

不同孕期体重增长模式与妊娠糖尿病 发生风险的关联分析

文丽芳¹, 丁洁², 武茜³

1.山西医药学院,山西 汾阳 032200;2.山西医药学院附属第一医院 介入科;

3.山西医药学院附属第一医院妇产科

摘要:目的 探讨不同孕期体重增长模式与妊娠糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)发生风险的关系,识别高风险体重增长特征,为孕期体重管理和 GDM 早期预防提供依据。方法 采用前瞻性队列研究,于 2022 年 1 月—2024 年 12 月在山西医药学院附属第一医院产科纳入完成随访的孕妇 312 例。依据国际医学研究所推荐标准,结合孕前身体质量指数(body mass index, BMI)及孕早、中、晚期体重变化,采用潜在类别增长模型将体重增长轨迹分为平稳适宜型、中度快速型和持续过快型。GDM 诊断依据孕 24~28 周口服葡萄糖耐量试验结果。通过多因素 logistic 回归分析不同体重增长模式与 GDM 的独立关系,并以 Hosmer-Lemeshow 检验及受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评价模型性能。结果 GDM 总体发生率为 22.44%(70/312)。平稳适宜型、中度快速型和持续过快型分别占 55.13%(172/312)、31.09%(97/312)和 13.78%(43/312),GDM 发生率依次为 14.53%(25/172)、29.90%(29/97)和 37.21%(16/43) ($P<0.001$)。多因素分析显示,与平稳适宜型相比,中度快速型 GDM 风险比(OR)为 1.68(95%CI:1.02~2.77, $P=0.041$),持续过快型 OR 为 2.95 (95%CI:1.54~5.64, $P=0.001$)。孕前 BMI (OR=1.10, 95%CI:1.01~1.21)、家族糖尿病史 (OR=2.13, 95%CI:1.13~4.00) 及低体力活动水平 (OR=1.89, 95%CI:1.04~3.44) 亦为独立影响因素 (均 $P<0.05$)。Hosmer-Lemeshow 检验 $P=0.537$, ROC 曲线下面积为 0.781(95%CI:0.726~0.835),敏感度 72.86%,特异度 73.44%。结论 孕期体重增长轨迹表现出的不同模式与 GDM 发生密切相关。关注孕期体重的异常增长态势,对加强孕期代谢健康管理具有一定的提示意义。

关键词:妊娠糖尿病;孕期体重增长;体重增长模式;危险因素;Logistic 回归

中图分类号:R714.25 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2026)13-2398-06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202512073

Association between distinct gestational weight gain patterns and the risk of gestational diabetes mellitus

WEN Li-fang*, DING Jie, WU Qian

*Shanxi Medical College, Fenyang, Shanxi 032200, China

Abstract: Objective To examine the association between different gestational weight gain (GWG) patterns and the risk of gestational diabetes mellitus (GDM), and to identify high-risk weight gain characteristics that may inform GWG management and early prevention of GDM. **Methods** A prospective cohort study was conducted among 312 pregnant women who completed follow-up at the Obstetrics Department of the First Affiliated Hospital of Shanxi Medical College between January 2022 and December 2024. According to the Institute of Medicine (IOM) recommendations, and based on pre-pregnancy body mass index (BMI) and weight changes across the first, second, and third trimesters, latent class growth analysis (LCGA) was used to classify GWG trajectories into three patterns: steady-appropriate, moderately rapid, and persistently rapid. GDM was diagnosed using the results of a 24–28-week oral glucose tolerance test (OGTT). Multivariable logistic regression models were applied to assess the independent associations between GWG patterns and GDM, and model performance was evaluated using the Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test and receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. **Results** The overall incidence of GDM was 22.44% (70/312). Among all participants, 55.13% (172/312) showed a steady-appropriate GWG pattern, 31.09% (97/312) showed a moderately rapid pattern, and 13.78% (43/312) showed a persistently rapid pattern, with corresponding GDM incidences of 14.53% (25/172), 29.90% (29/97), and 37.21% (16/43), respectively ($P<0.001$).

