

论 著

超声联合MRI对胎儿脑室扩张的预测价值*

杨晓华^{1,*} 张华华²1.北京大学第一医院太原医院
(太原市中心医院)产科2.北京大学第一医院太原医院
(太原市中心医院)医学影像科
(山西太原 030009)

【摘要】目的 探讨超声检测脉络丛与侧脑室特征水平联合磁共振成像(MRI)测量表观弥散系数(ADC)对孕早期胎儿脑室扩张的预测价值。**方法** 回顾性选取2018年1月至2023年1月妊娠16周后于我院诊断为脑室扩张的186例胎儿作为研究对象,并选取同期于我院接受检查的50例正常发育胎儿作为对照组。选取胎儿孕11~13周+6天的超声图像进行特征分析,测量胎儿的头部生物统计学指标,计算脉络丛与侧脑室的特征比值,收集MRI原始数据进行图像分析,测量扩张侧额叶、枕叶、基底核以及丘脑的ADC值,采用Logistic回归分析影响胎儿脑室扩张的相关因素,并采用ROC曲线评估孕早期脉络丛与侧脑室比值联合ADC值对胎儿脑室扩张的预测准确性。**结果** 多因素Logistic回归分析显示,孕早期PL/VL(OR=0.355)、PA/VA(OR=0.247)、PD/VD(OR=0.112)、PA/BPD(OR=0.667)、额叶ADC值(OR=0.748)、枕叶ADC值(OR=0.560)、基底核ADC值(OR=0.674)是胎儿发生脑室扩张的独立影响因素(均 $P<0.05$);ROC曲线显示,孕早期PL/VL、PA/VA、PD/VD、PA/BPD比值以及额叶、枕叶、基底核的ADC值均对胎儿发生脑室扩张具有良好的预测准确性,AUC分别为0.714、0.799、0.759、0.727、0.658、0.731、0.720,将4项超声指标和3项MRI指标作为联合预测模型发现,其对脑室扩大胎儿的预测价值最高,其AUC为0.967,敏感性为88.11%,特异性为96.00%。**结论** 孕早期脉络丛与侧脑室比例失调可用于预测胎儿脑室扩张的发生情况,联合ADC值有助于提高对胎儿脑室扩张的早期诊断价值。

【关键词】 脉络丛;侧脑室;孕早期;
脑室扩大;超声;表观弥散系数

【中图分类号】 R715.3; R714.5

【文献标识码】 A

【基金项目】 中央引导地方科技发展

资金项目(YDZJSX2022A069)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.002

Predictive Value of Ultrasound Combined with MRI in Fetal Ventricular Dilatation*

YANG Xiao-hua^{1,*}, ZHANG Hua-hua².

1.Department of Obstetrical, Peking University First Hospital Taiyuan Hospital (Taiyuan Central Hospital), Taiyuan 030009, Shanxi Province, China

2.Department of Medical Imaging, Peking University First Hospital Taiyuan Hospital (Taiyuan Central Hospital), Taiyuan 030009, Shanxi Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the predictive value of ultrasound detection of choroid plexus and lateral ventricle characteristic level combined with magnetic resonance imaging (MRI) measurement of apparent diffusion coefficient (ADC) for fetal ventricular dilatation in the first trimester. **Methods** 186 fetuses diagnosed with ventricular dilatation in our hospital from January 2018 to January 2023 were selected retrospectively as the research object, and 50 fetuses with normal development were selected as the control group. Select the ultrasound images of the fetus from 11 to 13 weeks +6 days of pregnancy for feature analysis, measure the fetal head biometric index, calculate the feature ratio of choroid plexus to lateral ventricle, collect the original MRI data for image analysis, and measure the ADC values of the dilated frontal lobe, occipital lobe, basal nucleus and thalamus. Logistic regression was used to analyze the related factors affecting fetal ventricular dilatation, and ROC curve was used to evaluate the predictive accuracy of choroid plexus to lateral ventricle ratio combined with ADC value in early pregnancy. **Results** Multivariate Logistic regression analysis showed that PL/VL(OR=0.355), PA/VA(OR=0.247), PD/VD(OR=0.112), PA/BPD(OR=0.667), frontal lobe ADC value (OR=0.748) and occipital lobe ADC value in the first trimester. The ROC curve showed that the ratios of PL/VL, PA/VA, PD/VD, PA/BPD and ADC values of frontal lobe, occipital lobe and basal nucleus all had good predictive accuracy for fetal ventricular dilatation, with AUC of 0.714, 0.799, 0.759, 0.727, 0.658, 0.731 and 0.778 respectively. **Conclusion** The imbalance between choroid plexus and lateral ventricle in early pregnancy can be used to predict the occurrence of fetal ventricular dilatation, and the combination of ADC value is helpful to improve the early diagnostic value of fetal ventricular dilatation.

