

多普勒超声参数在预测胎儿宫内发育迟缓的价值研究进展

赵小春, 张树华*

华北理工大学附属医院, 超声科, 河北 唐山

收稿日期: 2025年12月7日; 录用日期: 2026年1月1日; 发布日期: 2026年1月12日

摘要

胎儿宫内发育迟缓(Itrauterine Growth Restriction, IUGR)又称胎儿生长受限(Fetal Growth Restriction, FGR), 作为围产医学领域的重要并发症, IUGR不仅显著增加围产儿窒息、死亡风险, 还与儿童期神经发育障碍及成年后代谢综合征高发密切相关。早期精准预测是改善IUGR母儿结局的关键, 而多普勒超声凭借其无创、可重复、实时动态的优势, 已成为评估胎儿血流动力学状态的核心手段。本文系统梳理近10年国内外相关研究, 从胎儿胎盘循环、中枢循环、肾脏循环及母体子宫循环等维度, 阐述脐动脉、大脑中动脉、肾动脉、静脉导管及子宫动脉等核心多普勒超声参数的预测价值, 分析单一参数与多参数联合应用的效能差异, 探讨当前研究存在的问题及未来发展方向, 为临床早期识别IUGR提供参考依据。

关键词

多普勒超声, 胎儿宫内发育迟缓, 血流动力学, 预测价值

Research Progress on the Value of Doppler Ultrasound Parameters in Predicting Intrauterine Growth Restriction

Xiaochun Zhao, Shuhua Zhang*

Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: December 7, 2025; accepted: January 1, 2026; published: January 12, 2026

*通讯作者。

Abstract

Intrauterine Growth Restriction (IUGR), also known as Fetal Growth Restriction (FGR), is a critical complication in the field of perinatal medicine. IUGR not only significantly increases the risks of perinatal infant asphyxia and mortality but also is closely associated with a higher incidence of childhood neurodevelopmental disorders and adult-onset metabolic syndrome. Early and accurate prediction is the key to improving maternal and fetal outcomes of IUGR, and Doppler ultrasound, with its advantages of being non-invasive, reproducible, and real-time dynamic, has become the core modality for evaluating fetal hemodynamic status. This article systematically reviews relevant domestic and international studies over the past decade, elaborates on the predictive values of core Doppler ultrasound parameters (including those of the umbilical artery, middle cerebral artery, renal artery, ductus venosus, and uterine artery) from the perspectives of fetal-placental circulation, central circulation, renal circulation, and maternal uterine circulation, analyzes the efficacy differences between the application of single parameters and the combined application of multiple parameters, discusses the existing problems in current research and future development directions, and provides a reference basis for the early clinical identification of IUGR.

Keywords

Doppler Ultrasound, Intrauterine Growth Restriction (IUGR), Hemodynamics, Predictive Value

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

IUGR 的全球发生率约为 2.7%~10.0%，在发展中国家及高危妊娠人群中可高达 15%以上[1]。传统产前监测依赖超声估测胎儿生长参数(如腹围、头围、股骨长)，但该方法仅能反映胎儿既往生长状态，无法早期识别血流动力学异常导致的潜在风险，往往错过最佳干预时机[2]。

多普勒超声通过检测胎儿及母体相关血管的血流动力学参数，可早期发现胎盘功能不全引发的血流重新分布，为 IUGR 的预测提供客观依据。自 20 世纪 80 年代应用于临床以来，其参数体系不断丰富，从最初的脐动脉(Umbilical Artery, UA)扩展至大脑中动脉(Middle Cerebral Artery, MCA)、静脉导管(Ductus Venosus, DV)、肾动脉(Renal Artery, RA)及子宫动脉(Uterine Artery, UtA)等多部位血管[3]。近 5 年，随着超声技术的革新及循证医学证据的积累，多普勒参数的临床应用价值得到进一步明确，尤其是多参数联合预测模式显著提高了诊断效能。本文基于最新研究成果，对多普勒超声参数在 IUGR 预测中的应用进展进行综述。