基金项目:山西省高校科技创新计划项目(2022L672)

作者简介:文丽芳(1982—),女,硕士,副教授,研究方向:妇科肿瘤的基础与临床研究

通信作者:文丽芳, E-mail:48183978@qq.com

Multivariable analysis showed that compared with the steady-appropriate pattern, the moderately rapid pattern was associated with an increased risk of GDM ($OR=1.68$, 95% CI : 1.02–2.77, $P=0.041$), and the persistently rapid pattern showed a stronger association ($OR=2.95$, 95% CI : 1.54–5.64, $P=0.001$). Pre-pregnancy BMI ($OR=1.10$, 95% CI : 1.01–1.21), family history of diabetes ($OR=2.13$, 95% CI : 1.13–4.00), and low physical activity level ($OR=1.89$, 95% CI : 1.04–3.44) were also independently associated with GDM (all $P<0.05$). The Hosmer–Lemeshow test indicated good model fit ($P=0.537$). The area under the ROC curve was 0.781 (95% CI : 0.726–0.835), with a sensitivity of 72.86% and a specificity of 73.44%.

Conclusion GWG patterns are closely associated with GDM. Monitoring abnormal weight gain trends during pregnancy may have indicative value for metabolic health management.

Keywords: Gestational diabetes mellitus; Gestational weight gain; Weight gain patterns; Risk factors; Logistic regression

妊娠糖尿病 (gestational diabetes mellitus, GDM) 是孕期常见的糖代谢异常,其特征为妊娠期间首次出现或发现的糖耐量减退^[1]。近年来,随着肥胖率上升、孕妇年龄增长及生活方式转变,GDM 的发病率呈持续上升趋势^[2]。大量证据表明,GDM 不仅增加巨大儿、妊娠期高血压、早产及剖宫产等不良妊娠结局风险,还对母体远期代谢健康造成持续影响^[3]。研究显示,GDM 妇女产后发生 2 型糖尿病和心血管疾病的风险显著升高,其子代亦更易发生肥胖及代谢紊乱^[4]。因此,针对可干预危险因素的早期识别与管理,是孕期健康促进和疾病一级预防的关键环节。

孕期体重增长是反映孕妇代谢适应与胎儿营养供给的重要指标。既往研究多聚焦于孕期总增重与 GDM 风险的总体关联^[5],但不同孕期阶段体重增长速率差异的作用尚未得到充分阐明。体重增长过快可能通过加重胰岛素抵抗、改变脂肪因子水平而增加糖代谢负担,体重增长不足则可能影响胎盘功能及胎儿发育^[6]。尽管国际医学研究所(Institute of Medicine, IOM)提出了孕期体重增长的推荐范围,但其在不同孕前身体质量指数(body mass index, BMI)人群中的适用性及与代谢风险的对应关系仍不明确^[7]。近年来,潜在类别增长模型(latent class growth analysis, LCGA)等统计方法被应用于孕期体重变化的轨迹研究,为揭示孕妇间体重增长模式的异质性提供了新的分析视角^[8]。基于此,本研究采用 LCGA 方法刻画孕期体重增长轨迹,分析不同增长模式与 GDM 发生风险的关联,以期为孕期体重监测、个体化管理及 GDM 早期预防提供数据支持和实践参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为前瞻性队列研究,于 2022 年 1 月—2024 年 12 月在山西医药学院附属第一医院产科连续招募孕妇。本研究样本量依据队列研究两组率的比较进行估算,假设平稳适宜型孕妇 GDM 发生率为 15%,持续过快型孕妇 GDM 发生率约为 35%,设定双侧 $\alpha=0.05$,检验效能 $1-\beta=0.80$,经 PASS 软件计算得出至少需样本量约 260 例;考虑到约 15%的失访率,计划至少纳入 306 例。本研究初始共

招募建立孕期档案的孕妇 385 例。纳入标准为年龄 18~45 岁,单胎妊娠,孕 ≤ 13 周在本院建立孕期建档并计划在本院分娩,孕前无糖尿病史且孕期体重监测资料完整。在随访过程中共排除 73 例,具体包括:多胎妊娠 12 例、既往内分泌疾病(如甲状腺功能异常)或严重肝肾肾功能损害 10 例、孕期体重记录缺失 >1 次者 28 例、以及中途终止妊娠或随访资料不全(失访)者 23 例。所有最终纳入对象均签署知情同意书,实际完成随访并纳入分析者共 312 例。最终样本量(包含 GDM 患者 70 例)满足多因素 logistic 回归分析中事件数与自变量参数个数比例 >10 的统计学经验法则,具备充足的统计学检验效能。本研究经山西医药学院附属第一医院医学伦理委员会审查批准(伦理审查批准号:2025024),所有研究对象均签署知情同意书。

