

多维度超声技术在胎儿脐 - 门 - 体静脉分流诊断与预后评估中的应用进展

王天娇¹, 兰景云², 郑 瑜^{3*}

¹西安医学院超声医学科, 陕西 西安

²延安大学超声医学科, 陕西 延安

³西安交通大学附属西安市中心医院超声医学科, 陕西 西安

收稿日期: 2025年10月11日; 录用日期: 2025年11月4日; 发布日期: 2025年11月12日

摘 要

胎儿门体静脉分流是一种胎儿在胚胎期的严重畸形病,其病理机制是门静脉与体静脉之间的异常交通支,导致了部分经肝的血流经异常分流,导致肝脏血流灌注不足以致产生门静脉高压。其中,一些门体静脉分型,如脐静脉 - 下腔静脉分流、肝静脉分流等,会对胎儿的预后产生不良影响。因此,胎儿早期的产前诊断及精准的分型会对临床评估及治疗起到极其关键的作用。超声技术,作为产筛中的重要一环,在该疾病诊断和分型中具有重要的价值,并为其出生后的临床治疗提供一个较准确的参考指标。与其他影像技术不同的是,在相关临床文献中证实,超声凭借其无创性、实时动态性、可多次操作等优点,成为诊断血流畸形的重要手段。本文的目的是阐述多维度超声技术(二维、三维、四维及超声造影)在此疾病临床诊断中的应用,分析对胎儿畸形分型的筛查价值,并讨论目前技术的优势及未来发展的方向。

关键词

胎儿脐 - 门 - 体静脉分流, 超声检查, 胎儿

Application Progress of Multidimensional Ultrasound in the Diagnosis and Prognosis Evaluation of Fetal Umbilical-Portal-Systemic Venous Shunts

Tianjiao Wang¹, Jingyun Lan², Yu Zheng^{3*}

¹The Department of Ultrasound Medicine, Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

²The Department of Ultrasound Medicine, Yanan University, Yan'an Shaanxi

*通讯作者。

文章引用: 王天娇, 兰景云, 郑瑜. 多维度超声技术在胎儿脐-门-体静脉分流诊断与预后评估中的应用进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 973-980. DOI: 10.12677/acm.2025.15113181

³The Department of Ultrasound Medicine, Xi'an Central Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi

Received: October 11, 2025; accepted: November 4, 2025; published: November 12, 2025

Abstract

Fetal umbilical-portal-systemic venous shunt is a severe congenital malformation during the embryonic period. Its pathological mechanism involves abnormal connections between the portal vein and the systemic veins, leading to the diversion of partial hepatic blood flow through these abnormal shunts. This results in inadequate hepatic perfusion and may cause portal hypertension. Certain types of portosystemic shunts, such as umbilical vein-inferior vena cava shunts and hepatic vein shunts, can adversely affect fetal prognosis. Therefore, early prenatal diagnosis and accurate classification play a critical role in clinical evaluation and treatment. Ultrasound technology, as an essential component of prenatal screening, holds significant value in the diagnosis and classification of this condition, providing a reliable reference for postnatal clinical management. Unlike other imaging techniques, clinical literature has demonstrated that ultrasound, with its non-invasive nature, real-time dynamic imaging capability, and repeatability, serves as an important tool for diagnosing vascular malformations. This article aims to elaborate on the application of multi-dimensional ultrasound techniques (two-dimensional, three-dimensional, four-dimensional, and contrast-enhanced ultrasound) in the clinical diagnosis of this disease, analyze their screening value for classifying fetal malformations, and discuss the current advantages and future directions of these technologies.

Keywords

Fetal Umbilical-Portal-Systemic Venous Shunts, Ultrasonography, Fetus

Copyright © 2025 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

胎儿脐体静-门静脉系统(UPVS)是胎儿血液循环中一个重要结构,包含脐静脉、门静脉、静脉导管等重要结构,它传递胎盘与胎儿重要器官的血运,如通过静脉导管达心脏,门静脉支供养肝脏,在血液循环中起到运输氧气和营养的关键作用。因此当门静脉发育不良时,血流就会绕肝直接汇入体循环静脉,造成一些胎儿的先天畸形或并发症。按照2016年Achiron等提出的分型方法,UPSVS(脐静脉-门静脉-体静脉分流)主要分为三型:脐静脉-体静脉分流(USS)、静脉导管-体静脉分流(DVSS)、门静脉-体静脉分流(PSS)[1],其中PSS最常见。基于上述不同分型,相关文献明确指出,诊断胎儿CPSS应根据其解剖分型和临床症状不同对待,如肝内型较其他类型拥有更好的预后[2]。在临床检查手段上,多项文献及临床实现已证实,在孕期接受诊断性超声检查是安全的[3],因此可在孕期多次检查,医生可通过对比不同时期数据来判断胎儿的生长发育情况。此外超声技术操作简单,且对场地要求不高,这一大优势是超声技术在临床中广泛应用的另一大原因,科研工作者系统回顾全科医生对床旁超声(POCUS)的培训和使用的文献,也证实了床旁超声灵活且可及时治疗的优点[4]。

