

Research progresses of MRI for fetal isolated ventriculomegaly

YANG Guangxu¹, LIU Hongsheng^{2*}

(1. Department of Ultrasonography, the Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China;

2. Department of Radiology, Guangzhou Women and Children's Medical Center, Guangzhou

Medical University, Guangzhou 510623, China)

[Abstract] Isolated ventriculomegaly (IVM) is a common neurological abnormality of fetuses in prenatal screening, with varying prognoses and outcomes. MRI can quantitatively evaluate brain structure and function of IVM fetuses, providing basis for prenatal diagnosis and predicting prognosis. The research progresses of MRI for fetal IVM were reviewed in this article.

[Keywords] fetus; lateral ventricles; magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.01.027

MRI 用于胎儿孤立性侧脑室增宽研究进展

杨光旭¹, 刘鸿圣^{2*}

(1. 遵义医科大学附属医院超声科, 贵州 遵义 563000; 2. 广州医科大学附属广州市

妇女儿童医疗中心放射科, 广东 广州 510623)

[摘要] 孤立性侧脑室增宽(IVM)是产前筛查常见的胎儿神经系统异常,其预后及转归差异较大。MRI可定量评估IVM胎儿颅脑结构和功能,为其产前诊断及预测预后提供依据。本文就MRI用于胎儿IVM研究进展进行综述。

[关键词] 胎儿; 侧脑室; 磁共振成像

[中图分类号] R714.5; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2026)01-0128-04

侧脑室增宽(ventriculomegaly, VM)是产前筛查最常见的胎儿神经系统异常之一,定义为胎儿侧脑室宽度 ≥ 10 mm;发病率为0.3%~2.0%^[1];其病因复杂,可能涉及先天性畸形、感染、遗传因素及脑脊液循环障碍等。根据侧脑室宽度,可将VM分为轻度($10\text{ mm} \leq \text{宽度} < 12\text{ mm}$)、中度($12\text{ mm} \leq \text{宽度} < 15\text{ mm}$)及重度(宽度 $\geq 15\text{ mm}$);根据是否伴其他中枢神经系统(central nervous system, CNS)或全身结构异常,又可分为孤立性VM(isolated VM, IVM)和非IVM。VM胎儿预后及转归差异显著:重度VM与神经发育不良结局明确相关;部分非重度者转归良好,部分则出现先天性脑积水,并导致远期运动、语言、认知及神经精神障碍(如孤独症谱系疾病、癫痫、无法解释

的精神发育迟缓)等^[2]。然而,目前尚无可靠的VM预后标志物及量化工具,且产前超声受限于分辨率和视角而无法全面评估胎儿脑部结构,给产前咨询带来困难。MRI则凭借其高分辨率、多平面成像及良好的软组织对比度等优势成为诊断及管理IVM的重要工具;其不仅可检出超声难以发现的微小异常,还能基于三维重建技术精细分割脑区,提供更精准的影像学依据^[3]。本文就MRI用于胎儿IVM研究进展进行综述。

1 MRI 用于胎儿 IVM

1.1 诊断与病因学 胎儿颅脑超声可清晰显示其脑部解剖结构,是产前筛查的首选影像学方法^[4],但其无法提供侧脑室立体结构信息。MRI可基于多平面测

[第一作者] 杨光旭(1987—),男,贵州遵义人,硕士,副主任医师。研究方向:胎儿MRI。E-mail: 345192005@qq.com

[通信作者] 刘鸿圣,广州医科大学附属广州市妇女儿童医疗中心放射科,510623。E-mail: liuhs72@163.com

[收稿日期] 2025-06-05 [修回日期] 2025-11-07

量,清晰显示胎儿侧脑室及其周围结构,有助于诊断 IVM;其成像要点在于需确保轴位图像垂直于脑干、冠状位和矢状位图像平行于脑干,以清晰显示胼胝体及中脑导水管等结构。弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)可识别胎儿白质异常,并通过评估纤维束方向和完整性揭示其微观结构变化^[5];且有研究^[6]指出,DTI 可检出约 10% 超声无法识别的 IVM 胎儿 CNS 异常,如灰质异位和胼胝体发育不良。