1.2 资料收集与变量定义 资料由统一培训的研究人员根据结构化表格前瞻性收集。人口学与一般情况包括年龄、文化程度、孕前 BMI、家族糖尿病史、吸烟史及孕次、产次等。孕期体重在特定孕周的例行产检时由专职护士按统一流程测量,使用经定期校准的电子体重秤,记录至整数。具体测量时间点设定为:孕早期(孕 12 周建档时)、孕中期[孕 24~28 周进行口服葡萄糖耐量试验(oral glucose tolerance test, OGTT)检查时]及孕晚期(孕 32 周及 36 周常规产检时)。整个孕期每位孕妇共提取 4 次核心体重数据用于后续轨迹分析。孕期体力活动采用国际体力活动问卷(International Physical Activity Questionnaire, IPAQ)评估,按代谢当量(metabolic equivalents, METs)折算后分为低、中、高三个水平。实验室指标主要包括孕 24~28 周 OGTT 结果。GDM 诊断依据国家相关指南:空腹血糖 ≥ 5.1 mmol/L、1 h 血糖 ≥ 10.0 mmol/L 或 2 h 血糖 ≥ 8.5 mmol/L 中任一异常即可确诊。

1.3 孕期体重增长模式分类方法 以孕前体重为基线,计算孕早、中、晚期体重增量,并结合 IOM 推荐标准,按孕前 BMI 分层界定各孕期合理增长区间。基于孕期体重变化序列,采用 LCGA 识别体重增长轨迹。模型估计采用最大似然法,逐步增加潜在类别数,并

综合比较贝叶斯信息准则 (Bayesian information criterion, BIC)、赤池信息准则 (Akaike information criterion, AIC)、熵值 (entropy) 及各类别样本比例, 结合临床可解释性确定最优模型。最终将轨迹划分为平稳适宜型、中度快速型和持续过快型三类, 根据最大后验概率将个体归入相应类别。

1.4 统计学分析 统计分析采用 SPSS 27.0 和 R 4.2.1 软件。计量资料正态分布时以 (均数 $\pm$ 标准差) 表示, 组间比较用 t 检验; 非正态分布以中位数 (四分位间距) 表示, 采用 Mann - Whitney U 检验。计数资料以例数和构成比表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。首先比较不同体重增长模式及 GDM 与非 GDM 组间各变量差异, 将 $P < 0.10$ 的变量纳入多因素 logistic 回归模型。以 GDM 发生与否为因变量, 明确以“不同孕期体重增长模式”为主要暴露因素, 将单因素分析中 $P < 0.10$ 的变量 (孕前 BMI、家族史、体力活动水平等) 作为混杂因素进行模型校正, 计算比值比 (OR) 及其 95% 置信区间。模型拟合优度采用 Hosmer-Lemeshow 检验评估 ($P > 0.05$ 为拟合良好), 预测性能通过受试者工作特征曲线计算曲线下面积、敏感度和特异度。为评估体重增长模式的增量预测

价值, 本研究首先构建了仅包含传统混杂因素 (孕前 BMI、家族糖尿病史、体力活动水平) 的基础模型, 随后在此基础上加入主要暴露因素 (体重增长模式) 构建扩展模型。通过计算连续型净重新分类指数 (net reclassification improvement, NRI) 和综合判别改善指数 (integrated discrimination improvement, IDI), 评价新指标的引入对传统风险预测模型的优化效果。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结 果