2. 超声诊断技术的应用进展

2.1. 二维超声：解剖结构的观察基础

门静脉与肝静脉相比肝实质表现为强回声，在标准切面上门静脉左支矢状部呈“工”字形强回声；在脐门体分流病理结构下，门静脉会表现为血管迂曲、狭窄或瘤样扩张，有文献指出，在 30 例 CPSVS 病例，腹部横断面脐静脉段出现异常的比例最高，第一肝门段出现异常的比例最低[5]，这提示在超声检查中，医师应根据不同的解剖位置来进行不同关注，尤其在脐静脉可进行重点扫查，以提脐门体分流的高检出率，但并非所有解剖分型都可通过典型超声征象来诊段，相关文献指出，肝内型和肝外 I 型多凭借直接征象进行诊断，而肝外 II 型 CPS 患儿只有少数表现出直接征象，大部分患儿通过间接超声征象来进行诊断[6]，如肝实质回声不均及门静脉扩张(内径 $> 5\text{ cm}$)，这反映了根据不同解剖分型，超声诊断策略应有所不同，对于肝外 II 型需要则更细致的观察间接正常，防止漏诊，这也要求在临床工作中，不能依靠单一的超声征象，还需综合多方面信息判断。不过二维超声存在一定的局限性，如对血管空间结构显像不够立体直观，对于一些复杂的血管畸形，可能难以全面地呈现。通过结合三维超声或其他弹性成像技术，则可更好地显示血管结构及肝的继发性改变。例如研究指出，产前二维超声联合时间-空间复合成像技术(STIC)，能够直接观察胎儿脐门体静脉系统血管的分支及走形，以及各血管交通支之间的连接，在产前筛查中对该疾病的诊断以及临床分型提供了一个更准确的应用价值[7]，这也表明了多种超声技术联合应用是提高胎儿脐门体静脉分流的有效手段，在未来的临床工作中，应推广和优化这种模式，为患者提供更准确的诊断。

2.2. 三维/四维超声：立体成像与功能评估

三维/四维超声通过容积成像技术构建胎儿的血管系统三维模型，可清楚地显示分流血管的起源、走形及与周围组织的空间关系，弥补了二维超声不能显示血管立体结构的缺点。在需频繁评估病情的疾病中，如心血管疾病、胎儿发育异常及肿瘤监测等，四维超声技术的可重复性突出其临床价值[8]。多项研究及实验也证实了三维超声的优势，一项前瞻性研究结果显示，动态三维超声检出胎儿畸形灵敏度 94.7%，特异度 99.6%，准确度 99%；而二维超声诊断胎儿畸形的灵敏度 77.2%，特异度 98.7%，准确度 98.2% [9]，这表明在胎儿畸形的诊断上，三维超声能为医生提供更准确的检出率，减少因成像局限导致的误诊与漏诊。随着三维技术的成熟化，STIC 技术(时空关联成像)在胎儿外周血管及先心病血流成像方面应用广泛，因多种成像模式化可进行线性分析，使抽象的血流信息变得可视化、可量化。且 STIC 技术具备反转成像、断层显像等多模态成像功能，联合反转模式可在脱机状态下实现连续时间维度血流动态的回溯显示，进而精准识别心血管解剖关系及血管管径等关键解剖与病理信息[10]。更有文献指出 4D-STIC 能对胎儿心脏做动态容积采集，重建多个心动周期的立体心脏结构，动态观察胎儿心脏的运动情况，辅助评估妊娠风险并为产后管理提供依据[11]。更有临床价值的是，STIC 技术在特殊血管系统评估中的重大突破：一项前瞻性研究通过 4D-STIC 技术结合“Glassbody”模式及特殊光源软件，实现了对胎儿脐静脉、门静脉及肝静脉系统的完整重建[12]。这种全血管可视化技术不仅提高胎儿门体静脉畸形的检出率并且为预后判断提供影像学诊断。此外，STIC 凭借其不受胎位影响，动态空间呈像的优点，提高了判断 PCSS (持续性右脐静脉)分型的准确性。Karmegaraj 等团队指出通过容积数据重建时空图像关联技术(STIC)，可显著提升复杂先天性心脏病的产前诊断准确率，该研究强调容积数据相较于传统 2D 图像在信息完整性方面的优势[13]。HDlive flow 联合 STIC 技术更有助于显示胎儿下腔静脉(IVCM)的解剖结构与血流状态，帮助医生评估胎儿的基本情况，并为产后的早期治疗提供支持[14]。然而，STIC 技术容积数据的质量易受到胎儿骨骼声影的遮挡及胎动、胎儿心率变化等因素的影响，较难获得优质的三维图像，且随着孕周

