0.875 (95% *CI*: 0.821-0.929). **Conclusion**: Fasting plasma glucose, PI, S/D, AC and EFW are independent risk factors for adverse pregnancy outcomes in pregnant women with GDM. The nomogram prediction model constructed based on the above indicators has higher predictive value, and combined detection of the five indicators can improve the predictive accuracy of adverse pregnancy outcomes in GDM pregnant women.

Key words: Gestational diabetes mellitus; Pregnancy outcomes; Serum markers; Umbilical artery blood flow parameters; Fetal growth parameters; Predictive value

妊娠期糖尿病(Gestational diabetes mellitus, GDM)是妊娠期常见的代谢性并发症之一,其发病机制多与妊娠期胰岛素抵抗、葡萄糖需求量增加及胰岛素分泌相对不足密切相关[1]。罗赛赛[2]研究表明,GDM孕妇若血糖控制不佳,易发生巨大胎儿、羊水过多、早产、感染、产后出血等不良妊娠结局。因此,早期识别GDM孕妇发生不良妊娠结局的高危因素并建立预测模型具有重要意义。目前,临床上GDM的常见监测指标包括血清糖代谢指标、脂代谢指标及胎儿超声参数,但单一维度指标预测价值较为有限,难以满足临床需求[3]。口服葡萄糖耐量试验(Oral glucose tolerance test, OGTT)中血糖水平可直接反映基础糖代谢状态,且与胎盘功能及胎儿发育密切相关[4]。而胎儿脐动脉血流参数是评估胎盘循环及胎儿宫内供血供氧状态的重要指标[5]。胎儿生长指标则可直接反映胎儿宫内生长发育情况,其中部分指标异常增大与巨大胎儿发生密切相关[6]。孕妇血清指标、胎儿脐动脉血流参数、胎儿生长指标这3类指标分别从母体糖代谢、胎盘循环和胎儿生长3个维度反映GDM的病理影响。基于此,本研究采用回顾性研究方法分析血清指标、胎儿脐动脉血流参数及超声生长指标与妊娠结局的关系,筛选GDM孕妇发生不良妊娠结局的独立影响因素并构建列线图预测模型,旨在为临床GDM孕妇的预后评估及干预提供理论依据。

1　资料与方法

1.1　临床资料　回顾性分析2022年6月至2025年6月在广东祈福医院产检并分娩的300例GDM孕妇的临床资料,并根据妊娠结局进行分组。根据妊娠结局分为2组:良好组254例,孕期及分娩期无不良妊娠结局,母婴均健康出院;不良组46例,孕期及分娩期发生至少1项不良妊娠结局,包括妊娠期高血压、早产(孕周<37 w)、胎儿窘迫、巨大儿(出生体重≥4 000 g)、羊水过多、产后出血(出血量≥500 mL)。本研究符合医学伦理相关要求,经广东祈福医院医学伦理委员会审核批准(编号:2/2022-30)。

纳入标准:(1)符合《妊娠合并糖尿病诊治指南(2014)》[7]中GDM的诊断标准:妊娠24 w后,空腹血糖≥5.1 mmol/L,或OGTT 1 h血糖≥10.0 mmol/L或2 h血糖≥8.5 mmol/L,满足其中1项即可诊断;(2)临床资料完整;(3)年龄20~44岁;(4)在本院规律产检并于孕28 w后在本院分娩;(5)单胎妊娠,无多胎、异位妊娠等情况。

排除标准:(1)孕前已确诊糖尿病,或合并甲状腺功能异常、多囊卵巢综合征等其他内分泌代谢疾病;(2)合并严重感染性疾病或凝血功能障碍;(3)合并胎盘早剥、前置胎盘等情况;(4)合并精神疾病或严重脏器功能障碍;(5)合并认知功能障碍。