[Key words] Choroid Plexus; Paracoele; Early Stage Of Pregnancy; Ventricular Enlargement; Ultrasound ; Apparent Dispersion Coefficient

脑室扩张是一种常见的胎儿脑异常,通常指侧脑室扩张,正常的侧脑室三角部宽度为10mm,根据其严重程度可分为轻度和重度,提示胎儿发育神经损伤等脑部异常的预后风险^[1]。脑室扩张本身不是一种畸形,但可提示胎儿合并脑部或其他器官的异常,从而增加胎儿出生后出现神经发育障碍或胎死腹中的风险^[2]。目前临床上通过检查胎儿的颅骨发育情况在孕早期发现胎儿异常情况,而脑室扩张多表现在孕中期,甚至可出现在孕晚期,因此需在孕早期寻求一种更客观的诊断标准来进行诊断^[3]。超声检查可针对胎儿结构进行筛查,发现是否存在严重的结构畸形,是产前超声检查项目中非常重要的一项检查,除了可以测量胎儿头围、顶臀长等正常的生物学指标,还可以通过三维重建技术测量侧脑室和脉络丛的直径、体积等^[4-5]。在既往研究中发现^[6],络丛与侧脑室的体积之比可以更准确的评价脑室扩张胎儿的严重程度,同时对产后的神经系统发育障碍具有良好的预测价值。磁共振成像(MRI)在产前诊断中可以对存在可疑征象的超声结果进行补充和明确,常用于胎儿早期颅内病变和神经发育异常的诊断中,表观弥散系数(ADC)作为MRI弥散成像中一个重要参数,可反应早期脑组织损伤的微环境改变,对于孕早期脑室尚未出现明显扩张或者仅出现轻微扩张迹象的胎儿而言,因脑组织病变引起ADC值的变化,有助于医生对胎儿发育状况进行早期预警^[7-8]。为尽早发现胎儿的脑部异常并进行及时应对,本研究考虑将孕早期超声检测脉络丛与侧脑室特征水平联合MRI测量ADC值用于脑室扩张的预测评估中,探讨其临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性选取2018年1月至2023年1月妊娠16周后于我院诊断为孤立性脑室扩张的186例胎儿作为研究对象,再选取同期于我院接受检查的50例正常发育胎儿作为对照。

纳入标准: (1)脑室扩张符合母胎医学会的诊断标准^[9]。(2)单胎妊娠。(3)对照组胎儿未被诊断脑室扩大且正常生产。(4)孕妇11~13周+6天的胎儿超声及MRI检查数据完整。排除标准: (1)合并颅内出血、脑血管畸形等其他颅内结构异常胎儿。(2)无法获得早期临床检查数据的孕妇。(3)孕妇合并其他脏器或严重组织病变。(4)合并畸形或其他异常征象患儿。(5)存在双侧脑室增宽胎儿。本研究获得本院伦理委员会审批通过。

1.2 方法

1.2.1 基线资料收集: 收集孕妇的基础资料,包括:年龄、吸烟状况、种族、身体质量指数(Body Mass Index, BMI)、产次、检查侧脑室宽度时的孕周。