的增长, 受肋骨遮挡影响, 图像数据质量可能进一步下降[15]-[17]。

2.3. 多普勒超声: 血流动力学的量化分析

超声多普勒是在二维的基础上, 通过对彩色血流信号进行编码处理, 可实时显示出血流的方向与分布, 还能实时揭示不同分流的血流动力学特征差异, 在胎儿脐门体静脉分流(UPSVS)诊断中有重要临床价值。彩色多普勒超声可实时显示脐静脉异常血流方向, 测量分流血管内径以评估分流量大小, 判断分流类型等方面[18]。频谱多普勒超声可通过获取收缩期峰值流速(PSV)、舒张末期流速(EDV)、阻力指数(RI)、搏动指数(PI)等参数来分析血流动力学特征, 有助于早期评估胎盘功能异常和胎儿宫内窘迫风险[19][20]。例如 PSV 异常升高提示血管高流量分流, 肝动脉 RI 升高提示肝灌注不足, 脐动脉 PI 升高可提示胎儿缺氧[21]。尤其在门静脉处, 彩色多普勒和频谱多普勒通过显示门静脉分流处的三相血流频谱来帮助医生来判断肝门体静脉分流, 两者相融合显著提高了诊断的全面性与准确性。现有临床研究进一步证实了多普勒超声的诊断价值, 刘艳芳团队针对门静脉海绵样变性(PCSS)研究指出, 产前超声腹横切面肝内血管走行紊乱, 受累的肝静脉内径增宽, 远端无回声区内彩色血流信号充填, 其频谱和门静脉血流频谱相似[22]。这一研究为 PCSS 与 UPSCS 的鉴别提供了重要参考, 也验证了超声多普勒技术在异常血管畸形诊断中的价值。此外, 相关文献亦提出, 彩色多普勒超声是诊断胎儿心血管异常的有效工具[23]。一则通过回顾了胎儿脐-门-静脉导管复合体异常的病例报道, 得出二维彩色多普勒超声可评估胎儿脐-门静脉导管复合体完整性与肝静脉系统情况的结论[24]。同时在更多先天性血管畸形诊断方面, 超声多普勒技术也发挥极大诊断作用, 如血管畸形、脐动静脉畸形的检出率。综上所述, 彩色多普勒技术与频谱多普勒技术为临床医生提供了丰富的血流动力学信息, 不仅在解剖分型中提高胎儿脐门体静脉分流的产前准确率, 还能通过血流动力学反映出胎儿的宫内状况, 为临床指定诊疗方案、评估妊娠结局提供重要依据。

2.4. 超声造影: 微小分流的精准识别

文献报道超声造影技术(CEUS)在检测血管病变方面优于常规超声检查[25], 其机制是通过外周静脉注入造影剂, 可随时间顺序明确血管的起源及路径(如脐静脉-肝静脉分流中造影剂直接进入肝静脉, 而未进入肝循环), 增强微小血管及异常分支的显像[26], 目前超声造影技术已成为评价实质器官如肝脏微循环及组织灌注的重要手段, 在血管成像方面, 超声造影技术(CEUS)能够增强微小血管及异常分支的显像, 一些针对分辨率超声微血管成像(SR-UMI)的研究指出, 利用 CEUS 的优势, 通过特定算法和技术, 可突破超声衍射极限对微血管进行成像[27], 如通过对微泡的精确定位和追踪, 能够生产更清晰的血管图谱和血流速度分布, 超声造影技术(CEUS)已在临床诊断和治疗方面被广泛应用, 在未来血管方向具有极大的临床价值[28]。近年来, 显微造影技术在临床中新兴, 尤其对于血管病变的显示, 比传统造影成像更精确。胎儿门体静脉分流情况复杂, 常规超声造影有时难以清晰显示分流的具体路径和细微结构。而显微造影凭借其高分辨率, 能够清晰呈现胎儿门体静脉分流的详细信息, 包括分流血管的起源、走行以及与周围组织的关系等。相关研究对 200 例孕早期孕妇检查胎儿门静脉系统。研究得出, 常规经腹超声对门静脉完整特征一次显示成功率仅 27% (经验丰富组)和 14% (经验欠缺组), 经阴道重扫后才提升到 88% 和 72%。由此可推导, 显微造影若能应用于胎儿门静脉评估, 凭借造影剂特异性显影, 可能会减少胎位、孕妇身体状况对成像的影响, 对胎儿门体分流诊断有提升空间[29]。尽管超声造影(CEUS)在成人血管病变中应用已较成熟, 但在胎儿领域仍处于理论探索阶段, 胎儿应用中的安全性与伦理问题是限制其临床推广的重要阻碍。