1.2　资料收集　收集孕妇临床资料:年龄、孕前体重指数(Body mass index, BMI)、确诊孕周、产次类型(初产妇、经产妇)、胰岛素治疗(有、无)、空腹血糖、OGTT 1 h、OGTT 2 h、糖化血红蛋白(Glycated hemoglobin, HbA1c)、甘油三酯(Triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(High-density lipoprotein cholesterol, HDL)、低密度脂蛋白胆固醇(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL)、总胆固醇(Total cholesterol, TC)、胎儿脐动脉阻力指数(Resistance index, RI)、搏动指数(Pulsatility index, PI)、收缩期与舒张期血流速度比值(Systolic/diastolic ratio, S/D)、股骨长(Femur length, FL)、腹围(Abdominal circumference, AC)、头围(Head circumference, HC)、双顶径(Biparietal diameter,

BPD)、估计胎儿体重(Estimated fetal weight,EFW)。

1.3 统计学处理 采用R 4.5.1软件进行统计分析,符合正态分布且方差齐性的计量资料以$\bar{x}\pm s$表示,组间比较采用独立样本t检验;计数资料以n(%)表示,组间比较采用χ^2检验。不符合正态分布的计量资料以$M(P_{25},P_{75})$表示,组间比较采用Mann-Whitney U检验。以GDM孕妇妊娠预后情况为因变量(良好=0,不良=1),将单因素分析中差异有统计学意义(P<0.05)的指标纳入多因素Logistic回归模型,计算比值比(Odds ratio,OR)值及其95%置信区间(Calculate odds ratio and its 95% confidence interval,95% CI)。基于多因素Logistic回归分析结果构建列线图预测模型,通过受试者工作特征曲线(Receiver operating characteristic curve,ROC)评价各独立影响因素单独及联合预测GDM孕妇发生不良妊娠结局的效能。采用Hosmer-Lemeshow拟合优度检验及校准曲线评价模型预测概率与实际观察概率之间的一致性;采用Bootstrap法(重复抽样1 000次)对列线图模型进行内部验证,并计算校正前后C指数以评估模型的区分度和稳定性。检验水准α=0.05。

2 结果

2.1 2组临床资料比较 不良组空腹血糖、S/D、PI、AC及EFW高于良好组,差异有统计学意义(P<0.05),见表1。

表1 2组临床资料比较

临床指标	良好组(n=254)	不良组(n=46)	$\chi^2/t/Z$	P
年龄(岁,$\bar{x}\pm s$)	32.16±4.45	32.89±4.30	−1.257	0.209
孕前BMI(kg/m^2,$\bar{x}\pm s$)	22.87±1.15	23.15±1.24	1.500	0.135
确诊孕周[w,$M(P_{25},P_{75})$]	25.00(24.00,26.00)	25.00(24.00,26.00)	1.527	0.127
产次类型[n(%)]			0.413	0.521
初产妇	183(72.05)	31(67.39)		
经产妇	71(27.95)	15(32.61)		
胰岛素治疗[n(%)]			0.856	0.355
无	193(75.98)	32(69.57)		
有	61(24.02)	14(30.43)		
空腹血糖(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	5.15±0.72	5.82±0.85	5.640	<0.001
OGTT 1 h(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	9.86±1.08	10.15±1.16	1.658	0.098
OGTT 2 h(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	8.21±1.85	8.35±1.72	0.482	0.630
HbA1c(%,$\bar{x}\pm s$)	5.42±0.35	5.51±0.38	1.588	0.113
TG(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	2.15±0.52	2.23±0.55	0.965	0.335
HDL(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	1.25±0.21	1.22±0.23	−0.880	0.380
LDL(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	2.85±0.45	2.92±0.48	0.950	0.343
TC(mmol/L,$\bar{x}\pm s$)	5.12±0.65	5.21±0.68	0.857	0.392
RI[$M(P_{25},P_{75})$]	0.68(0.53,0.80)	0.78(0.52,0.85)	−1.554	0.120
S/D($\bar{x}\pm s$)	2.25±0.62	2.64±0.68	3.866	<0.001
PI[$M(P_{25},P_{75})$]	0.89(0.66,1.11)	1.06(0.78,1.37)	−2.837	0.005
FL[cm,$M(P_{25},P_{75})$]	6.90(6.60,7.20)	7.00(6.70,7.30)	−1.056	0.291
AC(cm,$\bar{x}\pm s$)	31.65±1.85	33.23±1.92	5.304	<0.001
BPD[cm,$M(P_{25},P_{75})$]	8.50(8.00,9.30)	8.85(8.20,9.60)	−1.701	0.089
HC[cm,$M(P_{25},P_{75})$]	33.20(32.60,33.70)	33.30(32.80,33.90)	−1.377	0.168
EFW[g,$M(P_{25},P_{75})$]	3 301.00(3 124.00,3 439.00)	3 527.50(3 252.00,3 689.00)	−4.556	<0.001

