

早孕期子宫动脉血流频谱与血清胎盘生长因子对胎儿生长受限的预测价值

涂玉勤¹, 唐磊¹, 樊宇英¹, 肖维雷²

(宜宾市第一人民医院, 1. 超声科; 2. 检验科, 四川 宜宾 644000)

【摘要】目的: 探究早孕期子宫动脉血流频谱[搏动指数(PI)、阻力指数(RI)、收缩期与舒张期流速比值($S/D=PSV/EDV$)值、舒张早期切迹]与血清胎盘生长因子(PLGF)联合对胎儿生长受限(FGR)的预测价值。**方法:** 选取 2024 年 7 月至 2025 年 10 月 227 例规律产检孕妇为研究对象, 根据是否符合 FGR 的相关诊断标准分为 FGR 组($n=39$)和非 FGR 组($n=188$)。比较两组早孕期子宫动脉血流频谱参数(PI、RI、S/D)、舒张早期切迹及血清 PLGF 水平, 采用多变量二分类 Logistic 回归模型筛选 FGR 的独立预测因子, 通过受试者工作特征(ROC)曲线分析量化各变量的预测效能。**结果:** 相较于非 FGR 组, FGR 组孕妇早孕期右侧 PI、左侧 PI、右侧 S/D、左侧 S/D 均较高($P<0.001$), 出现舒张早期切迹的患者占比较大($P=0.003$), 血清 PLGF 水平较低($P=0.011$); FGR 组孕妇早孕期右侧 RI、左侧 RI 均稍高于非 FGR 组($P>0.05$)。右侧 S/D($OR=1.619$)、左侧 S/D($OR=1.411$)、PLGF($OR=0.985$)、双侧舒张早期切迹($OR=0.302$)均是 FGR 发生的独立影响因素。ROC 曲线分析结果显示, 右侧 S/D、左侧 S/D、PLGF、舒张早期切迹单独预测 FGR 的曲线下面积(AUC)分别为 0.874、0.826、0.629、0.643; 四项联合预测的 AUC 为 0.918, 敏感度为 0.872, 特异度为 0.883, 四者联合的预测效能更高。**结论:** 妊娠早期的子宫动脉血流频谱和 PLGF 是预测 FGR 的有效指标, 其中双侧 S/D、PLGF 与舒张早期切迹联合预测价值较高, AUC 达 0.918。

【关键词】 频谱多普勒超声; 胎盘生长因子; 胎儿生长受限; 预测

【中图分类号】 R445.1 **【文献标志码】** A

Predictive value of first-trimester uterine artery Doppler flow spectra and serum placental growth factor for fetal growth restriction

TU Yu-qin¹, TANG Lei¹, FAN Yu-ying¹, XIAO Wei-lei²

(1. Department of Ultrasound; 2. Department of Laboratory Medicine, the First People's Hospital of Yibin, Yibin 644000, Sichuan, China)

【Abstract】Objective: To explore the predictive value for fetal growth restriction (FGR) by combining early-pregnancy uterine artery Doppler indices [pulsatility index (PI), resistance index (RI), systolic-to-diastolic velocity ratio ($S/D=PSV/EDV$), and early diastolic notch] with serum placental growth factor (PLGF) levels. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of pregnant women who received regular prenatal care from July 2024 to October 2025. Based on FGR diagnostic criteria, they were divided into an FGR group ($n=39$) and a non-FGR group ($n=188$). First-trimester uterine artery Doppler parameters (PI, RI, S/D), early diastolic notch presence, and serum PLGF levels were compared between the two groups. Independent predictors of FGR were determined through multivariate binary Logistic regression modeling, whereas the predictive accuracy of single and combined parameters was systematically assessed via ROC curve analysis with AUC quantification, enabling stratification of diagnostic performance. **Results:** Compared with the non-FGR group, pregnant women in the FGR group exhibited higher first-trimester right and left uterine artery PI and S/D values ($P<0.001$), a higher proportion of early diastolic notches ($P=0.003$), and lower serum PLGF levels ($P=0.011$). Although right and left RI values were slightly elevated in the FGR group ($P>0.05$). Multivariate Logistic regression identified right S/D ($OR=1.619$), left S/D ($OR=1.411$), PLGF ($OR=0.985$), and bilateral early diastolic notches ($OR=0.302$) as independent predictors of FGR. ROC curve analysis showed AUC values of 0.874, 0.826, 0.629, and 0.643 for right S/D, left S/D, PLGF, and early diastolic notches, respectively, when used individually. The combined model achieved an AUC of 0.918, with a sensitivity of 0.872 and specificity of 0.883, demonstrating superior predictive performance. **Conclusion:** First-trimester uterine artery Doppler flow