【第一作者】 杨晓华,女,主任医师,主要研究方向:妇产科超声医学。E-mail: 13934139863@163.com

【通讯作者】 杨晓华

1.2.2 超声资料检查：将储存的二维超声图像通过工作站进行序列图像处理，测量胎儿的头臀长、双顶径(biparietal diameter, BPD)、脉络丛长度(choroid plexus length, PL)、侧脑室长度(lateral ventricle length, VL)、脉络丛面积(choroid plexus area, PA)、侧脑室面积(lateral ventricle area, VA)、脉络丛直径(choroid plexus diameter, PD)、侧脑室直径(lateral ventricle diameter, VD)，并计算PL/VL、PA/VA、PD/VD、PA/BPD的比值。胎儿的BPD于脉络丛水平采用从内到外的方法进行测量；通

过机器追踪方法测量PA、VA，求得PA/VA比值，并取两次测量的平均值以最大限度地减少误差；于脑室两侧垂直于脑室长轴的脑室壁边缘和脉络丛边缘测量PD、VD、PL、VL，直径取两侧脑室壁、脉络丛边缘的最宽直径，长度取两侧脑室壁、脉络丛边缘的最长距离，求得PD/VD、PL/VL比值，取两次测量的平均值。所有的测量均由固定的两名研究人员进行测量。典型病例超声检查结果见图1。

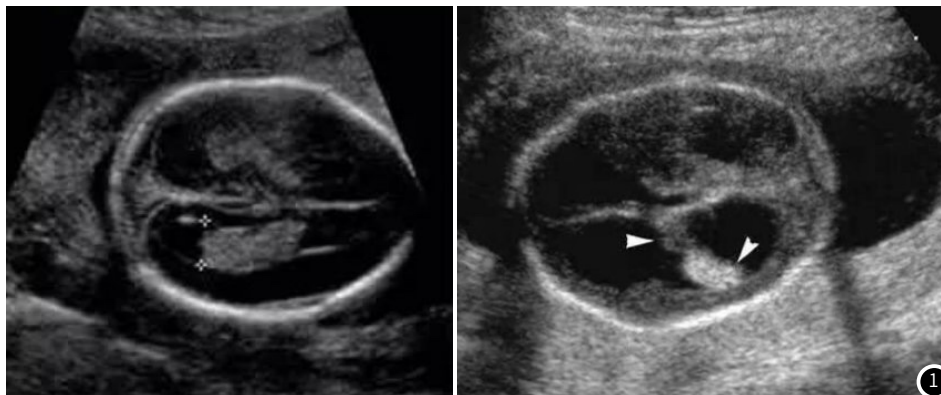


图1 典型病例超声检查结果。

1.2.3 MRI检查：采用3.0T磁共振检查仪(上海联影医疗科技, 型号: uMR 870, 器械准字: 20213060732)进行检查，选择8通道相控阵体线圈，对胎儿头部进行扫描。DWI扫描序列及参数：TR2000~3000ms，TE82.7~86.3ms，层厚4mm，层间距1mm，翻转角60°，矩阵128×130，采集次数2，视野42cm×48cm。

将原始数据传输至数据处理工作站上，提取出要处理的区域(面积15mm²)左右对称放置于胎儿脑部区域，尽量避免距离侧脑室过近，测量扩张侧额叶、枕叶、基底核以及丘脑的ADC值，每个位置取两次测量平均值最为最终结果。典型病例(左侧侧脑室扩张)MRI检查结果见图2。