超声造影在胎儿应用中的安全性与伦理性

研究表明, 微泡造影剂不会穿过胎盘屏障, 也不会改变胎盘的通透性, 并且在动物研究中已被证明,

在远高于人类剂量的剂量下也未对胎儿造成伤害[30]-[32]。在人类患者中, 超声造影(CEUS)技术已在儿科和成人患者长期安全使用, 在非持续性妊娠的小样本研究(涉及胎儿致死、剖宫产异位妊娠、侵袭性胎盘等情况)中, 均未报告与超声造影操作相关的不良母体事件[33]-[37]。但在当下胎儿应用中, 超声造影剂的安全性仍是核心问题, 目前常用的造影剂(如 SonoVue)尚未获批用于妊娠期。尽管该技术已经在临床上广泛应用, 但仍缺乏大规模、长期随访的临床数据。考虑到胎儿处于生长发育关键时期, 易受外界因素影响[38], 而造影剂的潜在危害未完全排除。因此多数国家伦理委员会将胎儿 CEUS 视为高风险非必需临床操作, 仅限于必要情况下使用。当前随着影像学技术的不断进步, MRI 及 STIC 技术已基本能满足于产前产筛的需求, 因此 CEUS 在胎儿应用中的价值存在争议。未来, 在胎儿 UPSVS 等研究方向应用中, 应严格限制在研究范畴内, 还需建立多中心、前瞻性、长期随访的安全数据库, 以积累更多循证医学证据。

3. 超声在预后评估中的应用

3.1. 分流分型与预后的相关性

Achiron 和 Kivilevitch 教授根据回顾的 44 例 UPSVS 病例分析, 基于疾病的解剖起源, 将其分为三大类, I 型, 脐体分流(20.4%); II 型, 静脉导管 - 全身分流(43.2%); III 型门脉 - 全身分流, 分为两种亚型: IIIa 型肝内门脉 - 全身分流(27.2%)和 IIIb 型肝外门静脉 - 全身分流(9.1%) [1]。秦越等在 Achiron 分类的基础上, 以二维超声联合时间 - 空间关联成像技术(STIC)所识别的解剖和血流特征为核心, 进一步优化和拓展了 UPSVS 的分类体系[39]。根据最新中华医师超声杂志报道, 湖南省妇幼保健院团队对 52 例 UPSVS 病例进行回顾性分析, 在直接参考秦越等的分类框架基础上, 采用二维超声联合时间 - 空间关联成像技术(STIC), 将 UPSVS 继续细分为 5 类, 脐静脉 - 体静脉分流(USS)、静脉导管 - 体静脉分流(DVSS)、门静脉 - 体静脉分流(PSS)、先天性肝动脉 - 门静脉瘘(CHPAVF)、孤立性静脉导管缺如或闭锁[18]。但更多研究结果皆证实静脉导管 - 体静脉分流(DVSS)、肝内门脉系统分流术(IHPSS)活产率高, 脐静脉 - 体静脉分流(USS)活产率低。如朱慧娟团队通过回顾性分析 52 例病例得出实现数据: DVSS 组活产率 100%, IHPSS 组活产率 85.0%, 而 USS 组活产率仅为 0% [18]。最新报道指出 CPSS 患者可能患有严重的合并症, 如染色体畸形和心血管畸形。与其他组相比, IHPSS 胎儿严重合并症发生率最低[40]。