基金项目: 四川省宜宾市卫生健康医学科研项目(2022YW001)

作者简介: 涂玉勤(1985-), 女, 主治医师。E-mail: tutu649384799@163.com

通讯作者: 唐磊。E-mail: 341157824@qq.com

spectra and PLGF serve as effective predictors for FGR. Notably, the combined predictive value of bilateral S/D, PLGF levels, and the presence of early diastolic notches is particularly high, with an AUC reaching 0.918.

【Key words】 Spectral Doppler ultrasound; Placental growth factor; Fetal growth restriction; Prediction

胎儿生长受限(fetal growth restriction, FGR)不仅是导致围产期不良结局的关键因素,还会对新生儿近期预后及远期生长发育产生影响^[1]。鉴于目前尚无针对 FGR 特异度显著且疗效确切的治疗方法,其在妊娠晚期的治疗效果往往不理想,因此挖掘可早期、精准预测 FGR 高危妊娠并实施精准干预具有重大公共卫生意义^[2]。超声多普勒血流检测技术与生物标志物检测,在 FGR 早期筛查领域的临床应用价值在近年研究中得到持续验证。

子宫动脉作为子宫的关键供血通道,在胎儿生长发育阶段发挥不可或缺的作用。因此,子宫动脉搏动指数(pulsatility index, PI)和阻力指数(uterine artery resistance index, RI)等血流频谱参数成为评估子宫血流供应状况的重要指标^[3]。胎盘生长因子(placental growth factor, PLGF)作为血管内皮生长因子家族成员,主要由胎盘合体滋养层细胞分泌,通过激活内皮细胞表面 FLT-1 受体,促进血管内皮细胞增殖、迁移及管腔形成,为胎儿胎盘循环建立及营养物质转运提供基础^[4]。超声指标与血液 PLGF 均能为预测 FGR 提供重要信息,但目前研究多局限于单一指标,且多集中于中晚孕期,此时胎盘病理改变已较显著,临床干预窗口狭窄。鉴于单一指标单独应用均有局限^[5],多指标联合预测可弥补这一不足,故本研究旨在探究早孕期子宫动脉血流频谱与 PLGF 联合对 FGR 的预测价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2024 年 7 月至 2025 年 10 月宜宾市第一人民医院 227 例规律产检孕妇的临床资料。纳入标准:(1)单胎;(2)自然妊娠;(3)资料完整。排除标准:(1)合并子宫畸形、多胎妊娠、恶性肿瘤等;(2)产前筛查提示胎儿染色体异常或结构畸形;(3)发生胎儿宫内死亡等其他不良妊娠结局;(4)孕妇存在药物滥用、酗酒史或精神障碍。本研究通过医院伦理审批,且本研究为回顾性分析,所有信息均经过严格脱敏处理,准许豁免知情同意。

1.2 方法

1.2.1 彩色多普勒超声检查 所有孕妇于妊娠 $10^{+0}\sim 13^{+6}$ 周时,采用 GE Voluson E10 彩色多普勒超声诊断仪,探头频率设定为 2~9 MHz。孕妇取仰卧位,充分暴露下腹部,依次完成常规超声扫查

及子宫动脉血流动力学参数检测。在子宫动脉走行较清晰处(如子宫下段外侧或宫颈-宫体交界处旁)调整探头位置与角度,获取子宫动脉血流频谱。分别测量子宫左侧动脉、右侧动脉的 PI、RI、收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV)、舒张末期流速(end diastolic velocity, EDV),并计算收缩期与舒张期流速比值($S/D=PSV/EDV$)值,分别记录双侧子宫动脉舒张早期切迹情况。

1.2.2 血清 PLGF 检测 所有孕妇于妊娠 $10^{+0}\sim 13^{+6}$ 周时抽取空腹静脉血 5 mL,采用胶体金法检测血清 PLGF 水平。

