

• 腹部影像学 •

临床和 MRI 特征预测侵袭性胎盘植入和严重产后出血的列线图构建和验证

吴逸冲, 曹满瑞, 陆玮, 夏军, 刘阳, 孔艳青

【摘要】 目的:基于临床和 MRI 特征构建预测侵袭性胎盘植入和严重产后出血的列线图模型并验证。**方法:**对 2019 年 1 月 1 日—2022 年 12 月 31 日在深圳市妇幼保健院因产前检查疑有胎盘前置或胎盘植入性疾病(PAS)而行 MRI 检查的 236 例孕晚期患者的临床和 MRI 资料进行回顾性分析。按 8:2 的比例将患者随机分入训练集(189 例)或验证集(47 例)。通过单因素和多因素 logistics 回归分析筛选临床和 MRI 特征,分别构建侵袭性胎盘植入和严重产后出血的列线图预测模型。采用受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线和决策曲线分析(DCA)评估预测模型的区分度、校准度和诊断效能。**结果:**剖宫产史($OR=2.835, P=0.022$)、胎盘局部膨隆($OR=3.526, P=0.044$)、胎盘-子宫界面不连续($OR=7.97, P=0.006$)、胎盘床异常血管($OR=4.16, P=0.013$)和胎盘陷窝流空信号($OR=6.229, P=0.006$)是预测侵袭性胎盘植入的独立危险因素,联合上述征象构建预测模型并绘制其列线图,其在训练集和验证集中的 AUC 分别为 0.955(95%CI:0.928~0.983)和 0.866(95%CI:0.752~0.980)。胎盘局部膨隆($OR=4.033, P=0.033$)、胎盘床异常血管($OR=4.585, P=0.01$)、胎盘内异常血管($OR=3.684, P=0.034$)和胎盘陷窝流空信号($OR=8.154, P=0.002$)是预测严重产后出血的独立危险因素,联合上述征象构建严重产后出血预测模型并绘制其列线图,其在训练集和验证集中的 AUC 分别为 0.945(95%CI:0.912~0.977)和 0.899(95%CI:0.806~0.993)。**结论:**基于临床和 MRI 特征构建的预测侵袭性胎盘植入和严重产后出血列线图预测模型对临床诊治能提供一定帮助。

【关键词】 胎盘植入; 磁共振成像; 产前诊断; 产后出血; 列线图

【中图分类号】 R445.2; R714.56 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)08-1072-09

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.08.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Development and validation of nomograms based on clinical and MRI signs for predicting invasive placenta accreta and massive postpartum hemorrhage WU Yi-chong, CAO Man-rui, LU Wei, et al. Graduate School, Guangzhou Medical University, Guangzhou 511436, China

【Abstract】 Objective: This study was aimed to develop and validate nomogram models for predicting invasive placenta accreta and massive postpartum hemorrhage based on clinical and MRI characteristics. **Methods:** From January 1, 2019 to December 31, 2022, the clinical and MRI data of 236 late-pregnant patients in our hospital, who underwent MRI for suspected placenta previa or placenta accreta spectrum (PAS), were retrospectively analyzed. All the cases were randomly allocated into a training set (189 cases) and a validation set (47 cases) in an ratio of 8:2. Univariate and multivariate logistic regression analyses were used to identify clinical and MRI characteristics associated with invasive placenta accreta and massive postpartum hemorrhage ($\geq 1000\text{mL}$). Subsequently, nomogram prediction models were established. The models were validated using the validation set data, and their performance was assessed using receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, and decision curve analyses (DCA). **Results:** The history of cesarean section ($OR=2.835, P=0.022$), placental bulge ($OR=3.526, P=0.044$), discontinuity of the uteroplacental interface ($OR=7.97, P=0.006$), abnormal vascularization of the placental bed ($OR=4.16, P=0.013$) and flow void signals in the placental lacunae ($OR=6.229, P=0.006$) were identified as independent risk factors for invasive placen-

作者单位: 511436 广东广州, 广州医科大学研究生院(吴逸冲、夏军); 518028 广东深圳, 深圳市妇幼保健院放射科(吴逸冲、曹满瑞、陆玮、刘阳、孔艳青); 518035 广东深圳, 深圳市第二人民医院(深圳大学第一附属医院)放射科(夏军)

作者简介: 吴逸冲(1984—), 男, 广东茂名, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事小儿影像诊断工作。