3.2. 分流合并畸形筛查

胎儿脐门体静脉分流(UPSVS)合并畸形筛查对评估胎儿健康状况、制定合理诊疗方案意义重大, 已有文献指出 21 三体与 I 型或 II 型 UPSVS 相关, 这些畸形的早期发现有利于指导产前咨询和产后管理[41]。在临床实践中, 超声检查凭借其无创性、可重复性、便捷性成为一线筛查手段, 临床也常结合磁共振成像(MRI)、遗传学检查等进行综合评估; 其中, MRI 在 UPSVS 评估中也展现出独特优势, 有实验表明 MRI 可确定肝内门体静脉分流的患病率以及肝内和肝外脐旁静脉的百分比[42]。在遗传学相关方面, 一则回顾性研究数据表明, 在肝内门静脉缺失和门腔分流中, 有 12%存在染色体异常, 有 5%与唐氏综合征相关, 该数据进一步证明了脐门静脉系统异常与唐氏综合征存在极大地相关性[43] [44]。此外, 一则在为评估“已被诊断为脐静脉 - 门静脉 - 体系统静脉分流术(UPSVS)的患者的产科和围产期结果”的研究中指出, UPSV 在存在主要结构或染色体异常的情况下检出率逐步提升[45]。这些研究证实了产前畸形筛查手段的多样性及互补性, 这要求我们在临床中, 应灵活选择合适的检查手段, 以确保门体静脉畸形筛查的准确性。

4. 临床应用价值与进展

产前超声在 UPSVS 的产前诊断中具有关键价值, 结合遗传学可决定妊娠管理及分娩决策[18]。一项前瞻性研究指出, 超声弹性成像技术可评估胎盘指数, 有助于小于宫内胎儿及胎盘健康的异常检测[46],

人工智能在医学中变得越来越重要,最新研究,文章中利用数据集(如 FPSU23),搭建了一种基于残差块且卷积核大小不同的深度学习框架,通过贝叶斯优化调超参数、优化算法优化特征,构建出胎儿超声平面识别模型,模型准确率最高达到 98.5% [47],跨模态生成对抗网络也可将超声图像转化为仿真的磁共振 T2 加权图像。一项前瞻性研究得出,人工智能在胎儿心血管相关畸形的产前超声检查中,表现出“高灵敏度、高特异性”[48]。因此未来超声弹性成像技术、融合人工智能辅助诊断及多模态影像融合技术的发展,有望提升诊断准确性及血流动力学评估精确度,推动 UPSVS 的诊疗模式从经验主义向循证医学发展。

综上未来 UPSVS 的产前超声诊断将朝着“多模态 + 人工智能 + 功能评估”的方向进展。可将人工智能与多模态技术相结合,开发一种基于 STIC 容积数据的深度算法,以实现胎儿 UPSVS 的自动分型和分流量的无创量化。具体路径可包括:构建大规模数据库(包含所有 UPSVS 分型及血流动力学参数),采用先进的卷积神经网络(CNN)或 Transformer 框架并结合时空特征提取模块,有望实现分型自动识别与分流量的无创量化评估。然而,在技术创新的过程中,涉及胎儿人工智能模型仍需要伦理学审核,保护孕妇及胎儿的安全性及加强风险评估。最终还需开展前瞻性临床实验,以证实此模型在诊断中的准确性、敏感性及特异性。

5. 结论

多维超声技术(二维、三维/四维、多普勒、超声造影)在胎儿脐-门-体静脉分流的诊断中展现出显著临床价值,二维超声作为基础筛查手段,三维、四维是对二维的补充,可重组空间立体结构提高动态诊断准确性,多普勒超声技术可实现血流动力学量化,超声造影技术则能识别细微血管,尤其在复杂血管畸形的现象方面更具优势。各项超声技术各有其优势,但在临床诊断中,应用单一诊断方式是不全面的,各项技术联合应用可满足对 UPSVS 从初筛到诊断及临床分型的需求。同时超声技术通过筛查疾病、明确分型及诊断畸形,为预后评估与临床治疗提供技术支持,结合其他检查技术还能进一步提高诊断准确性。

在未来随着人工智能、大数据和新型成像技术的深度融合,超声诊断将朝着更加智能化、标准化和个性化的方向发展。然而,在追求技术发展的同时,我们应遵循伦理学要求,将安全放在首要位置。尤其是孕妇与胎儿作为一种特殊群体,对新技术的临床应用必须进行严格的风险评估。只有这样超声技术才能真正地守护母婴健康,为临床提供更优的价值。