2.1 一般特征比较 共纳入孕妇 312 例, 平均年龄 (29.8 ± 3.9) 岁, 孕前 BMI 为 (22.7 ± 3.4) kg/m^2 , GDM 发生率为 22.44% (70 例)。与非 GDM 组相比, GDM 组孕前 BMI 较高 [$(24.1 \pm 3.2) \text{kg/m}^2$ vs. $(22.3 \pm 3.5) \text{kg/m}^2$, $P = 0.002$], 家族糖尿病史比例更高 (27.14% vs. 11.89%, $P = 0.004$)。孕早期体重增长量在 GDM 组明显增加 [$(2.8 \pm 1.2) \text{kg}$ vs. $(1.9 \pm 1.0) \text{kg}$, $P < 0.001$], 孕中期 [$(6.5 \pm 2.1) \text{kg}$ vs. $(5.9 \pm 2.0) \text{kg}$, $P = 0.040$] 及孕晚期 [$(4.3 \pm 1.7) \text{kg}$ vs. $(3.8 \pm 1.5) \text{kg}$, $P = 0.036$] 增重亦略高。GDM 组中体力活动中高水平比例较低 (48.57% vs. 69.07%, $P = 0.006$)。年龄、孕次及受教育程度在两组间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 GDM 组与非 GDM 组孕妇一般特征比较 [$(\bar{x} \pm s)$, $n(\%)$]

Table 1 Comparison of general characteristics of pregnant women between GDM group and non-GDM group [$(\bar{x} \pm s)$, $n(\%)$]

指标	GDM 组 ($n=70$)	非 GDM 组 ($n=242$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁)	29.9 ± 3.8	29.8 ± 4.0	0.16	0.873
孕前 BMI (kg/m^2)	24.1 ± 3.2	22.3 ± 3.5	3.17	0.002
家族糖尿病史	19 (27.14)	29 (11.89)	8.37	0.004
受教育程度 (大专及以上学历)	45 (64.29)	160 (66.12)	0.07	0.784
吸烟史	5 (7.14)	8 (3.31)	—	0.285 ^a
孕次 ≥ 2 次	22 (31.43)	57 (23.55)	1.65	0.199
孕早期体重增长 (kg)	2.8 ± 1.2	1.9 ± 1.0	5.56	< 0.001
孕中期体重增长 (kg)	6.5 ± 2.1	5.9 ± 2.0	2.06	0.040
孕晚期体重增长 (kg)	4.3 ± 1.7	3.8 ± 1.5	2.10	0.036
体力活动中高水平	34 (48.57)	167 (69.07)	7.57	0.006

注: ^a 表示理论频数 < 5 , 采用 Fisher 确切概率法计算 P 值。

2.2 孕期体重增长模式分型结果 LCGA 分析将孕期体重增长轨迹划分为三种模式。平稳适宜型占 55.13% (172 例), 中度快速型占 31.09% (97 例), 持续过快型占 13.78% (43 例)。模型拟合优度指标显示 BIC=1867.4、AIC=1821.6、Entropy=0.812, 分类精度较高。平稳适宜型孕妇在孕早、中、晚期体重依次增加 [(1.8 ± 0.9) 、 (5.6 ± 1.9) 和 $(3.9 \pm 1.4) \text{kg}$], 总体增重 (11.3 ± 2.1) kg ; 中度快速型总体增重 (13.2 ± 2.6) kg , 持续过快型总体增重 (14.1 ± 2.3) kg 。不同模式组间孕前 BMI、家族糖尿病史及体力活动水平差异均有统

计学意义 ($P < 0.05$)。见表 2。

2.3 不同体重增长模式的 GDM 发生率 三种体重增长模式的 GDM 发生率呈递增趋势: 平稳适宜型为 14.53% (25/172), 中度快速型为 29.90% (29/97), 持续过快型为 37.21% (16/43), 组间差异显著 ($\chi^2=14.67$, $P < 0.001$)。趋势性分析显示, 体重增长速度与 GDM 发生率之间存在线性升高关系 ($Z=3.76$, $P < 0.001$), 提示随着体重增长速率升高, GDM 发生比例逐步增加。见表 3。

表 2 孕期体重增长模式分类及轨迹特征 $[n(\%), (\bar{x} \pm s)]$ Table 2 Classification and trajectory characteristics of gestational weight gain patterns $[n(\%), (\bar{x} \pm s)]$

模式类型	例数(%)	孕早期体重 增长(kg)	孕中期体重 增长(kg)	孕晚期体重 增长(kg)	总体增重(kg)	BIC	AIC	Entropy
平稳适宜型	172(55.13)	1.8 ± 0.9	5.6 ± 1.9	3.9 ± 1.4	11.3 ± 2.1	1 867.4	1 821.6	0.812
中度快速型	97(31.09)	2.4 ± 1.0	6.4 ± 1.8	4.4 ± 1.6	13.2 ± 2.6			
持续过快型	43(13.78)	3.1 ± 1.3	7.5 ± 2.2	4.9 ± 1.8	14.1 ± 2.3			