1.2.3 诊断及分组 符合 FGR 的相关诊断标准^[6]:孕 32 周前若超声估测胎儿体质量(estimated fetal weight, EFW)或腹围低于相应胎龄第三百分位,或检测到脐动脉舒张末期血流缺失,或 EFW 或腹围低于相应胎龄第十百分位且伴有子宫动脉或脐动脉搏动指数高于相应胎龄第九十五百分位,即可定义为 FGR;而在孕 32 周之后,若 EFW 或腹围低于相应胎龄第三百分位,或以下标准(EFW 或腹围低于相应胎龄第十百分位、EFW 或腹围百分位下降超过两个四分位、脑胎盘率低于相应胎龄第五百分位或脐动脉搏动指数高于相应胎龄第九十五百分位)中满足两个,均可诊断 FGR。根据产前超声检测是否符合 FGR 相关诊断标准分为 FGR 组($n=39$)和非 FGR 组($n=188$)。

1.3 统计学分析

本研究采用 SPSS 26.0 进行数据分析。正态分布的计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验;非正态分布的计量资料采用 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,组间比较采用秩和检验;计数资料采取 $[n(\%)]$ 表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验法。基于多因素二分类 Logistic 回归分析确定 FGR 的独立影响因素,绘制受试者工作特征(ROC)曲线并计算曲线下面积(AUC),评估各指标单独及联合检测的预测效能,以 $AUC>0.7$ 作为临床实用性的初步标准。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组孕妇一般资料比较

FGR 组与非 FGR 组在年龄、孕前 BMI 等人口学特征方面比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

表 1 两组孕妇一般资料比较 $[M(P_{25}, P_{75}), \bar{x} \pm s]$

资料	非 FGR 组 ($n=188$)	FGR 组 ($n=39$)	t/Z 值	P 值
年龄(岁)	28.93 $\pm$ 4.10	28.95 $\pm$ 4.53	-0.024	0.981
孕前 BMI(kg/m ²)	22.98 (21.14, 24.51)	22.71 (21.32, 24.55)	-0.268	0.789
检测孕周(周)	12.00 (12.00, 12.00)	12.00 (11.00, 12.00)	-1.936	0.053
孕次(次)	2.00 (1.00, 2.00)	1.00 (1.00, 2.00)	-0.770	0.441
产次(次)	0.00 (0.00, 1.00)	0.00 (0.00, 1.00)	-1.129	0.259

2.2 两组孕妇早孕期子宫动脉血流频谱参数及 PLGF 水平比较

相较于非 FGR 组, FGR 组孕妇早孕期右侧 PI、左侧 PI、右侧 S/D、左侧 S/D 均较高($P<0.001$), 出现舒张早期切迹的患者占比较大($P=0.003$), 血清 PLGF 水平较低($P=0.011$), 差异有统计学意义; FGR 组孕妇早孕期右侧 RI、左侧 RI 均稍高于非 FGR 组($P>0.05$)。见表 2。

表 2 两组孕妇早孕期子宫动脉血流频谱参数及 PLGF 水平比较 $[M(P_{25}, P_{75}), n(\%)]$

指标	非 FGR 组 ($n=188$)	FGR 组 ($n=39$)	Z/χ^2 值	P 值
RI 右侧	0.72 (0.67, 0.80)	0.73 (0.67, 0.85)	-0.464	0.643
RI 左侧	0.73 (0.66, 0.80)	0.75 (0.68, 0.80)	-1.000	0.317
PI 右侧	1.60 (1.30, 2.07)	2.24 (1.88, 2.62)	-5.568	<0.001
PI 左侧	1.65 (1.25, 2.12)	2.40 (1.83, 2.64)	-5.893	<0.001
S/D 右侧	3.70 (2.98, 5.10)	6.94 (5.97, 7.98)	-7.337	<0.001
S/D 左侧	3.76 (2.90, 5.12)	7.29 (5.28, 8.55)	-6.402	<0.001
舒张早期切迹			-	0.003
无	80 (42.55)	9 (23.08)		
左侧	18 (9.57)	5 (12.82)		
右侧	6 (3.19)	7 (17.95)		
双侧	84 (44.68)	18 (46.15)		
PLGF(pg/mL)	98.62 (73.00, 135.75)	81.00 (66.00, 99.00)	-2.536	0.011

