

· 论著 · 系统性疾病 ·

基于血流动力学参数的GDM风险列线图模型构建

李艳艳* 宋圣英 张艳丽
虞城县人民医院产科(河南 虞城 476300)

【摘要】目的 基于孕早期血流动力学参数构建并验证妊娠期糖尿病(GDM)风险预测模型。**方法** 回顾性纳入2022年1月至2024年6月建册并完成妊娠结局的孕妇400例,依据孕24~28周口服葡萄糖耐量试验(OGTT)结果分为GDM组和非GDM组。收集孕前体质指数(BMI)、糖尿病家族史、激素用药史、空腹血糖(FPG)、白细胞计数(WBC)、全血黏度(WBV)、血浆黏度(PV)及红细胞变形指数(DI)等资料。单因素与多因素筛选独立影响因素并建立风险预测模型。**结果** 共纳入GDM组89例(22.25%)。孕前BMI $\geq 25\text{kg/m}^2$ 、糖尿病家族史、激素用药史、FPG、WBC、WBV升高及DI降低为GDM独立危险因素($P<0.05$)。模型AUC为0.895(95%CI: 0.852~0.931),校准良好。**结论** 孕早期血流动力学与代谢指标联合可有效预测GDM风险,模型具有良好应用前景。

【关键词】 妊娠期糖尿病;血流动力学;全血黏度;红细胞变形指数;空腹血糖

【中图分类号】 R587.1

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2026.7.057

Construction of a GDM Risk Nomogram Model Based on Hemodynamic Parameters

LI Yan-yan*, SONG Sheng-ying, ZHANG Yan-li.

Department of Obstetrics, The People's Hospital of Yucheng County, Yucheng 476300, Henan Province, China

Abstract: Objective To construct and validate a risk prediction model for gestational diabetes mellitus (GDM) based on hemodynamic parameters in early pregnancy. **Methods** A total of 400 pregnant women who established prenatal records and completed pregnancy outcomes from January 2022 to June 2024 were retrospectively included. According to the results of a 75 g oral glucose tolerance test at 24~28 weeks of gestation, participants were divided into a GDM group and a non-GDM group. Data collected included pre-pregnancy BMI, family history of diabetes, history of hormonal medication, fasting plasma glucose (FPG), white blood cell count (WBC), whole blood viscosity (WBV), plasma viscosity (PV), and red blood cell deformation index (DI). Univariate and multivariate analyses were performed to identify independent predictors, and a risk prediction model was established. **Results** A total of 89 patients (22.25%) were diagnosed with GDM. Pre-pregnancy BMI $\geq 25\text{ kg/m}^2$, family history of diabetes, hormonal medication history, elevated FPG, WBC, WBV, and reduced DI were independent risk factors for GDM ($P<0.05$). The model demonstrated an AUC of 0.895 (95% CI: 0.852~0.931) with good calibration. **Conclusion** Hemodynamic and metabolic indicators in early pregnancy can effectively predict GDM risk, and the model shows promising clinical application value.

Keywords: Gestational Diabetes Mellitus; Hemodynamics; Whole Blood Viscosity; Red Blood Cell Deformation Index; Fasting Plasma Glucose

妊娠期糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)是孕期常见的代谢异常,指孕前糖代谢正常而妊娠后首次出现的糖耐量受损。随着育龄妇女肥胖率上升、妊娠年龄推迟及生活方式改变,GDM发病率逐年增高,我国总体约为15%~20%,并已成为影响母婴健康的重要问题^[1]。GDM可增加妊娠期高血压、巨大儿、羊水过多和剖宫产等并发症风险,并提高产后发生2型糖尿病、代谢综合征及心血管疾病的概率,带来持续性的母婴不良影响。

目前临床诊断主要依赖孕中期(24~28周)的75g口服葡萄糖耐量试验(75-g oral glucose tolerance test, OGTT),但多数患者在此阶段已进入代谢异常期,早期识别不足,干预滞后^[2]。近年来,血液流变学在妊娠代谢性疾病研究中获得关注。妊娠期血液黏滞性升高可能导致胎盘微循环灌注不足,全血黏度(whole blood viscosity, WBV)、血浆黏度(plasma viscosity, PV)及红细胞变形指数(deformability index, DI)等指标可反映血流动力学状况。既往研究^[3]提示,GDM孕妇