IVM 病因多样,可能涉及遗传因素、感染或其他结构与功能异常。MRI 可检出胎儿颅脑结构微小异常、确认 VM 是否为孤立性,从而指导临床制定针对性的遗传学检测和感染筛查方案。IVM 胎儿中,9.8%~18.7% 伴染色体异常;对此类病例,MRI 可检出其相关颅脑结构异常,并提示进一步行拷贝数变异测序或染色体微阵列分析^[7-8]。MRI 还有助于识别 VM 巨细胞病毒感染相关表现(如脑室周围钙化),其发生率约 1.4%^[9]。

1.2 人工智能(artificial intelligence, AI) AI 的快速发展显著推动了胎儿颅脑 MR 成像技术的进步^[10],从而克服了胎儿运动、孕妇不适及手动操作等局限。GAGOSKI 等^[11]开发用于自动检测胎儿颅脑 MR 图像伪影并重新采集的卷积神经网络模型,其准确率达 85.2%,并可显著缩短检查时间。LI 等^[12]采用基于生物学图像分割的卷积网络算法自动分割胎儿颅脑 MR 图像,其分割结果与参考标准的相关系数高达 0.97。QI 等^[13]提出融合多尺度特征与图卷积注意力机制的分割方法,其可高效、精准地分割胎儿三维 MR 图像中的脑组织。ZHANG 等^[14]提出的双阶段双任务深度学习框架用于提取胎儿 MR 图像特征及评估图像质量的准确率达 86.73%。FIDON 等^[15]提出基于证据理论的可信赖 AI 框架,引入备用算法与故障保护机制,从而显著增强分割胎儿颅脑 MR 图像的鲁棒性。VAHEDIFARD 等^[16]提出的深度学习模型可基于 MRI 自动测量胎儿侧脑室宽度,其准确率达 95%、测量误差 < 1.7 mm。SHE 等^[17]基于 nnU-Net 深度学习框架精准分割胎儿 MR 图像中的大脑、小脑及侧脑室,从而揭示其脑室对称性及发育规律。KOJITA 等^[18]基于深度学习框架,开发用于预测孕周的胎儿颅脑 MRI 模型,其预测结果与实际结果的相关系数为 0.96。SHEN 等^[19]提出注意力引导式深度学习模型,其基于胎儿颅脑 MRI 预测孕周与实际孕周相关系数达 0.97、平均绝对误差仅 6.7 天。此外,YUN 等^[20]建立的 MRI AI 模型在识别胎儿 VM 及其严重程度,以及相关 CNS 异

常方面表现出色。综上,AI 在检测及校正胎儿 MR 图像伪影、自动分割、测量及预测等领域展现巨大潜力;尽管针对 IVM 的数据有限,但初步研究已显示其有望为临床诊断及评估提供可靠支持。