注:BMI:体重指数;OGTT 1 h:口服葡萄糖耐量试验1 h血糖;OGTT 2 h:口服葡萄糖耐量试验2 h血糖;HbA1c:糖化血红蛋白;TG:甘油三酯;HDL:高密度脂蛋白胆固醇;LDL:低密度脂蛋白胆固醇;TC:总胆固醇;RI:胎儿脐动脉阻力指数;S/D:胎儿脐动脉收缩期与舒张期血流速度比值;PI:胎儿脐动脉搏动指数;FL:股骨长;AC:腹围;BPD:双顶径;HC:头围;EFW:估计胎儿体重。

2.2　影响GDM孕妇妊娠预后不良的相关因素分析　将年龄、孕前BMI及产次类型等潜在混杂因素，以及单因素分析中差异有统计学意义（$P<0.05$）的指标纳入多因素Logistic回归分析。结果显示，年龄、孕前BMI及产次类型均不是GDM孕妇发生不良妊娠结局的独立影响因素。空腹血糖、PI、S/D、AC及EFW均为GDM孕妇发生不良妊娠结局的独立影响因素，见表2。

表2　影响GDM孕妇妊娠预后不良的多因素Logistic回归分析

变量	β	*S.E*	*Z*	*OR*(95%*CI*)	*P*
年龄	0.014	0.045	0.305	1.01(0.93,1.11)	0.761
孕前BMI	0.053	0.164	0.322	1.05(0.76,1.45)	0.747
产次类型	0.461	0.423	1.089	1.59(0.69,3.63)	0.276
空腹血糖	0.983	0.256	3.846	2.67(1.62,4.41)	<0.001
S/D	0.91	0.305	2.98	2.48(1.37,4.52)	0.003
PI	1.885	0.658	2.862	6.58(1.81,23.93)	0.004
AC	0.464	0.111	4.191	1.59(1.28,1.98)	<0.001
EFW	0.235	0.074	3.171	1.26(1.09,1.46)	0.002