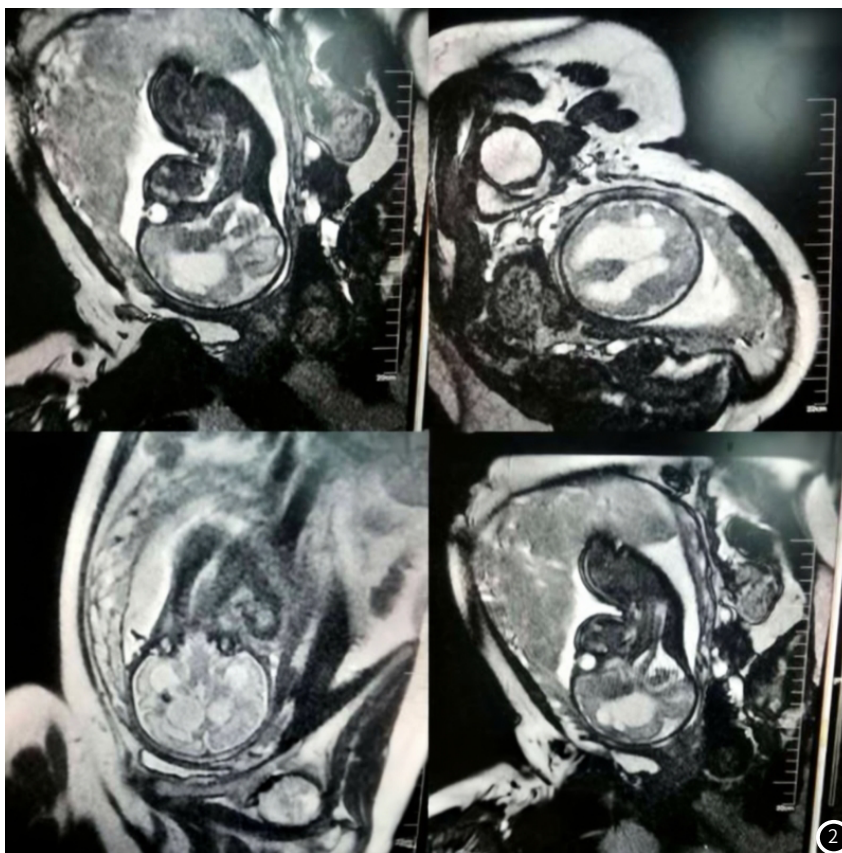


图2 典型病例(左侧侧脑室扩张)MRI检查结果。

1.3 统计学方法 应用SPSS25.0统计学软件进行数据处理。计数资料用(%)表示，无序二分类资料或多分类资料采用 χ^2 检验；计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示，采用t检验；脑室扩张的影响因素分析采

用多因素Logistic回归分析，脑室扩张的诊断价值用ROC曲线分析，采用Delong分析， $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 健康胎儿与脑室扩张胎儿的临床资料比较 两组胎儿母亲在年龄、BMI值、吸烟史、种族以及孕周等基线资料中比较无明显统计学差异($P>0.05$)；在孕早期的超声检查中，胎儿的头臀长、枕额径、头围以及BPD比较无明显统计学差异($P>0.05$)，脑室扩张组胎儿的PL、PA、PL/VL、PA/VA、PD/VD、PA/BPD的比值以及扩张侧额叶、枕叶、基底核的ADC值均低于健康对照组胎儿($P<0.05$)，详见表1。

2.2 影响胎儿脑室扩张的多因素Logistic回归分析 对健康胎儿和脑室扩张胎儿存在差异性的指标进行赋值，详见表2；多因素Logistic回归分析显示，孕早期PL/VL($OR=0.355$)、PA/

VA($OR=0.247$)、PD/VD($OR=0.112$)、PA/BPD($OR=0.667$)、额叶ADC值($OR=0.748$)、枕叶ADC值($OR=0.560$)、基底核ADC值($OR=0.674$)是胎儿发生脑室扩张的独立影响因素(均 $P<0.05$)，详见表3。

2.3 脑室扩大胎儿的ROC预测价值分析 ROC曲线显示，孕早期PL/VL、PA/VA、PD/VD、PA/BPD比值以及额叶、枕叶、基底核的ADC值均对胎儿发生脑室扩张具有良好的预测准确性，AUC分别为0.714、0.799、0.759、0.727、0.658、0.731、0.720，将4项超声指标和3项MRI指标作为联合预测模型发现，其对脑室扩大胎儿的预测价值最高，其AUC为0.967，敏感性为88.11%，特异性为96.00%，详见表4、图3。