参考文献

- [1] Achiron, R. and Kivilevitch, Z. (2016) Fetal Umbilical-Portal-Systemic Venous Shunt: *In-Utero* Classification and Clinical Significance. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **47**, 739-747. <https://doi.org/10.1002/uog.14906>
- [2] Wang, Y., Yan, Y., Yang, Z., Wei, J., Liu, G. and Pei, Q. (2020) Prenatal Diagnosis of Congenital Portosystemic Shunt: A Single-Center Study. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, **46**, 1988-1993. <https://doi.org/10.1111/jog.14403>
- [3] Varthaliti, A., Fasoulakis, Z., Lygizos, V., Zolota, V., Chatziioannou, M.I., Daskalaki, M.A., et al. (2024) Safety of Obstetric Ultrasound: Mechanical and Thermal Indexes—A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article No. 6588. <https://doi.org/10.3390/jcm13216588>
- [4] Andersen, C.A., Holden, S., Vela, J., Rathleff, M.S. and Jensen, M.B. (2019) Point-of-Care Ultrasound in General Practice: A Systematic Review. *The Annals of Family Medicine*, **17**, 61-69. <https://doi.org/10.1370/afm.2330>
- [5] 郭永华, 肖保军, 刘景雁, 于洋洋, 张锐. 先天性门体静脉分流的产前超声诊断[J]. 中国计划生育和妇产科, 2022(5): 85-87+117.
- [6] 闫加勇, 霍亚玲, 刘杨, 等. 彩色多普勒超声在儿童先天性门体静脉分流诊断及治疗中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(5): 484-489.
- [7] 李天刚, 苏晓荣, 铁红霞. 产前二维超声联合 STIC 技术在胎儿脐-门-体静脉分流诊断的应用[J]. 中国超声医学杂志, 2022(8): 944-947.
- [8] Papadacci, C., Finel, V., Villemain, O., Tanter, M. and Pernot, M. (2020) 4D Ultrafast Ultrasound Imaging of Naturally

- Occurring Shear Waves in the Human Heart. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **39**, 4436-4444. <https://doi.org/10.1109/tmi.2020.3020147>
- [9] 张曾辉. 动态三维超声在产前诊断胎儿畸形的临床价值[J]. 现代医用影像学, 2022, 31(8): 1523-1526+1530.
 - [10] 尹然, 郁丁. 四维超声时间-空间关联成像技术诊断双胎妊娠胎儿心脏畸形的价值意义[J]. 中国优生与遗传杂志, 2020, 28(5): 591-594.
 - [11] Karmegaraj, B. (2023) Prenatal Diagnosis, 4D Spatiotemporal Image Correlation Imaging, Pregnancy, and Postnatal Outcome of Partial Uhl's Anomaly. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, **24**, e273. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jead133>
 - [12] Karmegaraj, B. (2021) Normal Fetal Umbilical, Portal, and Hepatic Venous System: Four-Dimensional STIC Rendering. *Radiology*, **299**, Article No. 51. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021203300>
 - [13] Karmegaraj, B., Kumar, S., Srimurugan, B., Sudhakar, A., Simpson, J.M. and Vaidyanathan, B. (2021) 3D/4D Spatiotemporal Image Correlation (STIC) Fetal Echocardiography Provides Incremental Benefit over 2D Fetal Echocardiography in Predicting Postnatal Surgical Approach in Double-Outlet Right Ventricle. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **57**, 423-430. <https://doi.org/10.1002/uog.21988>
 - [14] Tie, H., Ma, B., Zhang, D. and Li, T. (2022) Prenatal Diagnosis of Fetal Inferior Vena Cava Malformation Using HDlive Flow Combined with Spatiotemporal Image Correlation. *Echocardiography*, **39**, 685-690. <https://doi.org/10.1111/echo.15346>
 - [15] Goncalves, L.F., Lee, W., Espinoza, J., *et al.* (2006) Examination of the Fetal Heart by Four-Dimensional (4D) Ultrasound with Spatio-Temporal Image Correlation (STIC). *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **27**, 336-348.