1.3 功能成像 近年来,随着三维 MRI、DTI 及功能 MRI(functional MRI, fMRI) 等技术的广泛应用,IVM 胎儿脑结构与功能研究取得了显著进展。IVM 胎儿存在多种脑发育异常,包括全脑及侧脑室体积增加、脑沟发育迟缓、皮质过度生长及褶皱减少、白质体积减小及功能连接异常等。一项预测脑龄的研究^[21]创新性地采用“多切片模式融合”对胎儿脑部进行功能性评估,从而早期识别 IVM 隐匿性皮质发育异常,为遗传筛查提供影像学标志物。还有研究^[22]进行三维 MRI 定量分析发现,男性胎儿侧脑室体积显著大于女性,且其灰质和小脑体积增长更快,从而为评估胎儿脑发育异常提供影像学依据。HORGOS 等^[23]基于 DTI 结合 Klingler 解剖技术发现,VM 胎儿白质结构变化与神经发育迟缓相关,轻、中及重度 VM 正常发育率分别为 90%、75% 和 60%。一项 fMRI 研究^[24]分析健康胎儿及新生儿功能性脑连接发育特征;结果显示,其脑网络功能连接随孕周增长而逐渐增强、小世界特性逐渐减弱,呈现从后向前、从近端到远端的成熟梯度。KIM 等^[25]则基于胎儿静息态 fMRI 行血氧水平依赖信号分析,进一步指出 VM 与默认网络及感觉运动网络功能连接异常有关,从而为识别 VM 高风险胎儿提供依据。BENKARIM 等^[26]发现,IVM 胎儿岛叶、颞叶后部和枕叶皮质褶皱减少,提示 VM 与皮质发育异常有关。TARUI 等^[27]发现,IVM 胎儿侧脑室体积增大、沟回位置及深度异常、皮质及皮质下实质体积增加。URRU 等^[28]则指出 IVM 胎儿皮质、尤其是左侧枕叶和右侧扣带回皮质厚度减小,而折叠度增加。VASUNG 等^[29]进一步证实 IVM 胎儿皮质过度生长与白质体积减小并存,并发现额叶皮质体积减小及脑沟发育不良与其神经行为相关。还有研究^[30]结果显示,IVM 胎儿枕叶皮层及灰质体积增加与语言及精细运动发育迟缓相关,或可作为预测预后的影像学标志。上述基于 MR 功能成像的研究从多维度表明 IVM 胎儿脑发育的复杂性,并强调早期影像学标志对产前筛查的价值。

1.4 预测预后及转归 MRI 可间接检测 IVM 胎儿颅脑微小异常、评估皮质发育,并联合机器学习建立影像组学模型,为预测胎儿神经发育结局提供可靠依据。一项基于 DTI 的纤维像素分析研究^[31]发现,轻中度

IVM 胎儿已存在脑白质纤维结构改变,以侧脑室体部、三角区及颞角周围白质纤维束为主;且该变化或可作为预测新生儿相关神经发育不良风险的早期结构性标志物。CHEN 等^[32]建立产前 MRI 影像组学机器学习模型,发现其可用于预测 IVM 胎儿出生后脑室异常风险;且该研究基于单次 MR 扫描提取影像组学特征,并发现其用于评估皮质下微结构变化的效能优于传统体积测量,有助于避免重复检查;DTI 则能进一步增强其检测敏感性,更好地揭示侧脑室壁纤维损伤。还有研究^[33]聚焦于 IVM 胎儿 MRI 特征与神经发育结局的相关性;该研究采用 MR 三维体积成像定量分析 IVM 胎儿颅脑特征(如侧脑室不对称、颅内腔室体积变化),并发现该特征与 3 岁时其认知和运动功能异常显著相关。KUWASHIMA^[34]进一步证实了 MRI 用于预测 VM 胎儿预后及转归的价值。综上所述, MRI 量化分析对早期评估胎儿 IVM 风险、预测预后及转归具有核心作用,从而有助于提高诊断精准度并指导临床干预。

2 胎儿 MRI 局限性

MRI 用于胎儿 IVM 仍存在技术、操作等局限:运动伪影,胎儿运动及母体位移易引起图像伪影、降低成像质量,虽可采用快速成像序列加以改善,但效果有限;成像分辨率及结构局限性,胎儿脑体积小、位置深,信号衰减严重,使 MRI 难以捕捉其微小异常,高场强设备虽有助于提升图像分辨率,但有介电效应及热风险^[35];预测预后准确率不足, MRI 虽在检测结构异常方面表现出色,但预测胎儿神经发育结局还需结合功能成像,而功能成像存在易受胎儿运动影响及缺乏标准化协议等局限。

3 小结及展望

MRI 有助于产前诊断胎儿 IVM、预测预后及转归;随着 AI 及功能成像技术的发展,其可更好地用于临床。未来,胎儿 MRI 联合 AI 伪影校正技术、多中心标准化协议及低场强设备等可进一步缓解现有局限,为精准诊断及管理 IVM 提供更可靠的影像学依据。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:杨光旭查阅文献、撰写文章;刘鸿圣指导、审阅文章。

[参考文献]

- [1] GIORGIONE V, HARATZ K K, CONSTANTINI S, et al. Fetal cerebral ventriculomegaly: What do we tell the prospective

parents?[J]. Prenat Diagn, 2022, 42(13):1674-1681.