表1 健康胎儿与脑室扩张胎儿的临床资料比较

项目	对照组(n=50)	脑室扩张组(n=186)	χ^2/t	P
母亲年龄(岁)	31.26±4.49	30.94±5.07	0.435	0.665
母亲BMI值(kg/m ²)	23.51±2.28	23.61±2.19	0.278	0.782
母亲种族[例(%)]			0.576	0.448
汉族	43(86.00)	167(89.78)		
其他	7(14.00)	19(10.22)		
母亲吸烟史[例(%)]	11(22.00)	48(25.81)	0.305	0.581
平均孕周(周)	12.21±1.06	12.50±0.62	1.851	0.069
产次[例(%)]			0.131	0.717
1次	36(72.00)	129(69.35)		
2次及以上	14(28.00)	57(30.65)		
胎儿超声指标				
头臀长(mm)	62.12±5.49	62.75±6.54	0.690	0.492
BPD(mm)	21.42±2.15	21.88±1.75	1.394	0.168
PL(mm)	13.25±1.43	11.87±1.39	6.094	0.000
VL(mm)	18.02±2.41	18.74±2.04	1.934	0.057
PA(mm ²)	67.15±10.25	59.48±10.35	4.688	0.000
VA(mm ²)	101.25±20.78	120.43±25.64	5.498	0.000
PD(mm)	5.45±0.37	5.51±0.52	0.927	0.356
VD(mm)	7.28±0.67	8.11±0.92	7.136	0.000
PL/VL	0.82±0.08	0.76±0.10	4.450	0.000
PA/VA	0.73±0.11	0.62±0.09	6.510	0.000
PD/VD	0.83±0.07	0.74±0.06	8.308	0.000
PA/BPD	3.25±0.27	2.89±0.34	7.894	0.000
胎儿LMRI指标($\times 10^3\text{mm}^2/\text{s}$)				
额叶ADC值	1.73±0.34	1.50±0.31	4.325	0.000
枕叶ADC值	1.98±0.26	1.74±0.29	5.650	0.000
基底核ADC值	1.60±0.28	1.39±0.30	4.636	0.000
丘脑ADC值	1.71±0.37	1.68±0.42	0.494	0.622

表2 影响因素赋值

危险因素	命名	赋值方法
是否存在脑室扩张	Y	是=1, 否=0
PL	X1	连续变量
PA	X2	连续变量
VA	X3	连续变量
VD	X4	连续变量
PL/VL	X5	连续变量
PA/VA	X6	连续变量
PD/VD	X7	连续变量
PA/BPD	X8	连续变量
额叶ADC值	X9	连续变量
枕叶ADC值	X10	连续变量
基底核ADC值	X11	连续变量

表3 影响胎儿脑室扩张的多因素Logistic回归分析

变量	β	标准误	Wald	P	OR	95% CI	
						下限	上限
PL	-0.229	0.257	0.791	0.374	0.795	0.480	1.317
PA	-0.411	0.285	2.087	0.149	0.663	0.379	1.158
VA	0.033	0.134	0.060	0.806	1.033	0.795	1.343
VD	0.789	0.439	3.223	0.073	2.200	0.930	5.205
PL/VL	-1.035	0.331	9.800	0.002	0.355	0.186	0.679
PA/VA	-1.399	0.399	12.314	0.000	0.247	0.113	0.539
PD/VD	-2.190	0.582	14.156	0.000	0.112	0.036	0.350
PA/BPD	-0.406	0.125	10.534	0.001	0.667	0.522	0.852
额叶ADC值	-0.290	0.100	8.488	0.004	0.748	0.616	0.909
枕叶ADC值	-0.580	0.144	16.179	0.000	0.560	0.422	0.743
基底核ADC值	-0.395	0.107	13.513	0.000	0.674	0.546	0.832