通讯作者: 夏军, E-mail: xiajun@email.szu.edu.cn

ta accreta. A predictive model incorporating these factors was developed, and its corresponding nomogram was plotted. The area under the curve (AUC) of the model was 0.955 (95%CI:0.928~0.983) in the training set and 0.866 (95%CI:0.752~0.980) in the validation set. For predicting massive postpartum hemorrhage, independent risk factors included placental bulge (OR=4.033, $P=0.033$), abnormal vascularization of the placental bed (OR=4.585, $P=0.01$), abnormal intraplacental vascularity (OR=3.684, $P=0.034$), and flow void signals in the placental lacunae (OR=8.154, $P=0.002$) were independent risk factors for predicting massive postpartum hemorrhage. A predictive model for massive postpartum hemorrhage was constructed using these factors, and its nomogram was plotted, with AUCs of 0.945 (95%CI:0.912~0.977) in the training set and 0.899 (95%CI:0.806~0.993) in the validation set. **Conclusion:** The nomogram prediction models of invasive placenta accreta and massive postpartum hemorrhage, based on clinical and MRI characteristics, are beneficial for clinical diagnosis and treatment.

【Key words】 Placenta accreta; Magnetic resonance imaging; Prenatal diagnosis; Postpartum Hemorrhage; Nomogram

胎盘植入性疾病(placenta accreta spectrum disorder, PAS)是指胎盘绒毛不同程度侵犯子宫肌层的一类疾病。国际妇产科联盟(FIGO)按胎盘侵犯深度将其分为3级:胎盘粘连(1级)、胎盘植入(2级)和穿透性胎盘植入(3级)。PAS 2级和3级统称为侵袭性胎盘植入,是PAS中较严重的类型,容易导致严重产后出血(指胎儿娩出后24 h内出血量 ≥ 1000 mL)等严重并发症而威胁母婴的生命安全^[1-3]。因此,产前对侵袭性胎盘植入和产后出血量的预测均有重要意义,可指导临床决策及改善患者预后。

超声是产前诊断PAS的一线检查手段,但存在一定的局限性;MRI在评估胎盘植入程度和深度方面较超声有较大优势,可作为有效的补充手段^[4-5]。MRI诊断PAS的征象较多,既往对这些征象的研究多集中于对PAS的诊断效能,对产后出血进行预测的相关研究较少。另外,多个MRI征象联合诊断侵袭性胎盘植入和严重产后出血的价值目前尚未完全阐明,缺乏统一的共识和参考标准^[6-7]。本研究通过分析和筛选PAS的MRI征象,构建并验证预测侵袭性胎盘植入和产后出血的列线图模型,旨在提高对PAS的影像诊断价值。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性搜集2019年1月1日—2022年12月31日在本院产前检查时疑有PAS而行MRI检查的晚孕期患者的临床和MRI资料。纳入标准:分娩前行3周内行MRI检查、MRI检查孕周 ≥ 28 周、MRI图像清晰、在本院行剖宫产术且术中剥离胎盘、经临床和/或病理诊断PAS且进行分级、有胎儿娩出后24 h内产妇出血量(产后出血量)的资料。排除标准:多胎妊娠、

胎盘早剥、顺产、胎盘畸形或功能不全。最终纳入236例孕妇患者,年龄31~37岁,中位年龄34岁;中位分娩孕周36.6周(29.3~40.3周);产后出血量200~8550 mL,中位数为500 mL。

本研究获得本院医学伦理委员会的批准(深妇幼论审[2018]070号)。所有患者在MRI检查前签署了知情同意书。

2. 研究分组

236例中,101例为侵袭性胎盘植入(PAS 2级67例, PAS 3级34例),135例为非侵袭性胎盘植入(PAS 1级64例,无PAS 71例);发生严重产后出血者87例(79例为侵袭性胎盘植入,8例为非侵袭性胎盘植入),未发生严重产后出血149例。

以随机数字表法按8:2的比例将所有患者分为2组:训练集189例,验证集47例。研究侵袭性胎盘植入时,将训练集分为侵袭性胎盘植入组(侵袭组,76例)和非侵袭性胎盘植入组(非侵袭组,113例);研究严重产后出血时,将训练集分为严重产后出血组(大出血组,68例)和非严重产后出血组(非大出血组,121例)。

3. MRI 检查方法

使用 Philips Achieva Nova Dual 1.5T 磁共振扫描仪和16通道体部相控阵线圈。扫描时患者取仰卧位、头先进,扫描范围自宫底上方2 cm至耻骨联合下方水平,扫描方位包括横轴面、矢状面和冠状面,扫描序列及参数如下。①平衡式快速场回波序列(balanced fast field Echo, B-FFE): TR 4.6 ms, TE 2.3 ms,翻转角 80° ,并行采集加速因子2,层厚4 mm,层间距0 mm,视野400 mm $\times$ 400 mm;②单次激发快速自旋回波序列(single shot turbo spin echo, SS-TSE) T₂WI: TR 800 ms, TE 85 ms,翻转角 120° ,并行