2. 胎儿胎盘循环相关多普勒参数

胎儿胎盘循环是母体与胎儿物质交换的核心通路，其功能状态直接决定胎儿生长发育。当胎盘功能受损时，胎盘血管阻力升高，首先表现为胎盘血流动力学异常，因此相关血管多普勒参数是 IUGR 预测的基础指标。

2.1. 脐动脉(UA)多普勒参数

脐动脉(UA)多普勒超声通过测量收缩期/舒张期流速比(S/D)、搏动指数(PI)及阻力指数(RI)等参数，

已成为预测胎儿宫内发育迟缓(IUGR)的重要工具。研究表明, IUGR 胎儿的脐动脉血流阻力显著升高, 表现为 S/D 值 >3 、PI >1.0 、RI >0.6 , 这些异常与胎盘血管阻力增加、胎儿供血不足密切相关[4]。随着妊娠进展, 若出现舒张末期血流缺失或反向, 提示胎儿缺氧风险急剧上升, 围产儿死亡率及不良结局显著增加[5]。近年来的临床研究进一步强调, 单独使用 UA 多普勒对晚发型 IUGR 的预测能力有限, 而联合大脑中动脉(MCA)、静脉导管(DV)等多血管参数可提升诊断灵敏度与特异度。2022~2023 年的最新临床分析证实, 通过多普勒血流动力学参数综合评估, 能够更早、更准确地识别 IUGR 及其相关不良妊娠结局, 为临床干预提供关键依据[6]。因此, 脐动脉多普勒参数不仅是筛查 IUGR 的经典指标, 在多参数整合的现代围产监护体系中仍具有不可替代的预测价值。

2.2. 胎盘床动脉(Placental Bed Artery, PBA)多普勒参数

胎盘床动脉(Placental Bed Artery, PBA)多普勒参数在预测胎儿宫内发育迟缓(IUGR)方面具有重要的临床价值。PBA 是子宫螺旋动脉在胎盘床的分支, 其血流动力学参数(如搏动指数 PI、阻力指数 RI、收缩期/舒张期流速比 S/D)能够直接反映胎盘母体面的灌注情况。在 IUGR 发生早期, 由于滋养细胞对螺旋动脉重塑不足, 胎盘床动脉的 PI、RI 及 S/D 值会显著升高, 提示胎盘血管阻力增加、血流灌注下降。这种改变往往早于脐动脉多普勒指标的异常, 因此 PBA 多普勒可作为早期识别胎盘功能不全及预测 IUGR 的有效工具[7]。此外, PBA 参数与妊娠高血压疾病、子痫前期等胎盘缺血性疾病密切相关, 其阻力升高可帮助区分生理性与病理性胎儿生长受限, 并为临床干预提供时机[8]。随着超声技术的进步, 尤其是彩色多普勒与三维能量成像的结合, 能够更直观地评估胎盘床血管树的形态与血流分布, 进一步提升了对 IUGR 风险的预测精度。尽管目前 PBA 多普勒在常规产前检查中尚未普及, 但其在早期、无创评估胎盘功能及胎儿预后方面的潜力已得到多项研究支持, 未来有望成为优化 IUGR 筛查与管理的重点指标。