注：BMI：体重指数；S/D：胎儿脐动脉收缩期与舒张期血流速度比值；PI：胎儿脐动脉搏动指数；AC：腹围；EFW：估计胎儿体重。

2.3　列线图模型建立　基于多因素Logistic回归分析结果，将空腹血糖、S/D、PI、AC及EFW用于构建风险预测模型，结果见图1。

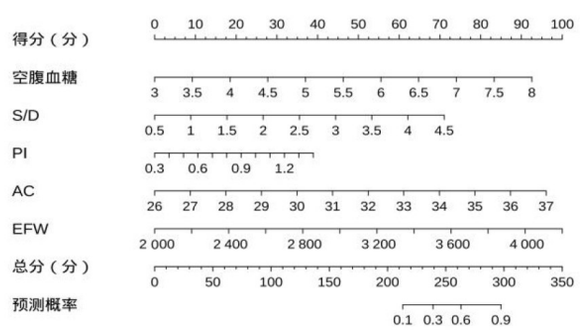

图1　GDM孕妇妊娠预后不良预测模型的列线图

2.4　ROC曲线评价模型的预测效能　通过绘制ROC曲线进行验证发现，空腹血糖、S/D、PI、AC及EFW联合预测GDM孕妇妊娠预后不良的AUC提高至0.875（95%*CI*：0.821～0.929），见图2。

2.5　GDM孕妇妊娠预后不良预测模型的内部验证　校准曲线结果显示，本研究模型的原始C指数为0.875，经Bootstrap内部验证后校正C指数为0.856，两者差值为0.019，模型预测概率与实际观察概率具有较好的一致性，见图3。

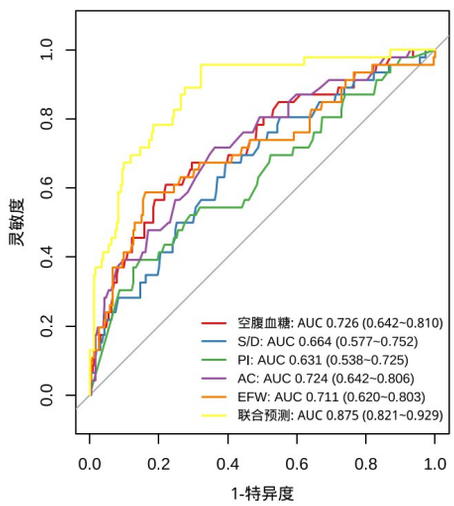

图2　各指标单独及联合预测GDM孕妇发生不良妊娠结局的ROC曲线

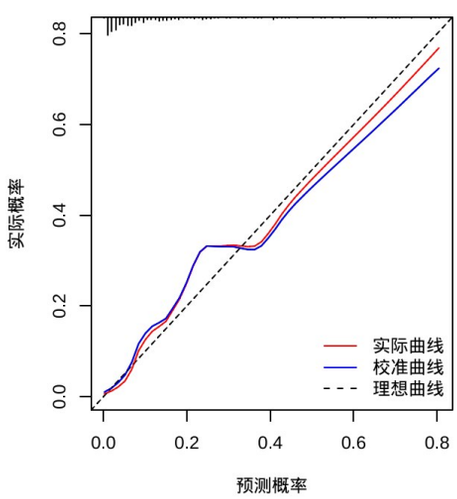

图3　GDM孕妇妊娠预后不良预测模型的校准曲线

3　讨论

既往研究表明，不同地区和人群的患病率差异显著，通常在1%～15%之间，具体取决于诊断标准、筛查政策及人群特征[8]。若孕妇血糖控制不佳，可显著增加巨大胎儿等不良结局风险，严重威胁母婴健康[9]。因此，尽早识别GDM孕妇中发生不良妊娠结局的高危人群至关重要。

本研究中，不良组空腹血糖、S/D及PI高于良好组，差异有统计学意义（$P<0.05$）；多因素Logistic回归分析进一步证实，上述指标是GDM孕妇发生不良妊娠结局的独立危险因素。正常妊娠状态下，母体胰岛素敏感性随孕周生理性下降，Krystynik O等[10]研究表明，GDM孕妇胰岛素分泌不足或胰岛素抵抗加剧，会导致空腹血糖无法有效调控。持续高血糖

可直接损伤母体血管内皮功能，引发氧化应激反应，并促使炎症介质的释放，削弱血管内皮屏障的功能，进一步抑制胎盘血管内皮细胞的增殖、迁移及管腔形成，破坏胎盘血管生成正常进程，导致胎盘灌注不足，影响母胎间营养物质与氧气的交换效率，增加妊娠不良结局发生风险[11]。脐动脉是胎儿获取母体营养与氧气的主要通道，PI可反映血流搏动阻力程度，S/D值则可反映收缩期与舒张期血流速度差异。脐动脉PI及S/D值异常升高预测GDM孕妇发生不良妊娠结局的机制，可能主要与胎盘循环功能障碍所致的胎儿宫内血流动力学异常有关[12]。GDM孕妇长期处于高血糖状态，易诱发氧化应激与血管内皮损伤，导致胎盘绒毛结构异常，表现为绒毛纤维化、绒毛间隙狭窄及绒毛血管减少，从而增加胎盘血管阻力，减慢脐动脉血流速度，最终导致PI及S/D值升高[13]。当胎盘血管阻力持续增高，胎儿宫内血氧供应不足时，可触发胎儿血流重新分布机制，优先保障大脑、心脏等重要脏器血供，而减少外周脏器血供。长期如此，可增加不良妊娠结局的发生风险。