采集加速因子 2, 层厚 4 mm, 层间距 0 mm, 视野 400 mm×400 mm; ③ TSE-T₁WI: TR 456 ms, TE 13 ms, 视野 320 mm×320 mm~400 mm×400 mm, 翻转角 90°, 层厚 4 mm, 层间距 0.8 mm。

4. 诊断标准和资料分析

胎盘植入的临床和病理诊断分别依据 2018 年 FIGO 发布的 PAS 临床分类共识指南^[1]和 2020 年 PAS 病理诊断分类报告指南^[8]。严重产后出血的诊断标准:根据 2023 版产后出血预防和处理指南,将剖宫产术后 24 h 内出血量≥1000 mL 定义为严重产后出血^[9]。

临床资料:记录患者的年龄、剖宫产史、孕次、人流术次和是否为前置胎盘。

由 2 位具有 8 年以上胎盘 MRI 诊断经验的影像科医师采用盲法判断胎盘的 MRI 征象,意见不一致时增加 1 位高年资医师,由三位医师共同协商并达成一致意见,本研究中观察分析的主要 MRI 征象如下。①胎盘局部膨隆:胎盘组织局限性突向子宫肌层;②胎盘-子宫界面不连续:T₂WI 上胎盘床下方的胎盘与子宫界面正常时呈连续低信号线,有 PAS 时此线可中断或消失;③子宫肌层变薄:胎盘附着部位的子宫肌层变薄或不可见;④胎盘床异常血管:胎盘床内可见迂曲管状流空血管影,在 T₂WI 或 T₁WI 上呈低信号,B-FFE 序列上呈高信号;⑤胎盘内异常血管:胎盘内有 1 支或以上迂曲增粗的血管影,在 T₂WI 或 T₁WI 上呈低信号(流空信号),B-FFE 序列上呈高信号,自胎盘的胎儿面向母体面分布,可与脐带相连;⑥胎盘血湖:指胎盘子叶中心或子叶间充满血液的空间,形状不规则,最大径≥1 cm,周围环绕正常胎盘组织,在 B-FFE 序列及 T₂WI 序列呈均匀高信号;⑦胎盘陷窝流空信号:胎盘陷窝指胎盘内多发大而不规则的充满母体血液的腔隙,形态不规则或呈“虫蛀”状,自胎盘内向胎盘床延伸,甚至与胎盘床异常血管勾通,在 B-FFE 序列呈高信号,T₂WI 序列出现流空信号。

5. 统计学分析

使用 IBM SPSS 25.0 和 R4.0.3 统计软件进行统计学分析,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。符合正态分布的计量资料采用均数±标准差表示,两组间的比较采用独立样本 t 检验;呈偏态分布的计量资料采用 M(P25,P75)表示,两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;计数资料以例(百分比)表示,组间比较采用 χ^2 检验。分别以侵袭性胎盘植入和严重产后出血为因变量,临床资料和 MRI 征象为自变量,对训练集数据进行单因素分析,将单因素分析中 $P<0.10$ 的自变量纳入多因素 logistics 回归分析,根据多因素分析结果,分别构建侵袭性胎盘植入的列线图预测模型和严

重产后出血的列线图预测模型。对验证集数据,采用 Bootstrap 自抽样法重复抽样 1000 次的方式对模型进行内部验证。分别采用 ROC 曲线、校准曲线和临床决策曲线(decision curve analysis,DCA)在训练集和验证集中评估列线图预测模型的区分度、校准度和临床适用性。

结 果

1. 基线临床和 MRI 资料的比较

训练集和验证集中临床资料和 MRI 征象的比较结果详见表 1。两组之间各项临床和 MRI 征象的差异均无统计学意义($P>0.05$),表明 2 个数据集的资料相匹配,可用于模型的构建和验证。