多表现为WBV升高及DI降低,但相关研究多集中于单指标分析,缺乏整合血流动力学与代谢指标的系统预测模型。

因此,本研究拟基于孕早期血流动力学参数,建立并验证GDM风险预测模型,为孕早期高危人群识别提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年1月至2024年6月在虞城县人民医院产科建册并完成妊娠结局的孕妇400例为研究对象。所有病例资料均来源于电子病历系统及实验室数据库。根据孕中期(24~28周)行75 g口服OGTT结果,将受试者分为GDM组与非GDM组。

纳入标准:单胎妊娠;孕早期(11~14周)完成空腹血糖及血液流变学检测;孕24~28周完成OGTT并明确诊断;临床及实验室资料完整。排除标准:妊娠前已确诊糖尿病或其他代谢性疾病;合并甲状腺功能异常、严重肝肾功能不全、血液系统疾病或活动性感染者;近3个月内有输血史或使用影响血液流变学的药物(如抗凝剂、促红素、降脂药等);多胎妊娠、流产

【第一作者】李艳艳,女,主治医师,主要研究方向:产科方向。E-mail: 15136606101@163.com

【通讯作者】李艳艳

或妊娠早期终止者；资料缺失或检测不全者。

1.2 方法

1.2.1 收集资料 基于医院信息管理系统与实验室检测平台，收集所有纳入孕妇的临床与检测资料，内容包括：(1)人口学特征：记录孕妇年龄、身高、孕次、产次及职业类别(企事业单位、工人、个体、无业、其他)。(2)一般资料：孕前体质指数(body mass index, BMI)按中国成人标准分层：<18.5kg/m²为偏低，18.5~24.9kg/m²为正常，25.0~29.9kg/m²为超重，≥30.0kg/m²为肥胖；同时收集吸烟史(含被动吸烟)、饮酒史、妊娠前生殖道炎症史、用药史(包括激素、维生素及钙、镁、铁制剂等)、糖尿病及高血压家族史。(3)实验室检测指标：孕早期(11~14周)空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、白细胞计数(white blood cell count, WBC)。(4)血液流变学资料：WBV、PV、DI。

1.2.2 分组方式 根据孕24~28周75 g OGTT检测结果分组。符合国际糖尿病与妊娠研究组(international association of diabetes and pregnancy study groups, IADPSG)标准中任一项指标的孕妇诊断为GDM组(空腹血糖≥5.1mmol/L、1h血糖≥10.0mmol/L、2 h血糖≥8.5mmol/L)，其余孕妇为非GDM组。

1.2.3 实验室指标 孕早期(11~14周)清晨空腹采集受试者静脉血5mL，其中3mL用于生化及血常规检测，2mL用于血液流变学测定。

(1)生化与血常规检测：FPG采用葡萄糖氧化酶法，使用贝克曼库尔特(Beckman Coulter)AU5800全自动生化分析仪(美国贝克曼公司)；WBC采用迈瑞(Mindray)BC-6900全自动血液细胞分析仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司)。所有检测均严格执行日内、日间质控，试剂与校准品由仪器原厂配套提供。

(2)血液流变学检测：血液流变学检测采用威尔德(Wondfo)LG-R-80A型全自动血液流变仪(广州万孚生物技术股份有限公司)，在37℃恒温条件下进行测定。检测指标包括：WBV：在低切变率(10/s)下测量；PV：通过等离子分离后测定；DI：由仪器自动计算，反映红细胞在微循环中的变形能力。

检测均由具有高级职称的检验技师操作完成，所有样本于采血后2h内完成检测，检测环境温度保持在(25±2)℃。

1.3 观察指标

1.3.1 一般人口学及临床资料 比较非GDM组与GDM组的一般资料，包括孕妇年龄、身高、孕次、产次、职业类型等。

1.3.2 实验室指标与血液流变学指标 比较非GDM组与GDM组的孕早期FPG、WBC、WBV、PV、DI。

1.4 统计学方法 本研究采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析。计数资料以(n(%))表示，组间比较采用χ²检验；计量资料经Shapiro-Wilk法检验正态性后，以($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用独立样本t检验。检验水准设为α=0.05，