本研究结果显示，不良组AC及EFW高于良好组（$P<0.05$），且为GDM孕妇妊娠预后不良的危险因素。Takahashi Y等[14]研究显示，AC能够反映胎儿腹部脂肪堆积、内脏器官发育及营养储备状况，EFW可直接体现胎儿整体生长状况，两者升高本质上是GDM所致胎儿宫内过度生长的直接表现。GDM孕妇存在持续高血糖状态，过量葡萄糖可通过胎盘屏障进入胎儿体内，刺激胎儿胰岛β细胞大量分泌胰岛素，而胰岛素作为强效促生长激素，可促进胎儿体内脂肪细胞增殖、脂肪合成及糖原沉积，易促使胎儿AC升高[15]。同时，胰岛素还可促进胎儿蛋白质合成、骨骼发育，加速胎儿整体生长速率，最终导致EFW升高，形成母体高血糖-胎儿高胰岛素血症-胎儿过度生长的核心病理链条。AC及EFW升高提示胎儿存在过度生长，可能会影响母胎双方生理状态。当胎儿出现巨大胎儿症状，其躯体发育与母体产道之间的适应性下降；出生后，由于胎儿期高胰岛素血症的持续影响，可能还面临更多不良妊娠结局风险[16]。

现有GDM不良妊娠结局预测模型多基于单一维度指标，如母体临床特征、血清生物标志物或单项超声指标，预测维度单一，如兰雪丽等[17]基于孕妇一般人口学特征及疾病特征构建预测模型的AUC值为0.829，低于本研究预测模型（AUC=0.875）。本研究整合母体代谢（空腹血糖）、胎盘循环（PI、S/D）、胎儿生长（AC、EFW）3维度指标构建联合模型，AUC达0.875，兼顾病理机制完整性与检测便捷性，弥补了单一指标预测的不足，更贴合临床实际筛查需求。

综上所述，影响GDM孕妇发生不良妊娠结局的独立危险因素包括空腹血糖、S/D、PI、AC及EFW，5项指标联合应用对GDM孕妇妊娠预后不良具有较高的预测价值。本文存在一定局限性：本研究为单中心回顾性研究，样本量有限，可能存在选择偏倚，结果的普适性有待多中心、大样本前瞻性研究进一步验证，后续可结合这些因素细化研究。

所有作者均声明不存在利益冲突关系。

参考文献：

[1] 黄榆林. 妊娠期糖尿病患者孕中期至晚期血脂水平与产后糖代谢异常的相关性分析[J]. 解放军医学杂志，2026，51（1）：70-77.

[2] 罗赛赛. 妊娠期糖尿病患者血糖控制不良对母婴妊娠结局的影响[J]. 中国妇幼保健，2021，36（14）：3243-3245.

[3] 蔡红霞，张文，周文娟，等. 多模态超声评估妊娠期糖尿病患者胎盘功能的价值[J]. 生物医学工程与临床，2024，28（6）：787-793.

[4] 陈玲，陈文玮，陈黎，等. 妊娠期糖尿病经产妇口服葡萄糖耐量试验时间-血糖曲线的曲线下面积与妊娠结局的相关性[J]. 实用临床医药杂志，2021，25（19）：98-100.

[5] 史微，李建丽，史莉玲. 微血流灌注成像与脐动脉频谱多普勒预测妊娠期高血压疾病不良妊娠结局的对比研究[J]. 临床超声医学杂志，2022，24（8）：621-624.

[6] 孙凌，范洪霞，孙笑眉，等. 超声血流参数变化联合D-二聚体、25-羟基维生素D水平与胎儿生长指标及出生结局的关系[J]. 中国妇幼健康研究，2024，35（10）：21-26.

[7] 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妊娠合并糖尿病协作组. 妊娠合并糖尿病诊治指南（2014）[J]. 中华围产医学杂志，2014，17（8）：537-545.

[8] Chakraborty A，Yadav S. Prevalence and determinants of gestational diabetes mellitus among pregnant women in India：an analysis of National Family Health Survey Data [J]. BMC Women's Health，2024，24（1）：147.

（下转第857页）