3. 胎儿中枢循环大脑中动脉(MCA)多普勒参数

近年来, 胎儿大脑中动脉(MCA)多普勒参数在预测宫内发育迟缓(IUGR)方面的研究不断深入。MCA 的血流参数主要包括搏动指数(PI)、阻力指数(RI)以及收缩期/舒张期流速比(S/D), 这些指标能够反映胎儿脑部循环的代偿状态。当胎儿存在 IUGR 时, 由于胎盘功能不全导致的缺氧会触发“脑保护效应”, 表现为 MCA 的 PI、RI 及 S/D 值显著降低, 而脐动脉(UA)的相应参数则升高[9]。脑胎盘率被证实为更具综合性的预测指标, CPR <1.08 对 IUGR 及相关不良妊娠结局(如胎儿窘迫、低 Apgar 评分、NICU 入住)的预测 AUC 可达 0.96, 灵敏度约 96%, 特异度约 88% [10]。联合检测 MCA、UA 及静脉导管(DV)的血流频谱能进一步提升预测效能, 例如 MCA-RI、UARI 与 DV-aV 联合检测的曲线下面积显著高于单一参数[11]。当前指南推荐将 MCA 多普勒与子宫动脉(UtA)多普勒结合, 用于高危孕妇的 IUGR 筛查及预后评估, 从而实现早期干预、改善围产结局。随着超声技术的进步, MCA 多普勒参数已成为产前监测 IUGR 不可或缺的工具, 其临床价值在多项前瞻性研究和系统评价中得到确认。

4. 胎儿外周循环与静脉系统相关多普勒参数

胎儿外周循环(如肾脏)及静脉系统对缺氧的耐受性较低, 其血流动力学变化晚于中枢循环, 但能更准确反映 IUGR 的严重程度及预后, 是判断是否需终止妊娠的重要依据。

4.1. 肾动脉(RA)多普勒参数

近年来, 胎儿肾动脉(RA)多普勒参数在预测宫内发育迟缓(IUGR)中的价值日益受到关注。结果显示, IUGR 胎儿的 RA 血流阻力参数常显著升高, 反映肾血管阻力增加及胎盘功能不全[12] [13]。例如, 与正常妊娠相比, IUGR 组的 RA-RI、RA-PI 及 RA-S/D 均明显上升, 且这些变化与胎儿缺氧、羊水过少及不

良好妊娠结局密切相关[14] [15]。在预测性能方面，RA 多普勒指标对 IUGR 及宫内窘迫具有中高灵敏度和特异度，尤其在联合大脑中动脉、脐动脉等多血管参数后，可显著提升对胎儿宫内缺血缺氧的早期识别能力[16]。综上所述，肾动脉多普勒参数不仅是辅助诊断 IUGR 的重要工具，还能通过无创监测血管阻力变化为临床早期干预提供依据，有助于改善围产儿预后。

4.2. 静脉导管(DV)多普勒参数

近年来，静脉导管(DV)多普勒参数在预测胎儿宫内发育迟缓(IUGR)方面的研究不断深入。DV 是胎儿期特有的血管，其血流频谱能直接反映右心房的压力变化，因此在评估胎儿血流动力学状态时具有独特优势。常用的 DV 多普勒参数包括心房收缩期 a 波流速、心室收缩期 S 波流速、舒张期 D 波流速，以及由此计算的 PI、RI 和 S/a 比值等。多项临床研究显示，IUGR 胎儿的 DV 频谱常出现 a 波低平、缺失甚至反向，同时 PI、RI 值升高，S/a 比值下降，这些改变提示胎儿心脏后负荷增加、心功能受损[17] [18]。多项临床观察显示，DV 血流参数中 A 谷消失或出现反向血流，以及 DV-RI、DV-PI 升高，与 IUGR 胎儿的不良妊娠结局显著相关[19]。随着彩色多普勒超声技术的普及，DV 多普勒参数已成为产前监测 IUGR 胎儿血流动力学状态、评估宫内安危并指导干预的重要工具，能够帮助临床医生及早识别高风险胎儿，改善围生期预后。