“—”采用 Fisher 确切概率法。

2.3 影响 FGR 的多因素 Logistic 回归分析

将是否发生 FGR 作因变量(赋值: 未发生=0, 发生=1), 将右侧 PI(原值输入)、左侧 PI(原值输入)、右侧 S/D(原值输入)、左侧 S/D(原值输入)、PLGF(原值输入)、舒张早期切迹(赋值: 无=0、左侧=1、右侧=2、双侧=3)作自变量, 纳入多因素二分类 Logistic 回归分析, 结果显示: 右侧 S/D($OR=1.619$)、左侧 S/D($OR=1.411$)、PLGF($OR=0.985$)、双侧舒张早期切迹($OR=0.302$)均是 FGR 发生的独立影响因素($P<0.05$)。见表 3。

2.4 早孕期子宫动脉血流频谱参数及 PLGF 水平对 FGR 的预测价值

ROC 曲线分析结果显示, 右侧 S/D、左侧 S/D、PLGF、舒张早期切迹单独预测 FGR 的 AUC 分别为 0.874、0.826、0.629、0.643; 四项联合预测的 AUC 为 0.918, 敏感度为 0.872, 特异度为 0.883, 四项联合的预测效能更高。见图 1 及表 4。

表 3 影响 FGR 的多因素 Logistic 回归分析

指标	β 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR 值	95%CI
常数	-5.49	1.208	20.657	<0.001	—	—
PI 右侧	0.099	0.615	0.026	0.872	1.104	0.331~3.690
PI 左侧	0.589	0.35	2.829	0.093	1.802	0.907~3.578
S/D 右侧	0.482	0.194	6.190	0.013	1.619	1.108~2.367
S/D 左侧	0.345	0.153	5.085	0.024	1.411	1.046~1.904
PLGF(pg/mL)	-0.015	0.006	5.803	0.016	0.985	0.973~0.997
舒张早期切迹(以无为参照)						
左侧	-0.492	0.878	0.314	0.576	0.612	0.109~3.420
右侧	0.961	0.888	1.173	0.279	2.615	0.459~14.898
双侧	-1.198	0.607	3.889	0.049	0.302	0.092~0.993

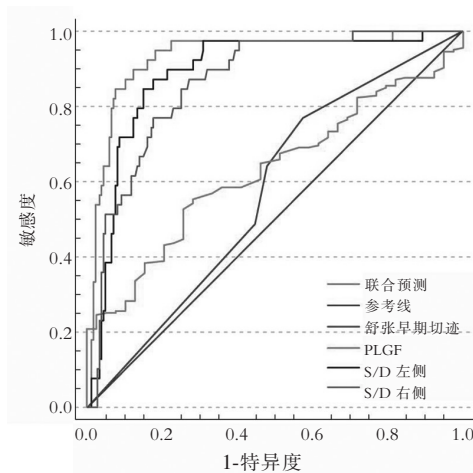


图 1 早孕期子宫动脉血流频谱参数及 PLGF 水平预测 FGR 的 ROC 曲线

表 4 早孕期子宫动脉血流频谱参数及 PLGF 水平对 FGR 的预测价值

指标	AUC 值	95%CI	敏感度(%)	特异度(%)	截断值
联合	0.918	0.867~0.968	0.872	0.883	—
S/D 右侧	0.874	0.815~0.932	0.872	0.809	5.33
S/D 左侧	0.826	0.758~0.894	0.846	0.713	4.7
PLGF(pg/mL)	0.629	0.546~0.713	0.718	0.447	92.5
舒张早期切迹	0.643	0.551~0.736	0.769	0.426	0.139

3 讨论

全球有 80% 的新生儿死亡与低出生体重质量有关。其中, 因早产导致的死亡占三分之二, 剩下的约三分之一由 FGR 造成^[7]。FGR 发病机制复杂, 其病因涉及母体、胎盘及胎儿多个病理层面的交互作用, 早期识别因胎盘功能不全导致的 FGR 对于改善围产期结局非常重要^[8]。彩色多普勒超声是孕期检查常用的评估手段, 具有直观便捷优势。超声指标能直观反映胎儿及胎盘血管情况, 但易受孕妇个体(腹壁脂肪厚度、子宫位置等)、设备性能、医生操作手法等因素影响, 降低评估的准确性^[9]。血液指标能从分子层面深入揭示内在机制, 检测孕妇血液生物标志物, 如激素水平、代谢产物、炎症因子等, 可揭示胎儿生长发育、胎盘功能及母体健康的潜在机制。多项研究证实, PLGF 在鉴别母体灌注异常相