表 3 不同体重增长模式与 GDM 发生率比较

Table 3 Comparison of different weight gain patterns with the incidence of GDM

模式类型	总例数	GDM 例数(%)	χ^2 值	P 值
平稳适宜型	172	25(14.53)		
中度快速型	97	29(29.90)		
持续过快型	43	16(37.21)	14.67	<0.001

2.4 单因素 logistic 回归分析 单因素回归结果显示, 孕前 BMI($\beta=0.116, P=0.005$)、家族糖尿病史($\beta=0.862, P=0.007$)、孕早期体重增长($\beta=0.472, P=0.001$)、体力活动水平($\beta=0.744, P=0.011$)及体重增长模式(持续过快 vs. 平稳; $\beta=1.112, P=0.001$)与 GDM 发生显著相关。年龄、吸烟史及孕次差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 4。

表 4 GDM 发生的单因素 logistic 回归分析

Table 4 Univariable logistic regression analysis of factors associated with the risk of GDM

变量	β	$s_{\bar{x}}$	Wald χ^2 值	OR 值(95%CI)	P 值
年龄	0.021	0.034	0.38	1.02(0.95 ~ 1.09)	0.538
孕前 BMI	0.116	0.041	8.01	1.12(1.04 ~ 1.22)	0.005
家族糖尿病史	0.862	0.318	7.33	2.37(1.29 ~ 4.37)	0.007
吸烟史	0.619	0.482	1.65	1.86(0.73 ~ 4.76)	0.198
孕早期体重增长	0.472	0.137	11.90	1.60(1.23 ~ 2.10)	0.001
孕期体力活动(低 vs. 中高)	0.744	0.292	6.49	2.10(1.19 ~ 3.68)	0.011
体重增长模式(持续过快 vs. 平稳)	1.112	0.338	10.83	3.04(1.57 ~ 5.86)	0.001

2.5 多因素 logistic 回归分析 在纳入单因素分析 $P<0.10$ 的变量后建立多因素模型。以不同体重增长模式作为主要暴露因素,在校正了孕前 BMI、家族糖尿病史及体力活动水平等潜在混杂因素后,结果显示,持续过快型体重增长($OR=2.95, 95\%CI: 1.54 \sim 5.64, P=0.001$)、中度快速型($OR=1.68, 95\%CI: 1.02 \sim$

$2.77, P=0.041$)、孕前 BMI($OR=1.10, 95\%CI: 1.01 \sim 1.21, P=0.028$)、家族糖尿病史($OR=2.13, 95\%CI: 1.13 \sim 4.00, P=0.019$)及低体力活动水平($OR=1.89, 95\%CI: 1.04 \sim 3.44, P=0.038$)均为独立影响因素。模型拟合良好(Hosmer-Lemeshow $\chi^2=5.32, P=0.537$)。见表 5。

表 5 GDM 发生的多因素 logistic 回归分析

Table 5 Multivariable logistic regression analysis of factors associated with the risk of GDM

变量	β	$s_{\bar{x}}$	Wald χ^2 值	OR 值(95%CI)	P 值
孕前 BMI	0.097	0.044	4.85	1.10(1.01 ~ 1.21)	0.028
家族糖尿病史	0.756	0.322	5.52	2.13(1.13 ~ 4.00)	0.019
孕期体力活动(低 vs. 中高)	0.634	0.306	4.29	1.89(1.04 ~ 3.44)	0.038
中度快速型(vs. 平稳型)	0.520	0.254	4.20	1.68(1.02 ~ 2.77)	0.041
持续过快型(vs. 平稳型)	1.082	0.325	11.09	2.95(1.54 ~ 5.64)	0.001
常数	-3.413	0.782	19.03	—	<0.001

2.6 模型预测性能分析 模型预测能力分析显示, ROC 曲线 AUC 为 0.781(95%CI: 0.726 ~ 0.835), 具有较好的判别效能。在预测概率 0.22 时, 敏感度为 72.86%, 特异度为 73.44%, Youden 指数为 0.463, 表明模型在区分 GDM 与非 GDM 孕妇方面表现较好。见表 6。进一步分析显示, 仅包含孕前 BMI、家族糖尿病史和体力活动水平的基础模型 AUC 为 0.712(95%