- [2] ALI F, GURUNG F, NANDA S, et al. Perinatal and neurodevelopmental outcomes of fetal isolated ventriculomegaly: A systematic review and meta-analysis[J]. Transl Pediatr, 2024, 13(4):555-574.
- [3] MACHADO-RIVAS F, GANDHI J, CHOI J J, et al. Normal growth, sexual dimorphism, and lateral asymmetries at fetal brain MRI[J]. Radiology, 2022, 303(1):162-170.
- [4] 张思敏, 盛长青, 张喻, 等. 影像学产前评估胎儿脑皮质发育畸形研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2025, 41(3):377-381.
- [5] KEBIRI H, GHOLIPOUR A, VASUNG L, et al. Deep learning microstructure estimation of developing brains from diffusion MRI: A newborn and fetal study[J]. Med Image Anal, 2024, 95:103186.
- [6] CORROENNE R, ARTHUIS C, KASPRIAN G, et al. Diffusion tensor imaging of fetal brain: Principles, potential and limitations of promising technique[J]. Ultrasound Obstet Gynecol, 2022, 60(4):470-476.
- [7] YUE F, YANG X, LIU N, et al. Prenatal diagnosis and pregnancy outcomes in fetuses with ventriculomegaly[J]. Front Med (Lausanne), 2024, 11:1349171.
- [8] ZHANG H, LINPENG S, TENG Y, et al. A *de novo* heterozygous POU3F3 genotype for the p.(Q214*) variant in a fetus with transient isolated bilateral mild ventriculomegaly: A case report and review of the literature[J]. Front Pediatr, 2023, 11:1177137.
- [9] GUO D, HE D, SHEN Q, et al. Comprehensive assessment of fetal bilateral ventriculomegaly based on genetic disorders, cytomegalovirus infection, extra prenatal imaging and pregnancy outcomes in a tertiary referral center[J]. Int J Gen Med, 2021, 14:7719-7728.
- [10] VAHEDIFARD F, LIU X, ADEPOJU J O, et al. Automatic localization of the pons and vermis on fetal brain MR imaging using a U-Net deep learning model [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2023, 44(10):1191-1200.
- [11] GAGOSKI B, XU J, WIGHTON P, et al. Automated detection and reacquisition of motion-degraded images in fetal HASTE imaging at 3 T[J]. Magn Reson Med, 2022, 87(4):1914-1922.
- [12] LI H, YANG G, LUO W, et al. Mapping fetal brain development based on automated segmentation and 4D brain atlasing [J]. Brain Struct Funct, 2021, 226(6):1961-1972.
- [13] QI K, YAN C, NIU D, et al. MG-Net: A fetal brain tissue segmentation method based on multiscale feature fusion and graph convolution attention mechanisms[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2024, 257:108451.
- [14] ZHANG W, ZHANG X, LI L, et al. A joint brain extraction and image quality assessment framework for fetal brain MRI slices[J]. Neuroimage, 2024, 290:120560.
- [15] FIDON L, AERTSEN M, KOFLER F, et al. A dempster-shafer approach to trustworthy AI with application to fetal brain MRI segmentation[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell,