 - [16] Yagel, S., Cohen, S.M., Shapiro, I. and Valsky, D.V. (2007) 3D and 4D Ultrasound in Fetal Cardiac Scanning: A New Look at the Fetal Heart. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, **29**, 81-95. <https://doi.org/10.1002/uog.3912>
 - [17] Espinoza, J. (2011) Contemporary Clinical Applications of Spatio-Temporal Image Correlation in Prenatal Diagnosis. *Current Opinion in Obstetrics & Gynecology*, **23**, 94-102. <https://doi.org/10.1097/gco.0b013e328342ef38>
 - [18] 朱惠娟, 等. 胎儿脐-门-体静脉系统异常分流的产前超声诊断及产后结局[J]. 中华医学超声杂志(电子版), 2024, 21(3): 257-267.
 - [19] 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.
 - [20] 黄君红, 卢瑾文, 徐慧敏, 等. 彩色多普勒超声联合孕妇血 FE3 预测胎儿窘迫价值[J]. 中国计划生育学杂志, 2023, 31(10): 2477-2481.
 - [21] Cody, F., Mullers, S., Flood, K., Unterscheider, J., Daly, S., Geary, M., *et al.* (2021) Correlation of Maternal Body Mass Index with Umbilical Artery Doppler in Pregnancies Complicated by Fetal Growth Restriction and Associated Outcomes. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, **154**, 352-357. <https://doi.org/10.1002/ijgo.13586>
 - [22] 刘艳芳, 刘向娇, 肖伟伟, 等. 胎儿肝内门-体静脉分流产前超声特征分析[J]. 中国超声医学杂志, 2018, 34(6): 568-570.
 - [23] Shi, B., Han, Z., Zhang, W. and Li, W. (2023) The Clinical Value of Color Ultrasound Screening for Fetal Cardiovascular Abnormalities during the Second Trimester: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine*, **102**, e34211. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000034211>
 - [24] Demirci, O. and Akay, H.Ö. (2020) Prenatal Diagnosis of Abnormality of the Umbilical Portal DV Complex: Difficulty in Universal Classification Due to Various Alternative Routes in Hepatic Circulation for Placental Drainage. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, **35**, 3872-3884. <https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1842870>
 - [25] Swensson, J., Hill, D., Tirkes, T., Fridell, J. and Patel, A. (2020) Contrast-Enhanced Ultrasound versus Doppler Ultrasound for Detection of Early Vascular Complications of Pancreas Grafts. *American Journal of Roentgenology*, **215**, 1093-1097. <https://doi.org/10.2214/ajr.20.22858>
 - [26] Thakrar, D.B. and Sultan, M.J. (2019) The Role of Contrast-Enhanced Ultrasound in Managing Vascular Pathologies. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, **50**, 590-595. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2019.08.010>
 - [27] Lok, U., Huang, C., Gong, P., Tang, S., Yang, L., Zhang, W., *et al.* (2021) Fast Super-Resolution Ultrasound Microvessel Imaging Using Spatiotemporal Data with Deep Fully Convolutional Neural Network. *Physics in Medicine & Biology*, **66**, Article ID: 075005. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/abeb31>
 - [28] Li, X., Staub, D., Rafailidis, V., Al-Natour, M., Kalva, S. and Partovi, S. (2019) Contrast-enhanced Ultrasound of the Abdominal Aorta—Current Status and Future Perspectives. *Vasa*, **48**, 115-125. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000749>
 - [29] Nagy, R.D., Ruican, D., Zorilă, G., Istrate-Ofițeru, A., Badiu, A.M. and Iliescu, D.G. (2022) Feasibility of Fetal Portal Venous System Ultrasound Assessment at the FT Anomaly Scan. *Diagnostics*, **12**, Article No. 361.