表4 脑室扩大胎儿的预测价值分析

相关指标	AUC	敏感性(%)	特异性(%)	95%CI	Youden指数
PL/VL	0.714	73.51	64.00	0.652~0.771	0.375
PA/VA	0.799	64.05	84.00	0.742~0.849	0.481
PD/VD	0.759	71.89	70.00	0.699~0.812	0.759
PA/BPD	0.727	66.49	80.00	0.665~0.783	0.365
额叶ADC值	0.658	68.11	62.00	0.593~0.718	0.301
枕叶ADC值	0.731	72.97	66.00	0.669~0.787	0.390
基底核ADC值	0.720	78.38	58.00	0.658~0.776	0.364
联合预测	0.967	88.11	96.00	0.936~0.986	0.841

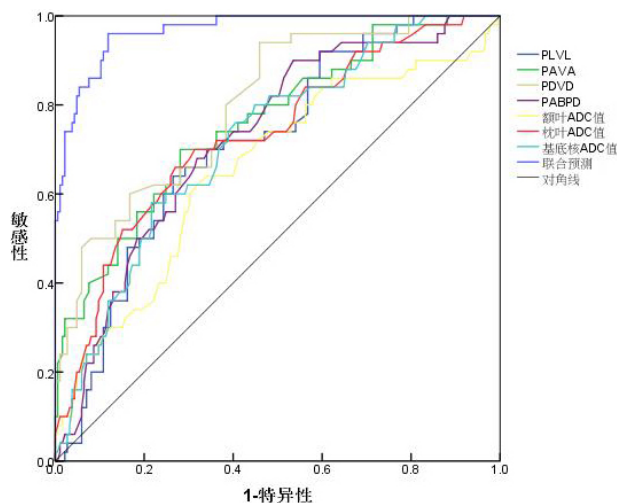


图3 脑室扩大胎儿的ROC曲线分析。

3 讨论

脑室扩张是妊娠中期检查中最常见的胎儿脑异常，但关于孕早期脑室扩张作为潜在脑发育异常诊断的研究十分有限，目前临床上对孕早期脑室扩张的临床诊断尚无明确定义^[10]。在Labrosse等人^[11]研究中发现，脉络丛和侧脑室的测量值可反映孕早期胎儿的室性早搏等异常情况，在这些胎儿中大部分没有中期妊娠结果，由于染色体异常、进行性高压性脑积水等相关情况而终止妊娠，因此对孕早期侧脑室与脉络丛相关指标的异常数据研究成为目前的研究重点，具有临床参考价值。在本研究结果中发现，脑室扩张胎儿与正常发育胎儿在孕11~13周+6天的超声检查和MRI检查中存在着明显差异，脑室扩张胎儿的PL、PA、PL/VL、PA/VA、PD/VD、PA/BPD的比值以及扩张额颞叶、枕叶、基底核的ADC值均低于健康胎儿，提示早期超声检查和MRI检查或对预测胎儿脑组织发育情况具有重要意义。脉络丛位于脑室部位，是胎儿脑脊液产生和循环的血管丛，在孕13周前几乎充满整个侧脑室，13周后开始在侧脑室前角出现无回声，脉络丛产生的脑脊液会经室间孔流至第三脑室，再经中脑水管流经第四脑室、小脑延髓池，迅速扩散至整个蛛网膜下隙，进行血液循环，因此脉络丛和侧脑室的比值可以在一定程度上反映出胎儿脑部发育的异常情况^[12]。在Volpe等人^[13]的研究中发现，孕早期的头围、头臀比等头部测量指标与脉络丛的比率较正常发育胎儿显著降低，本研究结果相似，侧面验证了本研究结果。ADC值反映了水分子在组织内的弥散运动情况，在胎儿出现脑室扩张等病理状态下，水分子的弥散会受到限制，ADC值降低，通过检测ADC值可以了解胎儿的早期脑组织异常。在Segev等人^[14]的研究中发现，较低的ADC值可能提示脑组织存在不可逆的损伤，对于胎儿的神经系统发育可产生不良影响，导致胎儿的预后情况较差。