5. 母体子宫循环相关多普勒参数

近年来，母体子宫循环的多普勒参数在预测胎儿宫内发育迟缓(IUGR)方面的研究不断深化。子宫动脉搏动指数(PI)、阻力指数(RI)及收缩期/舒张期流速比(S/D)是评估子宫 - 胎盘循环的关键指标。多项研究表明，在妊娠 11~13 周通过彩色多普勒检测子宫螺旋动脉的 PI、RI、S/D 值，能够早期识别胎盘灌注不足，从而预测后续 IUGR 的发生[20]。进入中晚期妊娠后，子宫动脉血流参数异常(如 PI、S/D 升高)与 IUGR 及不良妊娠结局(如早产、低 Apgar 评分、新生儿重症监护入住率)显著相关[21]。联合检测子宫动脉与胎儿脐动脉、大脑中动脉等多条血管的多普勒参数，可提升对 IUGR 及其预后的预测精度。例如，子宫动脉与脐动脉均异常时，胎儿窘迫和急诊剖宫产的风险显著增加；而子宫动脉 PI 升高合并大脑中动脉 PI 下降，提示胎儿脑保护效应启动，进一步佐证了宫内缺氧状态[22]。综上，母体子宫循环多普勒参数已成为早期、无创评估胎盘功能及预测 IUGR 的重要工具，为临床干预提供了机会。

6. 早发型 vs 晚发型 IUGR 差异解析

早发型与晚发型 IUGR 在超声表现上存在显著差异，这主要源于其不同的病理生理机制和发生时间。早发型 IUGR 通常发生在妊娠 32 周之前，其根本原因是胎盘植入缺陷和严重的胎盘功能不全，超声上主要表现为脐动脉血流频谱的显著异常，如搏动指数(PI)进行性升高、舒张末期血流缺失或反向(AEDV/REDV)，这反映了胎盘血管阻力严重增高[23]。同时，子宫动脉搏动指数在孕晚期也常显著升高，提示母体 - 胎盘循环障碍[24]。随着病情进展，胎儿会出现代偿性“脑保护效应”，表现为大脑中动脉 PI 降低，但最终可能失代偿，出现静脉导管血流异常(如 a 波缺失或反向)，这预示着胎儿酸中毒和围产期死亡风险急剧增加[25]。

相比之下，晚发型 IUGR 发生在妊娠 32 周之后，其胎盘功能不全相对较轻且进展较慢。超声上最显著的特点是脐动脉血流频谱往往保持正常或仅轻度异常，不能可靠反映胎儿缺氧状态[26]。诊断和监测的关键在于大脑中动脉 PI 降低和脑胎盘比率(CPR)的进行性下降，这些是胎儿为应对慢性缺氧而进行血流重新分布(脑保护效应)的直接证据[27]。近年研究还发现，胎儿胫动脉 PI 的升高可能是晚发型 IUGR 胎儿状态恶化的早期敏感指标，其异常出现时间甚至早于 CPR 的下降[28]。此外，晚发型 IUGR 胎儿的生物

测量参数(如腹围、估计体重)小于同孕龄第 10 百分位, 但生长不对称性(头围与腹围比值增大)可能不如早发型明显[29]。

总之, 早发型 IUGR 的超声特征以脐动脉和静脉导管的严重血流异常为主导, 而晚发型则以大脑中动脉、脑胎盘比率及外周血管(如胫动脉)的血流改变为关键。这些差异决定了二者在临床监测重点和干预时机上的不同策略。

7. 多参数联合预测模型的应用进展

单一多普勒参数仅能反映胎儿循环系统的局部变化, 存在预测效能局限, 近年来, 多参数联合预测模型因能全面评估母胎循环状态, 成为 IUGR 预测的研究热点, 主要包括传统联合模型及基于机器学习的智能模型两类。