P<0.05表示差异具有统计学意义。以孕妇是否发生GDM为因变量(0=非GDM，1=GDM)，将单因素分析中差异具有统计学意义的变量纳入多因素Logistic回归分析，筛选GDM发生的独立影响因素，并计算比值比(odds ratio, OR)及其95%置信区间(95% confidence interval, CI)。根据回归分析结果，绘制列线图模型，以直观展示主要危险因素对GDM发生风险的预测贡献。

2 结果

2.1 单因素分析 本研究共纳入孕妇400例，其中GDM组89例(22.25%)，非GDM组311例(77.75%)。两组孕妇在年龄、孕前BMI、被动吸烟、妊娠前生殖道炎症史、激素用药史及糖尿病家族史、FPG、WBC、WBV、PV、DI方面差异有统计学意义(P<0.05)。见表1。

2.2 多因素Logistic回归分析结果 Logistic回归分析，孕前BMI≥25kg/m²、糖尿病家族史、激素用药史、FPG升高、WBC升高、WBV升高及DI降低为GDM发生的独立危险因素(P<0.05)。见表2。

2.3 列线图模型建立 根据多因素Logistic回归分析结果，将

表1 2组临床资料、实验室指标对比(n(%))

临床资料		GDM组(n=89)	非GDM组(n=311)
年龄(岁)		30.48±5.11 ^a	27.92±4.02
身高(cm)		160.82±4.23	161.36±4.27
孕次(次)		1.96±0.84	1.81±0.72
产次(次)		0.94±0.61	0.88±0.54
职业	企事业单位	18(20.22)	65(20.90)
	工人	23(25.84)	73(23.47)
	个体	28(31.46)	79(25.40)
	无业/其他	20(22.48)	94(30.23)
孕前BMI(kg/m ²)	<18.5	0 ^a	2(0.64)
	18.5~24.9	37(41.57)	191(61.41)
	25.0~29.9	28(31.46)	78(25.08)
	≥30.0	24(26.97)	40(12.86)
被动吸烟		32(35.96) ^a	65(20.90)
饮酒史		21(23.60)	72(23.15)
妊娠前生殖道炎症		27(30.34) ^a	49(15.76)
激素用药史		14(15.73) ^a	13(4.18)
维生素/矿物质用药		5(5.62)	16(5.14)
糖尿病家族史		15(16.85) ^a	19(6.11)
高血压家族史		17(19.10)	75(24.12)
FPG(mmol/L)		5.08±0.49 ^a	4.56±0.39
WBC(×10 ⁹ /L)		8.74±1.96 ^a	7.62±1.58
WBV(mPa·s)		5.54±0.41 ^a	5.18±0.37
PV(mPa·s)		1.45±0.12 ^a	1.37±0.11
DI		0.68±0.08 ^a	0.74±0.07

注:与非GDM组相比，^aP<0.05。

孕前BMI ≥ 25 kg/m²、糖尿病家族史、激素用药史、FPG、WBC、WBV及DI 7项独立影响因素纳入列线图模型。采用回归系数作为加权依据,构建可视化风险预测工具。其中,连续变量(FPG、WBC、WBV、DI)按照其取值范围绘制相应刻度轴,变量数值越高,其对应的积分越大;二分类变量(孕前BMI ≥ 25 kg/m²、糖尿病家族史、激素用药史)按“否/是”分别给予不同分值。将各预测因子对应的分值累加可得到个体的总分,并在列线图最下方的风险轴上转换为妊娠期糖尿病发生

概率,实现孕早期个体化风险评估。见图1。

2.4 模型效能评估 模型的ROC曲线,见图2。列线图模型预测妊娠期糖尿病的AUC为0.895,其95%CI: 0.852~0.931。模型的预测概率曲线与理想参考线高度接近,Bias-corrected曲线与实际发生率拟合良好,提示该列线图模型具有较好的校准度,且平均绝对误差为0.022,进一步支持模型的稳定性与可靠性,见图3。