- <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020361>
- [30] Nguyen, S.A., Burrowes, D.P., Merrill, C. and Wilson, S.R. (2025) Contrast-Enhanced Ultrasound in Pregnancy. *Abdominal Radiology*, **50**, 4981-4994. <https://doi.org/10.1007/s00261-025-04869-0>
- [31] Hua, X., Zhu, L., Li, R., Zhong, H., Xue, Y. and Chen, Z. (2009) Effects of Diagnostic Contrast-Enhanced Ultrasound on Permeability of Placental Barrier: A Primary Study. *Placenta*, **30**, 780-784. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2009.06.009>
- [32] Roberts, V.H.J., Lo, J.O., Lewandowski, K.S., Blundell, P., Grove, K.L., Kroenke, C.D., *et al.* (2018) Adverse Placental Perfusion and Pregnancy Outcomes in a New Nonhuman Primate Model of Gestational Protein Restriction. *Reproductive Sciences*, **25**, 110-119. <https://doi.org/10.1177/1933719117704907>
- [33] Poret-Bazin, H., Simon, E.G., Bleuzen, A., Dujardin, P.A., Patat, F. and Perrotin, F. (2013) Decrease of Uteroplacental Blood Flow after Feticide during Second-Trimester Pregnancy Termination with Complete Placenta Previa: Quantitative Analysis Using Contrast-Enhanced Ultrasound Imaging. *Placenta*, **34**, 1113-1115. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2013.08.002>
- [34] Windrim, R., Kingdom, J., Jang, H. and Burns, P.N. (2016) Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS) in the Prenatal Evaluation of Suspected Invasive Placenta Percreta. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, **38**, 975-978. <https://doi.org/10.1016/j.jogc.2016.06.012>
- [35] Li, H., Liu, X., Xie, L., Ye, Z. and Gan, L. (2020) Diagnostic Accuracy and Cut-Off of Contrast-Enhanced Ultrasound in Caesarean Scar Pregnancy. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, **246**, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2020.01.036>
- [36] Wu, Y., Zhou, L., Chen, L., Zhou, Q. and Zeng, T. (2019) Efficacy of Contrast-Enhanced Ultrasound for Diagnosis of Cesarean Scar Pregnancy Type. *Medicine*, **98**, e17741. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000017741>
- [37] Xiong, X., Yan, P., Gao, C., Sun, Q. and Xu, F. (2016) The Value of Contrast-Enhanced Ultrasound in the Diagnosis of Cesarean Scar Pregnancy. *BioMed Research International*, **2016**, Article ID: 4762785. <https://doi.org/10.1155/2016/4762785>
- [38] Flanagan, E. and Bell, S. (2020) Abdominal Imaging in Pregnancy (Maternal and Foetal Risks). *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, **44**, Article ID: 101664. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2019.101664>
- [39] Qin, Y., Wen, H., Liang, M., Luo, D., Zeng, Q., Liao, Y., *et al.* (2021) A New Classification of Congenital Abnormalities of UPVS: Sonographic Appearances, Screening Strategy and Clinical Significance. *Insights into Imaging*, **12**, Article No. 125. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01068-5>
- [40] Kong, B., Yan, X., Gui, Y., Chen, T., Meng, H. and Lv, K. (2025) Prenatal Sonographic Characteristics and Postnatal Outcomes of Congenital Portosystemic Shunt Diagnosed during the Fetal Period: A Systematic Review. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, **20**, Article No. 257. <https://doi.org/10.1186/s13023-025-03811-3>
- [41] Dong, X., Wu, H., Zhu, L., Cong, X., Li, Q., Tang, F., *et al.* (2020) Prenatal Ultrasound Analysis of Umbilical-Portal-Systemic Venous Shunts Concurrent with Trisomy 21. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **40**, 1307-1312. <https://doi.org/10.1002/jum.15507>
- [42] Yoshihisa Kurosaki, Y.I., Saida, Y., Niitsu, M. and Kuramoto, K. (1994) CT and MRI in Detection of Intrahepatic Portosystemic Shunts in Patients with Liver Cirrhosis. *Journal of Computer Assisted Tomography*, **18**, 765-773. <https://doi.org/10.1097/00004728-199409000-00016>
- [43] Pipitone, S., Garofalo, C., Corsello, G., Mongioli, M., Piccione, M., Maresi, E., *et al.* (2003) Abnormalities of the Umbilico-Portal Venous System in down Syndrome: A Report of Two New Patients. *American Journal of Medical Genetics Part A*, **120**, 528-532. <https://doi.org/10.1002/ajmg.a.20081>
- [44] Lu, L., Yao, L., Wei, H., Hu, J., Li, D., Yin, Y., *et al.* (2023) Ultrasonographic Classification of 26 Cases of Fetal Umbilical-Portal-Systemic Venous Shunts and the Correlations with Fetal Chromosomal Abnormalities. *BMC Pregnancy and Childbirth*, **23**, Article No. 236. <https://doi.org/10.1186/s12884-023-05525-5>
- [45] Nagy, R.D. and Iliescu, D.G. (2022) Prenatal Diagnosis and Outcome of Umbilical-Portal-Systemic Venous Shunts: Experience of a Tertiary Center and Proposal for a New Complex Type. *Diagnostics*, **12**, Article No. 873. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12040873>
- [46] Cimsit, C., Yoldemir, T. and Akpınar, İ.N. (2015) Shear Wave Elastography in Placental Dysfunction: Comparison of Elasticity Values in Normal and Preeclamptic Pregnancies in the Second Trimester. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **34**, 151-159. <https://doi.org/10.7863/ultra.34.1.151>
- [47] Zheng, Z., Yang, X., Wu, S., *et al.* (2025) A Multi-Feature Fusion-Based Model for Fetal Orientation Classification from Intrapartum Ultrasound Videos. *Journal of Southern Medical University*, **45**, 1563-1570.
- [48] D'Alberti, E., Patey, O., Smith, C., Šalović, B., Hernandez-Cruz, N., Noble, J.A., *et al.* (2025) Artificial Intelligence-Enabled Prenatal Ultrasound for the Detection of Fetal Cardiac Abnormalities: A Systematic Review and Meta-Analysis. *eClinicalMedicine*, **84**, Article ID: 103250. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2025.103250>