7.1. 传统多参数联合模型

传统多普勒多参数联合模型通过整合脐动脉(UA)、大脑中动脉(MCA)、静脉导管(DV)等血流动力学指标, 提升了对胎儿宫内发育迟缓(IUGR)的预测能力。大量研究显示, UA 的搏动指数(PI)、阻力指数(RI)及收缩期/舒张期流速比(S/D)在 IUGR 胎儿中显著升高, 而 MCA 的相应参数则出现下降, 提示脑保护效应; DV 分流率的增加则与胎儿缺氧及不良结局密切相关。除了血流参数, 传统模型还常结合子宫动脉超声指标(如 PI、RI、S/D)与血清学标志物进行综合评估。例如, 孕中期子宫动脉 PI、RI、S/D 与血清标志物水平呈负相关, 这些指标联合预测 IUGR 的曲线下面积(AUC)可达 0.936, 显著高于单一参数[30]。此外, 彩色多普勒超声检测的脐血流 S/D、脑胎盘率(CPR)以及胎儿主动脉峡部血流指数(IFI)也被证实是 IUGR 的独立危险因素, 其联合模型对 IUGR 的预测具有较好的敏感度与特异度[31]。总体而言, 传统多参数联合模型通过多维度、多系统的血流与生化指标整合, 提高了对 IUGR 的早期识别和预后评估的准确性, 为临床提供了重要的辅助诊断工具。

7.2. 基于机器学习的智能预测模型

近年来, 随着人工智能技术的发展, 基于机器学习的智能预测模型在 IUGR 预测中展现出显著优势。这类模型能够处理高维、非线性的多参数数据, 并通过算法自动筛选关键特征, 从而提高预测精度。例如, 一项为期 5 年的随访研究对比了列线图、决策树和随机森林三种模型在预测 IUGR 中的表现。结果显示, 随机森林模型的 AUC 达到 0.968, 灵敏度为 0.875, 特异度为 0.950, 显著优于决策树和列线图[32]。除了单一机器学习算法, 集成学习方法(如随机森林、AdaBoost)也被用于融合多源数据。例如, 在产前多超声参数评估 IUGR 的研究中, 采用随机森林算法识别影响超声诊断假阴性的因素, 并构建多因素 Logistic 回归模型, 其 Bootstrap 验证后的 Nagelkerke R² 达 0.602, 表明模型具有良好的校准能力[33]。此外, 机器学习模型还能够整合传统多普勒参数与新兴生物标志物, 通过特征重要性排序帮助临床医生聚焦关键预测因子。例如, 血清 Endocan 水平在 IUGR 孕妇中显著升高, 其预测 IUGR 的 AUC 为 0.834, 而机器学习模型通过融合此类生化指标与血流参数, 可进一步提升对不良妊娠结局的预测性能[34]。尽管目前大多数研究仍处于回顾性阶段, 且样本量有限, 但机器学习模型在处理复杂、异质性数据方面的能力已显示出巨大潜力, 未来结合深度学习、时间序列分析等技术, 有望实现更早期、个体化的 IUGR 风险预警。

8. 结语

多普勒超声凭借无创、实时的优势, 已构建起覆盖胎儿胎盘循环、中枢循环、外周循环及母体子宫循环的多维度 IUGR 预测参数体系, 脐动脉、大脑中动脉等核心指标及脑胎盘率等衍生参数, 成为临床筛查评估的关键依据。多参数联合模型, 特别是融入机器学习的智能模型, 进一步突破了单一参数的局

限，显著提升了预测精准度。当前研究仍存在胎盘床动脉检测未普及、机器学习模型样本量有限等问题。未来，随着三维超声、新兴生物标志物的整合应用，以及人工智能技术的深化，多普勒超声将实现 IUGR 更早阶段的个体化风险预警，为优化临床干预策略、改善母儿长期预后提供更坚实的支撑。