表2 妊娠期糖尿病的多因素Logistic回归分析结果(n(%))

变量	beta	SE	Wald- χ^2	P	OR	OR下限	OR上限
年龄(岁)	0.039	0.025	2.434	0.119	1.04	0.99	1.093
孕前BMI ≥ 25 kg/m ²	0.967	0.293	10.867	0.001	2.63	1.48	4.67
被动吸烟	0.285	0.272	1.097	0.295	1.33	0.78	2.27
妊娠前生殖道炎症史	0.315	0.274	1.316	0.251	1.37	0.8	2.35
激素用药史	0.747	0.351	4.519	0.034	2.11	1.06	4.20
糖尿病家族史	0.811	0.347	5.465	0.019	2.25	1.14	4.44
FPG	1.172	0.293	16.049	0.000	3.23	1.82	5.73
WBC	0.239	0.092	6.718	0.010	1.27	1.06	1.52
WBV	0.824	0.279	8.736	0.003	2.28	1.32	3.94
PV	0.365	0.294	1.543	0.214	1.44	0.81	2.56
DI	0.642	0.298	4.647	0.031	1.9	1.06	3.41

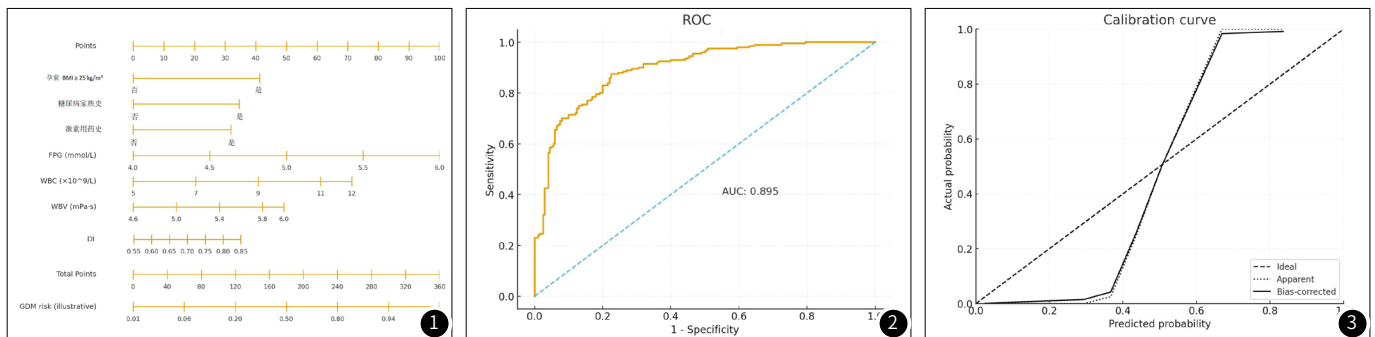


图1 基于血流动力学参数构建的妊娠期糖尿病风险列线图。图2 列线图模型预测妊娠期糖尿病的ROC曲线。图3 列线图模型的校准曲线。

3 讨论

GDM不仅显著增加妊娠期高血压、早产、剖宫产等围产期不良结局的发生风险,还可能导致巨大儿、低血糖等新生儿并发症,并使母体产后罹患2型糖尿病、代谢综合征及心血管疾病的风险持续升高,对母婴远期健康造成影响。因此,早期识别GDM十分重要。

近年来研究提示,GDM的发生不仅来源于糖代谢异常,还可能伴随血液流变学特性的紊乱,这些改变可影响胎盘微循环灌注与胎儿发育,对妊娠结局造成潜在危害^[4]。WBV、PV、DI能够直接反映血流动力学状态,是反映血液黏稠程度和红细胞微循环通过能力的重要指标。既往研究^[5]表明,GDM孕妇常表现为WBV升高、DI降低,提示血流动力学异常可能是其病