- 2024, 46(5):3784-3795.
- [16] VAHEDIFARD F, AI H A, SUPANICH M P, et al. Automatic ventriculomegaly detection in fetal brain MRI: A step-by-step deep learning model for novel 2D-3D linear measurements[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(14):2355.
- [17] SHE J, HUANG H, YE Z, et al. Automatic biometry of fetal brain MRIs using deep and machine learning techniques[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):17860.
- [18] KOJITA Y, MATSUO H, KANDA T, et al. Deep learning model for predicting gestational age after the first trimester using fetal MRI[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(6):3775-3782.
- [19] SHEN L, ZHENG J, LEE E H, et al. Attention-guided deep learning for gestational age prediction using fetal brain MRI[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1):1408.
- [20] YUN H J, LEE H J, YOU S, et al. Deep learning-based brain age prediction using MRI to identify fetuses with cerebral ventriculomegaly[J]. *Radiol Artif Intell*, 2025, 7(2):e240115.
- [21] KAANDORP M P T, AGBELESE D, ASMA-ULL H, et al. Enhancing fetal brain MRI segmentation in ventriculomegaly using generative AI-augmented pathological data [C]// *International Workshop on Preterm, Perinatal and Paediatric Image Analysis*. Cham: Springer, 2025:84-92.
- [22] REN J Y, ZHU M, WANG G, et al. Quantification of intracranial structures volume in fetuses using 3-D volumetric MRI: Normal values at 19 to 37 weeks' gestation[J]. *Front Neurosci*, 2022, 16:886083.
- [23] HORGOS B, MECEA M, BOER A, et al. White matter changes in fetal brains with ventriculomegaly [J]. *Front Neuroanat*, 2023, 17:1160742.
- [24] DESROSIERS J, CARON-DESROCHERS L, RENÉ A, et al. Functional connectivity development in the prenatal and neonatal stages measured by functional magnetic resonance imaging: A systematic review [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2024, 163:105778.
- [25] KIM J H, DE ASIS-CRUZ J, COOK K M, et al. Evaluating the effects of volume censoring on fetal functional connectivity[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1):13181.
- [26] BENKARIM O, PIELLA G, REKIK I, et al. A novel approach to multiple anatomical shape analysis: Application to fetal ventriculomegaly[J]. *Med Image Anal*, 2020, 64:101750.
- [27] TARUI T, MADAN N, GRAHAM G, et al. Comprehensive quantitative analyses of fetal magnetic resonance imaging in isolated cerebral ventriculomegaly[J]. *Neuroimage Clin*, 2023, 37:103357.
- [28] URRU A, BENKARIM O, MARTÍ-JUAN G, et al. Longitudinal assessment of abnormal cortical folding in fetuses and neonates with isolated non-severe ventriculomegaly [J]. *Brain Behav*, 2025, 15(1):e70255.
- [29] VASUNG L, ROLLINS C K, ZHANG J, et al. Abnormal development of transient fetal zones in mild isolated fetal ventriculomegaly[J]. *Cereb Cortex*, 2023, 33(4):1130-1139.
- [30] ZHANG X, CHEN Z, LI Y, et al. Volume development changes in the occipital lobe gyrus assessed by MRI in fetuses with isolated ventriculomegaly correlate with neurological development in infancy and early childhood [J]. *J Perinatol*, 2024, 44(8):1178-1185.
- [31] 张超, 陈瑞可, 孙聪, 等. 扩散 MRI 评价轻中度孤立性侧脑室扩张胎儿脑白质纤维结构改变的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2024, 58(8):843-849.
- [32] CHEN X, XU D, GU X, et al. Machine learning in prenatal MRI predicts postnatal ventricular abnormalities in fetuses with isolated ventriculomegaly [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(11):7115-7124.
- [33] GRIFFITHS P D, JARVIS D, CONNOLLY D J, et al. Predicting neurodevelopmental outcomes in fetuses with isolated mild ventriculomegaly[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2022, 107(4):431-436.
- [34] KUWASHIMA S. Fetal MRI of the supratentorial brain abnormalities: What we should know about ventriculomegaly? [J]. *Jpn J Radiol*, 2023, 41(12):1323-1330.
- [35] SIALA S, GUIMARAES C V. Fundamentals of fetal brain MRI: Indications, technique, and normal anatomy[J]. *Pediatr Radiol*, 2025. doi: 10.1007/s00247-025-06240-3. Online ahead of print.