CI: 0.651 ~ 0.773)。在引入“体重增长模式”后, 扩展模型不仅 AUC 显著提升($Z=2.41, P=0.016$), 且连续型 NRI 达到 0.465(95%CI: 0.218 ~ 0.712, $P<0.001$), IDI 为 0.068(95%CI: 0.025 ~ 0.111, $P=0.002$)。这表明, 将体重增长模式纳入传统预测模型中, 能显著优化对孕妇 GDM 发病风险的预测和重新分类能力。

表 6 模型拟合与预测性能指标

Table 6 Model fitting and prediction performance indicators	
指标	值
Hosmer-Lemeshow χ^2	5.32
P 值	0.537
AUC(95%CI)	0.781(0.726 ~ 0.835)
最佳界值	0.22
敏感度(%)	72.86
特异度(%)	73.44
Youden 指数	0.463

3 讨 论

在本研究中,GDM 总体发生率为 22.44%,与近年来国内人群研究报道的中高水平接近^[9-11],提示在肥胖患病率上升和生活方式转变背景下,GDM 已成为围产保健领域需重点关注的代谢问题。既往系统综述与大样本研究表明,GDM 不仅与剖宫产、早产、巨大儿及新生儿监护需求增加等不良围产结局稳定相关,还与产后 2 型糖尿病及心血管事件风险显著上升有关,对母体及子代均具有长期健康负担^[12]。本研究所见患病水平及相关风险梯度,与上述证据在总体趋势上基本一致。本研究基于 LCGA 识别出平稳适宜型、中度快速型和持续过快型三种孕期体重增长模式,且 GDM 发生率呈现由 14.53%、29.90%至 37.21%的递增分布,即使在校正孕前 BMI 及其他混杂因素后,中度快速型和持续过快型的 GDM 风险仍分别为平稳适宜型的 1.68 和 2.95 倍。这一结果提示,单纯关注孕期总增重可能不足以全面反映代谢风险,不同体重增长轨迹本身具有独立的流行病学意义。国外基于出生队列的研究亦提示,过度增重型轨迹与 GDM 风险升高相关^[13],而在 GDM 孕妇中,孕中晚期体重快速上升的模式还与小于胎龄儿、早产及妊娠期高血压等多种不良结局共同相关^[14],从侧面支持了本研究“轨迹模式”视角的合理性。

除体重增长模式外,本研究发现孕前 BMI、家族糖尿病史及低体力活动水平均为 GDM 的独立相关因素,其中孕前 BMI 每增加 1 kg/m²,GDM 风险随之上升。既往研究表明,超重和肥胖女性在妊娠期更易出现胰岛素抵抗加重和脂肪因子紊乱,GDM 风险随 BMI 分层呈显著梯度上升。关于体力活动,一系列队列及 meta 分析证据显示,较高水平孕期体力活动可使 GDM 风险降低约 30%~40%,且第一孕期达到最低推荐活动量即可获得一定获益^[15-17]。本研究结果与上述剂量-反应关系方向一致,提示在孕期健康管理中结合体重增长轨迹与体力活动水平,有望更早识别代谢高危人群。生物学层面,既往文献已报道 GDM 孕妇在脂联素、瘦素、chemerin 及炎症因子方面存在

不利改变^[18-19],为体重增长过快与糖代谢异常之间的联系提供了可能机制背景。本研究建立的多因素 logistic 回归模型 Hosmer-Lemeshow 检验 $P=0.537$,AUC 为 0.781,敏感度和特异度均在 70%以上,表明该模型在研究人群中具有较好的区分能力。与国内基于早孕临床指标构建的列线图模型(AUC 约 0.72)及部分机器学习模型(AUC 约 0.80)相比^[20-21],本研究以体重增长轨迹为核心变量,预测效能处于中等偏上水平,提示不同体重增长轨迹与 GDM 患病状态之间存在显著关联。需要强调的是,本研究旨在探索 GDM 人群与非 GDM 人群在整个孕期体重变化模式上的特征差异,受限于评价的时间窗口,其在早期风险预测中的应用价值仍需谨慎解读。