理过程的重要组成部分。本研究基于孕早期可获取的血流动力学与代谢指标,通过多因素Logistic回归分析筛选GDM的独立危险因素,发现孕前BMI ≥ 25 kg/m²、糖尿病家族史、激素用药史、FPG、WBC、WBV升高及DI降低与GDM风险显著相关。其中,WBV与DI与既往文献结果一致,提示血液流变学异常在GDM早期即可能存在^[6]。WBV升高反映血液黏度增加,可由血浆蛋白水平升高、红细胞聚集性增强等因素引起,从而导致微循环阻力增加;而DI降低则提示红细胞变形能力下降,使其在胎盘微血管灌注中的通过能力减弱^[7],可能加重胎盘功能障碍,为GDM的发生与发展提供病理基础。

(下转第 185 页)

- neuropsicológica en niños con discapacidad intelectual [Neuropsychological examination in children with intellectual disabilities] [J]. Rev Neurol, 2021, 73 (2): 66-76.
- [8] 章思佳, 齐诗仪, 龚萌, 等. 基于眼电生物信号调控的经皮穴位电刺激治疗儿童精神发育迟滞: 随机对照试验 [J]. 中国针灸, 2023, 43 (5): 517-521.
- [9] 孔勉, 刘振寰, 黄晨. 中医儿科临床诊疗指南·精神发育迟滞(制订) [J]. 中医儿科杂志, 2016, 12 (2): 7-11.
- [10] 汪辉, 党伟利, 马丙祥, 等. 针刺联合作业疗法干预孤独症谱系障碍社会生活能力的临床研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2024, 39 (5): 669-674.
- [11] 龚耀先, 蔡太生. 中国修订韦氏儿童智力量表手册, 长沙: 湖南地图出版社, 1993. 187-239.
- [12] 律玉强, 宋凤玲, 张开慧, 等. CTCF基因变异所致精神发育迟滞21型2例患儿的临床特征及遗传学分析 [J]. 中华医学遗传学杂志, 2023, 40 (5): 543-546.
- [13] 莫丽华, 龙耀斌, 邓艳媚, 等. 重复经颅磁刺激联合感觉统合训练对精神发育迟滞患儿智商及运动发育的影响 [J]. 广西医学, 2021, 43 (20): 2406-2408, 2414.
- [14] 金炳旭, 钱旭光, 赵勇, 等. 微创埋线治疗儿童精神发育迟滞临床观察 [J]. 上海针灸杂志, 2020, 39 (6): 715-719.
- [15] 彭睿, 毛富强, 彭宗禹, 等. 调序疗法对精神发育迟滞IQ值提高的临床随机双盲对照研究 [J]. 中国妇幼保健, 2019, 34 (8): 1851-1853.
- [16] 王冬. 语言训练联合针刺对精神发育迟滞患儿语言功能的影响 [J]. 新中医, 2019, 51 (3): 226-228.

- [17] Kessi M, Chen B, Peng J, et al. Calcium channelopathies and intellectual disability: a systematic review [J]. Orphanet J Rare Dis, 2021, 16 (1): 219.
- [18] 郭会敏, 冯士梅, 纪伦伦. 附桂化痰益智汤、针灸联合康复训练治疗孤独症患儿的临床研究 [J]. 辽宁中医杂志, 2024, 51 (9): 163-166.
- [19] 孙海燕, 钱敏. 全身麻醉复合经皮穴位电刺激在小儿加速康复外科的应用 [J]. 江苏医药, 2022, 48 (7): 731-734.
- [20] Wojcik MH, Srivastava S, Agrawal PB, et al. Jansen-de vries syndrome: expansion of the PPM1D clinical and phenotypic spectrum in 34 families [J]. Am J Med Genet A, 2023, 191 (7): 1900-1910.
- [21] 王晚霞, 程康, 刘岱, 等. 经皮穴位电刺激对术后早期恢复影响的研究进展 [J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40 (11): 1192-1195.
- [22] 许晶莉, 李程可, 王婧, 等. 常规康复训练联合游戏治疗对孤独症谱系障碍共患注意缺陷多动障碍患儿的作用 [J]. 临床精神医学杂志, 2021, 31 (4): 313-315.
- [23] 贺友, 李少华. 健脑补肾法针刺联合语言康复训练治疗语言迟缓患儿46例 [J]. 环球中医药, 2021, 14 (2): 348-350.