关 FGR 中的诊断准确性优于超声参数(包括子宫动脉、脐动脉、大脑中动脉及腹围测量值),可作为 FGR 的特异性生物标志物^[10-11]。但单一指标难全面评估且个体生物学变异增加诊断不确定性。因此本研究联合早孕期子宫动脉血流频谱与 PLGF,探究联合模型对 FGR 的预测价值。

子宫动脉是子宫的关键供血动脉,在胎儿生长发育这一重要的生理进程中,其作为血液输送与物质交换的枢纽,为胎儿持续生长发育提供坚实的物质保障。子宫动脉血流阻力呈现典型的孕期依赖性下降趋势,表现为 PI 与 RI 随妊娠进展呈进行性降低。研究^[12-13]显示,FGR 孕妇的子宫动脉 PI 随妊娠进展呈现显著增长趋势,在孕早期至孕中期增幅显著。本研究中,相较于非 FGR 组,FGR 组孕妇早孕期右侧 PI、左侧 PI、右侧 S/D、左侧 S/D 均较高,出现舒张早期切迹的患者占比较大,与上述研究趋势一致。FGR 组孕妇早孕期右侧 RI、左侧 RI 稍高于非 FGR 组,但差异无统计学意义。子宫动脉 PI 与 RI 的异常升高反映子宫螺旋动脉重塑障碍,胎盘循环阻力增加、血流灌注量下降,进而引发胎盘绒毛间隙血流减少,造成胎儿氧合及营养物质转运受阻,最终可能诱发 FGR 及神经发育异常^[14-15]。同时,子宫动脉血流频谱出现“舒张早期切迹”是血流阻力增高的典型超声表现,FGR 组出现舒张早期切迹占比较大,进一步佐证了 FGR 孕妇早期就出现了子宫动脉血流动力学异常。而双侧 S/D、双侧舒张早期切迹是 FGR 发生的独立影响因素,则提示病变并非局限于单侧的胎盘供血,而是整体循环存在功能障碍。但双侧舒张早期切迹显示为保护因素($OR=0.302$),可能是因为子宫动脉 PI 等参数与出现双侧舒张早期切迹具有高度相关性,从而干扰了模型的效应估计。

在健康孕妇中,PLGF 水平随着妊娠期推进而增加,在 26~30 周达到峰值,之后逐渐下降直至足月^[16]。本研究中,FGR 组孕妇早孕期血清 PLGF 水平较非 FGR 组低,PLGF 是 FGR 发生的独立影响因素。早孕期是胎盘血管生成和螺旋动脉重铸的关键阶段,血清 PLGF 较低提示滋养层细胞浸润不足、螺旋动脉重塑不完全,可能反应 FGR 孕妇孕早期胎盘形成不良或功能受损,导致胎盘血管生成滞后、血管床发育不良,进而引发胎盘形态构建异常^[17-18];同时,PLGF 低水平也可能意味着胎盘调节血流灌注、物质交换的核心功能已存在早期缺陷,无法为胎儿生长发育提供充足的氧气与营养支持。

本研究 ROC 曲线显示,右侧 S/D、左侧 S/D、

PLGF、舒张早期切迹单独预测 FGR 的 AUC 分别为 0.874、0.826、0.629、0.643;四项联合预测的 AUC 为 0.918,敏感度为 0.872,特异度为 0.883,四者联合的预测效能更高。血清 PLGF 单项预测效能不足,黄丹等^[19]分析了血清可溶性 FMS 样酪氨酸激酶 1(sFlt-1)与 PLGF 比值对 FGR 的预测价值,结果显示其 AUC 为 0.770。这一结果提示,早孕期血清 PLGF 对 FGR 的预测效能存在固有局限。分析原因可能在于,早孕期血清 PLGF 无法涵盖 FGR 相关的关键病理环节,另外,不同病因导致的 FGR 患者,其生物标志物表达谱可能存在差异,以至于难以适配所有病例的需求。He 等^[20]利用 11~13⁺₆ 孕周的子宫动脉 PI 和妊娠相关血浆蛋白 A(PAPP-A)联合预测 FGR 的 AUC 为 0.758,敏感度达 0.816,特异度达 0.758;经进一步调整孕龄因素后,预测值仍保持稳定。这一结果进一步证实了子宫动脉血流频谱参数可作为早孕期 FGR 筛查的核心指标,但联合其他生物标志物能否进一步提升预测效能,仍需更多高质量研究予以验证。