参考文献

- [1] Colella, M., Frerot, A., Novais, A.R.B. and Baud, O. (2018) Neonatal and Long-Term Consequences of Fetal Growth Restriction. *Current Pediatric Reviews*, **14**, 212-218. <https://doi.org/10.2174/1573396314666180712114531>
- [2] (2021) Fetal Growth Restriction: ACOG Practice Bulletin Summary, Number 227. *Obstetrics & Gynecology*, **137**, 385-387. <https://doi.org/10.1097/AOG.00000000000004252>
- [3] Kingdom, J., Ashwal, E., Lausman, A., Liauw, J., Soliman, N., Figueiro-Filho, E., et al. (2023) Guideline No. 442: Fetal Growth Restriction: Screening, Diagnosis, and Management in Singleton Pregnancies. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, **45**, Article ID: 102154. <https://doi.org/10.1016/j.jogc.2023.05.022>
- [4] 周瑞莉, 刘彦英. 大脑中动脉及脐动脉血流检测在胎儿宫内发育迟缓预测中的意义[J]. 实用医学杂志, 2009, 25(12): 2037-2038.
- [5] 米志刚, 贾凤霞, 樊碧柏. 胎儿宫内窘迫时彩色多普勒超声监测胎儿脐动脉血流的应用价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6(1): 49-51.
- [6] 杨文娟. 超声血流动力学参数用于胎儿宫内发育迟缓评价中的价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(8): 163-165, 169.
- [7] 张彦华, 林小影, 林海英, 等. 宫内发育迟缓胎儿胎盘三维能量多普勒及 GADD153 表达的对比研究[J]. 吉林医学, 2017, 38(11): 2008-2010.
- [8] 丰琳, 李炎. 子痫前期产妇血清 MMP2、MMP9 含量检测及胎盘床血流动力学异常情况评估[J]. 海南医学院学报, 2015, 21(1): 111-113.
- [9] 琚竹梅. 大脑中动脉及脐动脉血流联合检测在胎儿宫内发育迟缓中的应用[J]. 中国药物与临床, 2019, 19(21): 3673-3674.
- [10] 刘晓艳, 殷欣欣, 张蕾, 等. 脑胎盘率对胎儿生长受限围生结局的预测研究[J]. 武警医学, 2020, 31(9): 801-804.
- [11] 罗蔼瑞, 罗冬梅. 联合检测胎儿大脑中动脉、脐动脉、静脉导管血流频谱预测胎儿宫内窘迫的价值[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6(22): 50-52.
- [12] 茹芳, 万群, 严慧. 超声血流参数检测对胎儿宫内发育迟缓的预测价值[J]. 现代医用影像学, 2022, 31(7): 1338-1341.
- [13] 刘霞, 陈袁佳, 毛莉莉, 等. 超声血流参数测量在预测胎儿宫内发育迟缓中的应用研究[J]. 健康必读, 2020(36): 230.
- [14] 梁晓冰, 石波, 贺玉梅. 彩色多普勒超声监测胎儿肾动脉血流对宫内窘迫的预测作用及价值[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26(12): 2284-2287.
- [15] 罗水浓, 谢永, 曾月颜. 彩超监测胎儿肾动脉血流对胎儿宫内窘迫的预测价值[J]. 现代医用影像学, 2016, 25(1): 126-127.
- [16] 叶丰富, 谢妮, 王毅. 超声检测胎儿脐动脉、肾动脉、大脑中动脉血流对胎儿窘迫的诊断价值[J]. 中国性科学, 2020, 29(5): 85-88.
- [17] 李玲, 张盼盼, 张文琴. 基于彩色多普勒超声定量参数列线图模型预测胎儿生长受限的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2023, 25(2): 90-94.
- [18] 王卫平. 三维能量多普勒超声技术产前定量评估对胎儿宫内生长受限的诊断价值研究[J]. 黑龙江医学, 2023, 47(11): 1350-1352.
- [19] 熊德庆, 伍文霞, 徐永莲, 等. 静脉导管多普勒超声检查在预测宫内窘迫胎儿不良出生结局中的应用[J]. 世界最新医学信息文摘(连续型电子期刊), 2015, 15(6): 129-130.
- [20] 邱燕生, 毛羨仪, 朱艳芳, 等. 早中孕期彩色多普勒超声监测子宫螺旋动脉血流在预测胎儿宫内生长受限的应用[J]. 影像研究与医学应用, 2017, 1(18): 22-23.
- [21] 张佐炳, 张晓东, 林锦蓉. 彩色多普勒超声检测子宫动脉及脐动脉在预测晚发型胎儿宫内生长受限中的价值[J]. 临床超声医学杂志, 2018, 20(8): 554-557.
- [22] 郭春兰. 彩色多普勒超声测定胎儿 MCA、UA 及孕妇 UtA 血流参数预测胎儿宫内窘迫的价值研究[J]. 现代医用