本研究通过多因素Logistic回归分析显示，孕早期PL/VL、PA/VA、PD/VD、PA/BPD、额叶ADC值、枕叶ADC值、基底核ADC值是胎儿发生脑室扩张的独立影响因素，这表明将脉络丛与侧脑室的面积之比以及ADC值用于脑室扩张的预测价值中具有良好的临床应用价值。临床研究认为^[15-16]，随着孕早期诊断胎儿异常的影响不断增加，早期识别胎儿异常可帮助作出进一步检测的决策，孕妇可获得更全面的临床诊断。在相关研究中^[17]，脑室扩张与染色体异常有关，早期检测高风险后可进行基因测试以分析胎儿的后期大脑发展，便于孕妇及其家属及时进行咨询和决定妊娠进展决策。胎儿因染色体异常或脑部畸形而终止，因此本研究排除了脑部异常和染色体异常的病例，导致脉络丛与侧脑室的测量可能存在一定误差，这在Prasad等人^[18]的研究中同样存在相关情况，但不影响本研究的结果。同时脑室扩张还会影响着胎儿出生后的神经系统发育，Di等人^[19]研究中发现，ADC值对于预测胎儿的神经发育障碍具有良好的预测价值，且可在胎儿发育早期出现异常变化。但尽管通过MRI检查获取的ADC值能够敏感地检测到脑组织微观结构的变化，但对图像质量的要求较高，且受胎儿生理状态以及母体因素的影响，增加了结果解释的复杂性。因此本研究将其联合脉络丛与侧脑室的比值预测孕早期胎儿的脑室扩张情况发现，联合预测模型的预测价值最高，其AUC为0.967，敏感性为88.11%，特异性为96.00%。脉络丛与侧脑室的比值可以从宏观解剖结构上提示侧脑室的形态变化，而ADC值从微观的水分子弥散角度反映脑组织的病理生理改变，两者均出现异常时，对脑室扩张的预测准确性会大大提高^[20-21]。同时在脑室扩张的早期阶段，脉络丛与侧脑室的比值变化相较于脑室扩张症状出现较早，结合脑组织损伤刚开始时出现的ADC值变化，其联合预测可尽早识别胎儿脑室扩张的潜在风险，为临床早期干预提供有力的依据。为保证胎儿的远期正常发育，本研究建议，应在早期超声检查中获取PL/VL、PA/VA等客观测量指标，联合MRI检查的额叶、枕叶、基底核的ADC值，在发现明显异常时于孕20~22周+6天进行早期诊断，进一步确诊脑室扩大情况，从而确定后期治疗方案^[22]。

综上所述，孕早期脉络丛与侧脑室比例失调可用于预测胎儿脑室扩张的发生情况，联合ADC值有助于提高对胎儿脑室扩张的早期诊断价值。本研究的不足之处在于样本量较小，且为单中心