综上,本研究基于前瞻性队列识别出三种孕期体重增长模式,证实中度快速型和持续过快型均与 GDM 的发生具有显著的相关性。然而,本研究存在一定的局限性:一是,本研究构建的体重增长轨迹包含了孕晚期数据,而 GDM 的诊断通常在孕中期(24~28 周),二者在时间序列上存在重合。因此,本研究所得结论仅为相关性关联,不能推断为因果关系,亦暂不能直接用于早期的 GDM 风险预测。二是,本研究为单中心研究、样本量有限,体力活动等信息主要来源于自报,且未纳入客观饮食、饮酒史与体成分指标,残余混杂难以完全排除。今后可在多地区开展前瞻性研究,仅利用孕早期与中期的体重动态变化数据验证并优化综合预测工具,并评估其在降低 GDM 发生率方面的实际效果。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Samarawickrama AL, Elhindi J, Rhou JJY, et al. Association between intensity of physical activity in pregnancy and gestational diabetes in a Multi-Ethnic population: results from the PROMOTE cohort study [J]. *Nutrients*, 2025, 17(22): 3500.
- [2] Yuen L, Hannah W, Hare MJL, et al. Hyperglycaemia in pregnancy: the role of ethnicity and geography in risk and outcomes [J]. *Diabetologia*, 2025, 68(11): 2340-2361.
- [3] Sweeting A, Hannah W, Backman H, et al. Epidemiology and management of gestational diabetes [J]. *Lancet*, 2024, 404(10448): 175-192.
- [4] Yin X, Yang J, Wang DD, et al. Planetary health Diet and risk of cardiometabolic diseases among women with gestational diabetes [J]. *JAMA Netw Open*, 2025, 8(11): e2540170.
- [5] Benhalima K, Minschart C, Geerts I, et al. Reconsideration of lowering gestational weight gain guidelines in pregnant women diagnosed with gestational diabetes: evidence from a Belgian study [J]. *BMC Medicine*, 2025, 23(1): 165.
- [6] Yang A, Wang Y, Liu Y, et al. Impact of interpregnancy weight change on the risk of gestational diabetes mellitus during a second

- Wang AX, Xiao YK, Bi NN, et al. Epidemiological analysis on hepatitis E in Anhui Province from 2013 to 2022[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2024, 28 (6): 646–650, 671.(In Chinese)
- [13] 张维斌. 重庆:建设卫生健康 " 新重庆[J]. 中国卫生, 2024, 10 (2):56–57.
- Zhang WB. Chongqing: Building a "New Chongqing" in health and wellness[J]. China Health, 2024, 10(2): 56–57.(In Chinese)
- [14] 杨连建, 杨长绢, 段清浩. 重庆沙坪坝区 2019–2023 年水痘突破病例的流行特征分析 [J]. 现代预防医学, 2024, 51(20): 3677–3681.
- Yang LJ, Yang CJ, Duan QH. Epidemic characteristics analysis of breakthrough cases of varicella in Shapingba, Chongqing, 2019–2023 [J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51 (20): 3677–3681.(In Chinese)
- [15] 谢聪, 彭雨霜, 黄增辉, 等. 基于湖北省统筹传染病监测预警平台的疫情信息报告质量与效率分析 [J]. 疾病监测, 2025, 40 (1):44–48.
- Xie C, Peng YS, Huang ZH, et al. Analysis on quality and efficiency of epidemic information reporting based on regional infectious disease surveillance and early warning platform in Hubei[J]. Disease Surveillance, 2025, 40(1): 44–48.(In Chinese)
- [16] 马莹, 龚瑞, 李涛, 等. 宁夏 2020–2021 年新型冠状病毒肺炎网络直报质量评价[J]. 中国热带医学, 2023, 23(1):39–43.
- Ma Y, Gong R, Li T, et al. Evaluation on quality of internet-based reporting of COVID-19 in Ningxia, 2020–2021 [J]. China Tropical Medicine, 2023, 23(1): 39–43.(In Chinese)
- [17] 张艺馨, 代炳芹, 曹杰, 等. 基于加权优劣解距离法的 2017–2021 年山东省医疗机构法定传染病报告质量评价[J]. 疾病监测, 2024, 39(6): 738–744.
- Zhang YX, Dai BQ, Cao J, et al. Reporting quality of notifiable infectious diseases in medical institutions in Shandong, 2017–2021, an evaluation based on weighted technique for order preference by similarity to an ideal solution method[J]. Disease Surveillance, 2024, 39(6): 738–744.(In Chinese)
- [18] 宫晨, 唐洁霞, 邓革红, 等. 2021 年广西医疗机构法定传染病报告质量评价及影响因素分析 [J]. 现代预防医学, 2023, 50 (12):2215–2220.
- Gong C, Tang JX, Deng GH, et al. Evaluation and influencing factors of the reporting quality of notifiable communicable diseases in medical institutions in Guangxi, 2021 [J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(12): 2215–2220.(In Chinese)