(收稿日期: 2025-06-16)

(校对编辑: 翁佳鸿)

(排版编辑: 刘潍嘉)

(上接第 181 页)

本研究中, 孕前BMI $\geq 25\text{kg/m}^2$ 是GDM最重要的危险因素之一。肥胖本身是一种慢性低度炎症状态, 其可导致血浆纤维蛋白原水平升高、氧化应激增强和红细胞膜功能受损, 从而促使WBV升高并降低DI, 这与相关研究报道的机制一致^[8]。此外, FPG与WBC升高亦为独立危险因素, 说明早期存在的代谢紊乱与炎症反应均可能通过影响血液流变学状态, 加速糖耐量受损的发生。本研究还提示DI降低是预测GDM风险的重要指标之一。DI受红细胞膜结构、细胞内黏度和氧化应激程度影响, 妊娠期的炎症反应和内脏功能障碍均可导致其下降^[9-10]。因此, 将DI纳入预测模型, 可提高早期识别能力。

本研究构建的风险预测模型AUC达0.895, 具有良好的区分度与校准性能, 表明孕早期血流动力学参数与代谢指标联合可有效预测GDM风险。相较传统仅依赖年龄、BMI或家族史的风险识别方式, 本研究将生理、代谢与血流动力学因素融合, 可更全面反映高危人群的早期病理变化, 对临床早期筛查具有重要意义。

综上所述, 孕早期血液流变学参数联合孕前BMI、家族史及代谢相关指标可有效预测GDM发生风险, 基于此构建的列线图风险模型具有较好的预测性能, 可为GDM高危孕妇的早期识别和个体化干预提供参考。

参考文献

- [1] 张月芳, 张玉杰, 曾红艳. 妊娠期糖尿病患者平均血小板体积 (MPV) 和血小板平均分布宽度 (PDW) 与妊娠结局相关 [J]. 华夏医学, 2019, 32 (2): 9-12.
- [2] Jones D, Kyriakidou A, Cooper L, et al. The effect of high-fibre diets on glycaemic control in women with diabetes in pregnancy: A systematic review and meta-analysis [J]. Diabetic Medicine, 2024, 42 (1): e15435.

- [3] 关鑫, 于明珠, 杨丽娟. 膳食纤维摄入联合团体认知行为治疗妊娠期糖尿病的临床效果 [J]. 中华养生保健, 2024, 42 (17): 185-188.
- [4] Jones D, Kyriakidou A, Cooper L, et al. 1225-P: Dietary fiber and glycemic control in women with diabetes in pregnancy—a systematic review and meta-analysis [J]. Diabetes, 2024, 73 (S1): 1.
- [5] M K, Y M. Hemorheological characteristics of gestational diabetes: A possible mechanism of placental hypertrophy [J]. Nihon Sanka Fujinka Gakkai Zasshi, 1987, 39 (4): 712-714.
- [6] Yannan C, Jing S, Dongyao Z, et al. The role of dietary fiber on preventing gestational diabetes mellitus in an at-risk group of high triglyceride-glucose index women: a randomized controlled trial [J]. Endocrine, 2023, 82 (3): 542-549.
- [7] 罗秀芳. 二甲双胍联合膳食纤维饮食干预对妊娠期糖尿病孕妇动态血糖、营养状况和妊娠结局的影响 [J]. 糖尿病新世界, 2023, 26 (17): 83-86.
- [8] Hope O, Ifeanyi EO, N BQA. Investigation of some haematological parameters in pregnant women with gestational diabetes at Federal Medical Center, Owerri, Imo State, Nigeria [J]. Annals of Clinical and Laboratory Research, 2019, 7 (2): 12-15.
- [9] 王明, 孙彩萍, 吴彦玲, 等. 妊娠期糖尿病合并子痫前期患者糖脂代谢指标水平、血液流变学变化与围生结局的相关性 [J]. 检验医学与临床, 2023, 20 (4): 535-538.
- [10] Jihan S, Jinjing W, Wenqing M, et al. Effects of additional dietary fiber supplements on pregnant women with gestational diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies [J]. Nutrients, 2022, 14 (21): 4626-4626.

(收稿日期: 2026-04-29)

(校对编辑: 翁佳鸿)

(排版编辑: 刘潍嘉)