研究，研究普遍性受限，后期需进行多中心的大样本研究，进一步验证本研究结论。

参考文献

- [1] KRISHNAN V, SHARMA A, RAMAMURTHY R, et al. Prenatal ventriculomegaly: diagnosis, prognostication and management [J]. *Neurol India*, 2021, 69 (Supplement): S305-S312.
- [2] KHEIRI G, NADERIAN N, KARAMI S, et al. Prenatal ventriculomegaly: natural course, survival, and neurodevelopmental status [J]. *J Neurosurg Pediatr*, 2021, 27 (5): 497-502.
- [3] SIRA L B, KOZYREV D A, BASHAT D B, et al. Fetal Ventriculomegaly and hydrocephalus - what shouldn't be missed on imaging? [J]. *Neurol India*, 2021, 69 (Supplement): S298-S304.
- [4] RADHAKRISHNAN R, BROWN B P, KRALIK S F, et al. Frontal occipital and frontal temporal horn ratios: comparison and validation of head ultrasound-derived indexes with MRI and ventricular volumes in infantile ventriculomegaly [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2019, 213 (4): 925-931.
- [5] ASHWAL E, BLASER S, LECKIE A, et al. Anterior extension of the choroid plexus into the frontal horns of the fetal lateral cerebral ventricles: prenatal findings and postnatal outcome [J]. *Prenat Diagn*, 2023, 43 (6): 756-762.
- [6] 徐晚虹, 赵艳春, 吕国荣, 等. 三维超声计算机辅助虚拟脏器分析技术检测胎儿脉络丛、侧脑室体积及其临床价值 [J]. *中国超声医学杂志*, 2013, 29 (05): 430-433.
- [7] YASMIN A, PITKÄNEN A, ANDRADE P, et al. Post-injury ventricular enlargement associates with iron in choroid plexus but not with seizure susceptibility nor lesion atrophy-6-month MRI follow-up after experimental traumatic brain injury [J]. *Brain Struct Funct*, 2022, 227 (1): 145-158.
- [8] GIORGIO C, MARCELLO L, ENRICOMARIA M, et al. Magnetic resonance imaging diagnosis in normal pressure hydrocephalus [J]. *World Neurosurg*, 2024, 181: 171-177.
- [9] FOX N S, MONTEAGUDO A, KULLER J A, et al. Mild fetal ventriculomegaly: diagnosis, evaluation, and management [J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2018, 219 (1): B2-B9.
- [10] SIMIOLI S, NAPOLITANO R, QUAGLIA F, et al. Fetal borderline cerebral ventriculomegaly: clinical significance and management [J]. *Minerva Ginecol*, 2009, 61 (2): 109-112.
- [11] LABROSSE K B, BUECHEL J, GUELMEZ H, et al. Presentation of ventriculomegaly at 11-14 weeks of gestation: an analysis of longitudinal data [J]. *Prenat Diagn*, 2023, 43 (7): 910-918.
- [12] JANSSON D, DIERIKS V B, RUSTENHOVEN J, et al. Cardiac glycosides target barrier inflammation of the vasculature, meninges and choroid plexus [J]. *Commun Biol*, 2021, 4 (1): 260.
- [13] VOLPE N, DALL'ASTA A, DI PASQUO E, et al. First-trimester fetal neurosonography: technique and diagnostic potential [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2021, 57 (2): 204-214.
- [14] SEGEV M, DJURABAYEV B, HADI E, et al. Third trimester structural and diffusion brain imaging after single intrauterine fetal death in monozygotic twins: mri-based cohort study [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2022, 43 (4): 620-626.
- [15] MEANS R T. Iron deficiency and iron deficiency anemia: implications and impact in pregnancy, fetal development, and early childhood parameters [J]. *Nutrients*, 2020, 12 (2): 447.
- [16] 李倩, 张丽, 左云鹏. 分析高龄产妇产前胎儿先天畸形超声筛查及危险因素 [J]. *罕见疾病杂志*, 2024, 31 (2): 89-90, 97.
- [17] GRANDE M, ARIGITA M, BOROBIO V, et al. First-trimester detection of structural abnormalities and the role of aneuploidy markers [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2012, 39 (2): 157-163.
- [18] PRASAD S, DI FABRIZIO C, ELTAWHEEL N, et al. First-trimester choroid plexus to lateral ventricle disproportion and prediction of subsequent ventriculomegaly [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2023. doi: 10.1002/uog.26189.
- [19] DI MASCIO D, KHALIL A, PILU G, et al. Role of prenatal magnetic resonance imaging in fetuses with isolated severe ventriculomegaly at neurosonography: A multicenter study [J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2021, 267: 105-110.
- [20] 郭俊丽, 程梅, 刘凤杰. 三维超声自由解剖成像在胎儿唇腭裂产前诊断中的临床意义 [J]. *罕见疾病杂志*, 2025, 32 (8): 52-54.
- [21] 付功, 李克, 张军, 等. 孤立性侧脑室扩张胎儿脑的MRI弥散加权成像评估 [J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2020, 26 (1): 60-63.
- [22] NAMBUKETE A I, STEBBING R V, KEMP B, et al. Learning-based prediction of gestational age from ultrasound images of the fetal brain [J]. *Med Image Anal*, 2015, 21 (1): 72-86.

(收稿日期: 2024-12-27)

(校对编辑: 姚丽娜)