收稿日期: 2026–01–15

(上接第 2402 页)

- pregnancy in Chinese population: a retrospective cohort study [J]. BMJ Open, 2025, 15(1): e084282.
- [7] Bodnar LM, Johansson K, Himes KP, et al. Gestational weight gain below recommendations and adverse maternal and child health outcomes for pregnancies with overweight or obesity: a United States cohort study [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2024, 120(3): 638–647.
- [8] Huang Y, Ainiwan DLY, Qiu YW, et al. Gestational weight trajectory and early offspring growth differed by gestational diabetes: a population-based cohort study[J]. Nutrition & Diabetes, 2025, 15(1): 10.
- [9] Wu XD, Tiemeier HN, Xu TT. Trends in gestational diabetes prevalence in China from 1990 to 2024: a systematic review and meta-analysis [J]. Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders, 2025, 26(6): 1009–1021.
- [10] Chen B, Jiang R, Pan X, et al. Prevalence and risk factors of gestational diabetes mellitus in Nanning, Guangxi, China: a cross-sectional study [J]. Frontiers in Endocrinology, 2025, 16: 1712920.
- [11] Dong L, Zhong W, Qiao T, et al. Investigation and study on the epidemiology of gestational diabetes mellitus in Guizhou [J]. World Journal of Diabetes, 2025, 16(2): 98438.
- [12] Mahmoud E, Elsayed AM, Elsayed B, et al. Association between gestational diabetes mellitus diagnostic criteria and adverse pregnancy outcomes—a systematic review and meta-analysis of adjusted effect sizes from studies using current diagnostic criteria[J]. BMJ Open, 2024, 14(11): e091258.
- [13] Macdonald SC, Bodnar LM, Himes KP, et al. Patterns of gestational weight gain in early pregnancy and risk of gestational diabetes mellitus[J]. Epidemiology, 2017, 28(3): 419–427.
- [14] Lin L, Huang Y, Chen L, et al. Gestational weight trajectory and risk of adverse pregnancy outcomes among women with gestational diabetes mellitus: a retrospective cohort study [J]. Maternal & Child Nutrition, 2024, 20(3): e13645.
- [15] Xie WT, Zhang LW, Cheng JY, et al. Physical activity during pregnancy and the risk of gestational diabetes mellitus: a systematic review and dose-response meta-analysis [J]. BMC Public Health, 2024, 24(1): 594.
- [16] Takele WW, Vesco KK, Josefson J, et al. Effective interventions in preventing gestational diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis[J]. Communications Medicine, 2024, 4(1): 75.
- [17] Rute-Larrieta C, Mota-Cátedra G, Carmona-Torres JM, et al. Physical activity during pregnancy and risk of gestational diabetes mellitus: a Meta-Review[J]. LIFE-BASEL, 2024, 14(6): 755.
- [18] Kamiński M, Mierzyński R, Poniedziałek-Czajkowska E, et al. Comparative evaluation of adipokine metrics for the diagnosis of gestational diabetes mellitus [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 25(1): 175.
- [19] Hosseini E, Mokhtari Z, Salehi AA, et al. Maternal circulating leptin, tumor necrosis factor- α , and interleukin-6 in association with gestational diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis [J]. Gynecological Endocrinology, 2023, 39(1): 2183049.
- [20] Lyu J, Peng Y, Yang L, et al. Development and validation of a prediction model for gestational diabetes mellitus based on clinical characteristics and laboratory biomarkers among Chinese women[J]. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases, 2025, 35(10): 104065.
- [21] Cubillos G, Monckeberg M, Plaza A, et al. Development of machine learning models to predict gestational diabetes risk in the first half of pregnancy[J]. BMC Pregnancy and Childbirth, 2023, 23(1): 469.

收稿日期: 2025–12–07