综上,妊娠早期的子宫动脉血流频谱和 PLGF 是预测 FGR 的有效指标,其中双侧 S/D、PLGF 与舒张早期切迹联合预测价值较高,AUC 达 0.918。本研究创新性在于选取早孕期数据并探究其预测价值。不同于现有研究多关注中晚孕期的监测指标,本研究聚焦于疾病发生的早期阶段,旨在通过捕捉早孕期的血流动力学及生化特征,为 FGR 的风险评估提供更具时效性的依据。另外,本研究并未剔除合并妊娠期高血压疾病的患者,在临床实践,妊娠期高血压、子痫前期与 FGR 常同时存在相互影响,保留这部分患者有助于更全面地了解在不同胎盘功能状态下,相关指标对胎儿生长受限的预测价值,为临床提供更具综合性的参考依据。

参考文献

[1] Melamed N, Baschat A, Yinon Y, *et al.* FIGO (International Federation of Gynecology and Obstetrics) initiative on fetal growth: Best practice advice for screening, diagnosis, and management of fetal growth restriction[J]. International Journal of Gynecology & Obstetrics, 2021, 152(S1): 3-57.

[2] 李洲桐, 刘庆澳, 王妍. 胎儿生长受限的诊断与预测: 研究进展与挑战[J]. 实用妇产科杂志, 2025, 41(10): 816-819.

[3] Duragkar S, Mahajan KS, Dewani D. Uterine artery Doppler indices as predictor of adverse fetal outcome in hypertensive disorders of pregnancy: an observational study[J]. Cureus, 2023, 15(11): e49265.

(下转第 751 页)

[11] Paolisso P, Foà A, Bergamaschi L, *et al.* Hyperglycemia, inflammatory response and infarct size in obstructive acute myocardial infarction and MINOCA[J]. Cardiovascular Diabetology, 2021, 20(1): 33.

[12] Ibrahim M, Ahmad J, Abbas M, *et al.* The role of N-terminal pro-B-type natriuretic peptide, troponins, and D-dimer in acute cardio-respiratory syndromes: a multi-specialty systematic review[J]. Cureus, 2025, 17(5): e84460.

[13] Zhou F, Mu J. Recent clinical research on the value of high-sensitivity cardiac troponin levels in prognostic evaluation after coronary artery bypass graft surgery: a narrative review[J]. Cardiovascular Diagnosis and Therapy, 2025, 15(1): 251–258.

[14] 王洁, 龙霖梓, 曲华, 等. 系统免疫炎症指数与冠心病预后关系的 Meta 分析 [J]. 中国循证医学杂志, 2023, 23 (10): 1143–1147.

[15] 刘亚东, 杨磊, 孙建荣, 等. Lp-PLA2 基因多态性与冠状动脉病变程度的相关性 [J]. 中国老年学杂志, 2025, 45 (7): 1543–1547.

[16] Abubakar M, Irfan U, Abdelkhalek A, *et al.* Comprehensive quality analysis of conventional and novel biomarkers in diagnosing and predicting prognosis of coronary artery disease, acute coronary syndrome, and heart failure, a comprehensive literature review[J]. Journal of Cardiovascular Translational Research, 2024, 17(6): 1258–1285.

[17] Desai R, Damarlapally N, Bareja S, *et al.* A systematic review and meta-analysis evaluating the association of high sensitivity troponin levels with outcomes in patients with stable coronary artery disease [J]. Current Medical Research and Opinion, 2024, 40(10): 1685–1695.

[18] Wei M, Liu Z, Wei M, *et al.* Synergistic effects of lipoprotein (a) and fibrinogen on carotid plaque in patients with coronary artery disease [J]. European Journal of Medical Research, 2025, 30(1): 129.