- 影像学, 2017, 26(6): 1784-1787.
- [23] Dinu, M., Stancioiu-Cismaru, A.F., Gheonea, M., Luciu, E.D., Aron, R.M., Pana, R.C., et al. (2023) Intrauterine Growth Restriction—Prediction and Peripartum Data on Hospital Care. *Medicina*, **59**, Article 773. <https://doi.org/10.3390/medicina59040773>
- [24] Dinu, M., Badiu, A.M., Hodorog, A.D., Stancioiu-Cismaru, A.F., Gheonea, M., Grigoras Capitanescu, R., et al. (2022) Early Onset Intrauterine Growth Restriction—Data from a Tertiary Care Center in a Middle-Income Country. *Medicina*, **59**, Article 17. <https://doi.org/10.3390/medicina59010017>
- [25] Giuliano, N., Annunziata, M.L., Tagliaferri, S., Esposito, F.G., Imperato, O.C.M., Campanile, M., et al. (2014) IUGR Management: New Perspectives. *Journal of Pregnancy*, **2014**, Article ID: 620976. <https://doi.org/10.1155/2014/620976>
- [26] Norvilaitė, K., Ramašauskaitė, D., Bartkevičienė, D., Šliachtenko, A. and Kurmanavičius, J. (2022) Fetal Tibial Artery Doppler in Late IUGR Fetuses: A Longitudinal Study. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 82. <https://doi.org/10.3390/jcm12010082>
- [27] Martin-Alonso, R., Rolle, V., Akolekar, R., de Paco Matallana, C., Fernández-Buhigas, I., Sánchez-Camps, M.I., et al. (2023) Efficiency of the Cerebroplacental Ratio in Identifying High-Risk Late-Term Pregnancies. *Medicina*, **59**, Article 1670. <https://doi.org/10.3390/medicina59091670>
- [28] Norvilaitė, K., Ramašauskaitė, D., Bartkevičienė, D., Žaliūnas, B. and Kurmanavičius, J. (2021) Doppler Ultrasonography of the Fetal Tibial Artery in High-Risk Pregnancy and Its Value in Predicting and Monitoring Fetal Hypoxia in IUGR Fetuses. *Medicina*, **57**, Article 1036. <https://doi.org/10.3390/medicina57101036>
- [29] Mahalinga, G., Rajasekhar, K., Venkateshwar Reddy, M., Kumar, S.S. and Waheeduddin, S.K. (2024) Morphometric Analysis of Placenta and Fetal Doppler Indices in Normal and High-Risk Pregnancies. *Cureus*, **16**, e61663. <https://doi.org/10.7759/cureus.61663>
- [30] 王波, 吴腊梅, 王凤琴, 等. 孕中期多普勒超声联合血清学标志物检测预测胎儿宫内生长受限的研究[J]. 中国优生与遗传杂志, 2022, 30(11): 1948-1952.
- [31] 卢小红, 卢红燕, 杜燕云. 超声检测脐血流 S/D、IFI、CPR 预测胎儿宫内生长受限的作用研究[J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29(18): 121-123.
- [32] 葛莉萍, 潘健, 谭骥, 等. 胎儿生长受限评估的混合机器学习模型: 一项 5 年的随访研究[J]. 中国妇幼健康研究, 2024, 35(1): 37-44.
- [33] 郭媛, 陈小梅, 候燕, 等. 产前多超声参数评估胎儿生长受限的价值及诊断假阴性影响因素分析[J]. 影像科学与光化学, 2024, 42(4): 318-326.
- [34] 叶辉, 刘艳, 吴俏坪. 子痫前期孕妇血清 Endocan 水平升高与宫内生长受限、不良妊娠结局的关系[J]. 检验医学与临床, 2024, 21(17): 2502-2507.