(收稿日期: 2025–11–13 修回日期: 2025–12–31)

(上接第 725 页)

[4] Chen W, Wei Q, Liang Q, *et al.* Diagnostic capacity of sFlt-1/PLGF ratio in fetal growth restriction: a systematic review and meta-analysis[J]. Placenta, 2022, 127: 37–42.

[5] 梁书源, 叶宝英, 程蔚蔚. 超声指标和血液指标预测胎儿生长受限的研究现状[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2025, 45(8): 1059–1065.

[6] 中华医学会围产医学分会胎儿医学学组, 中华医学会妇产科学分会产科学组, 国家重点研发计划《建立我国胎儿生长曲线和胎儿生长受限干预体系的全链条研究》部分项目骨干, 等. 胎儿生长受限临床诊治标准化表单管理专家共识[J]. 中华围产医学杂志, 2025, 28(2): 89–97.

[7] Ashorn P, Ashorn U, Muthiani Y, *et al.* Small vulnerable newborns—big potential for impact[J]. The Lancet, 2023, 401 (10389): 1692–1706.

[8] Lees CC, Stampalija T, Baschat A, *et al.* ISUOG Practice Guidelines: diagnosis and management of small-for-gestational-age fetus and fetal growth restriction[J]. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology, 2020, 56(2): 298–312.

[9] Yusrawati, Serudji J, Utama BI, *et al.* Exploring fetal growth patterns in the second trimester: insights from ultrasound measurements among the Minangkabau Ethnic Group in Indonesia[J]. BMC Pregnancy and Childbirth, 2025, 25(1): 68.

[10] Shinar S, Tigert M, Agrawal S, *et al.* Placental growth factor as a diagnostic tool for placental mediated fetal growth restriction[J]. Pregnancy Hypertension, 2021, 25: 123–128.

[11] 罗丽萍, 李雪霞. 彩色多普勒超声联合血清学检测诊断晚发型胎儿生长受限的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2024, 26 (7): 606–610.

[12] Kumar M, Balyan K, Debnath E, *et al.* Placental biophysical model for prediction of early onset fetal growth restriction in first and second trimester of pregnancy: a prospective cohort study[J]. Placenta, 2024, 154: 153–159.

[13] Yu H, Yuan M, Wang L, *et al.* Correlation between parturients’ uterine artery blood flow spectra in the first and second trimesters of pregnancy and fetal growth restriction[J]. Journal of Healthcare Engineering, 2021, 2021(1): 2129201.

[14] 王一帆, 常莹, 杜岚, 等. 子宫动脉异常与不良孕产事件关联性研究进展[J]. 中国介入影像与治疗学, 2025, 22(8): 554–557.

[15] Zhou Y, Chen Q, Luan R, *et al.* Shunt rate of ductus arteriosus and ductus venosus in middle and late fetuses and their application value in the evaluation of fetal growth restriction[J]. Pakistan Journal of Medical Sciences, 2023, 39(6): 1589–1594.

[16] Hurrell A, Beardmore-Gray A, Duhig K, *et al.* Placental growth factor in suspected preterm pre-eclampsia: a review of the evidence and practicalities of implementation [J]. BJOG: an International Journal of Obstetrics & Gynaecology, 2020, 127(13): 1590–1597.

[17] 吴雪辉, 陆欢, 杨智玲, 等. 胎儿宫内生长受限彩超血流动力学变化及不良妊娠结局预测模型构建[J]. 中国妇产科临床杂志, 2024, 25(5): 453–456.

[18] Giorgione V, Ramnarine S, Malik A, *et al.* The value of angiogenetic biomarkers in the detection of early onset fetal growth restriction[J]. European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology, 2024, 299: 91–95.

[19] 黄丹, 朱玲雯, 杨正菊, 等. 卵泡抑素样蛋白 3 和可溶性 FMS 样酪氨酸激酶 1 与胎盘生长因子的比值在胎儿生长受限中的预测价值研究[J/OL]. 中国医学前沿杂志(电子版), 2025, 17 (8): 60–67.

[20] He B, Hu C, Zhou Y. First-trimester screening for fetal growth restriction using Doppler color flow analysis of the uterine artery and serum PAPP-a levels in unselected pregnancies[J]. The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine, 2021, 34 (23): 3857–3861.

(收稿日期: 2025–12–16 修回日期: 2026–02–03)