表 1 训练集与验证集的临床资料和 MRI 征象的比较

因素	训练集 (n=189)	验证集 (n=47)	χ^2/Z 值	P 值
年龄/岁	34(31,37)	33(32,37)	-0.138 ^a	0.890
剖宫产史/次	1(0,1)	1(0,1)	-0.027 ^a	0.979
孕次	3(2,4)	3(2,4)	-0.043 ^a	0.966
人流史/次	0(0,1)	1(0,1)	-0.384 ^a	0.701
前置胎盘/例			0.300 ^b	1.074
有	148(78.3%)	40(85.1%)		
无	41(21.7%)	7(14.9%)		
胎盘局部膨隆/例			0.468 ^b	0.494
有	90(47.6%)	25(53.2%)		
无	99(52.4%)	22(46.8%)		
胎盘-子宫界面不连续/例			0.668 ^b	0.414
有	109(57.7%)	24(51.1%)		
无	80(42.3%)	23(48.9%)		
子宫肌层变薄/例			0.781 ^b	0.377
有	110(58.2%)	24(51.1%)		
无	79(41.8%)	23(48.9%)		
胎盘床异常血管/例			0.668 ^b	0.414
有	96(50.8%)	27(57.4%)		
无	93(49.2%)	20(42.6%)		
胎盘内异常血管/例			0.101 ^b	0.751
有	48(25.4%)	13(27.7%)		
无	141(74.6%)	34(72.3%)		
胎盘陷窝流空信号/例			0.051 ^b	0.821
有	81(42.9%)	21(44.7%)		
无	108(57.1%)	26(55.3%)		
胎盘血湖/例			0.564 ^b	0.453
有	81(42.9%)	23(48.9%)		
无	108(57.1%)	24(51.1%)		

注:^a和^b分别代表 Z 值和 χ^2 值。

2. 列线图预测模型的构建

对训练集数据的单因素分析结果见表 2。统计分析结果显示,显示,剖宫产次、孕次、人流术次、前置胎盘、胎盘局部膨隆、胎盘-子宫界面不连续、子宫肌层变薄、胎盘床异常血管、胎盘内异常血管、胎盘血湖和胎盘陷窝流空信号在侵袭组与非侵袭组、大出血组与非大出血组之间的差异均有统计学意义($P<0.05$)。

将组间差异有统计学意义($P<0.05$)的参数纳入多因素 logistics 回归分析,结果显示:剖宫次、胎盘局部膨隆、胎盘-子宫界面不连续、胎盘床异常血管和胎盘陷窝流空信号是侵袭性胎盘植入的独立危险因素;胎盘局部膨隆、胎盘床异常血管、胎盘内异常血管和胎

表2 训练集中临床资料和MRI征象的单因素分析结果

指标/征象	侵袭性胎盘植入		统计量	P 值	严重产后出血		统计量	P 值
	有(n=76)	无(n=113)			有(n=68)	无(n=121)		
年龄/岁	34.3±3.9	33.7±4.5	-0.624 ^a	0.533	34.4±4.1	33.7±4.3	-1.192 ^a	0.235
剖宫产/次	1(1,1)	1(0,1)	-5.083 ^b	<0.001	1(1,1)	1(0,1)	-4.540 ^b	<0.001
孕次	3.5(3,4)	3(2,4)	-3.220 ^b	0.001	4(3,5)	3(2,4)	-3.835 ^b	<0.001
人流术次	1(0,2)	0(0,1)	-3.726 ^b	<0.001	1(0,2)	0(0,1)	-4.041 ^b	<0.001
前置胎盘/例	66(86.8%)	82(72.6%)	5.451 ^c	0.02	62(91.2%)	86(71.1%)	10.356 ^c	0.001
胎盘局部膨隆/例	63(82.9%)	25(22.1%)	67.444 ^c	<0.001	58(85.3%)	32(26.4%)	60.442 ^c	<0.001
胎盘-子宫界面不连续/例	72(94.7%)	37(32.7%)	71.537 ^c	<0.001	61(89.7%)	48(39.7%)	44.649 ^c	<0.001
子宫肌层变薄/例	69(90.8%)	40(35.4%)	57.111 ^c	<0.001	59(86.8%)	51(42.1%)	35.622 ^c	<0.001
胎盘床异常血管/例	65(85.5%)	32(28.3%)	59.526 ^c	<0.001	59(86.8%)	37(30.6%)	54.987 ^c	<0.001
胎盘内异常血管/例	37(48.7%)	10(8.8%)	38.591 ^c	<0.001	38(55.9%)	10(8.3%)	52.100 ^c	<0.001
胎盘血湖/例	59(77.6%)	21(18.6%)	64.899 ^c	<0.001	56(82.4%)	25(20.7%)	67.655 ^c	<0.001
胎盘陷窝流空信号/例	60(79.9%)	21(18.6%)	67.607 ^c	<0.001	57(83.8%)	24(19.8%)	72.787 ^c	<0.001

注：^a、^b、^c 分别代表 *t*、*Z* 和 χ^2 值。括号内为 P25、P75(分类变量)或百分比(计数资料)。

表3 训练集中多因素logistics回归分析结果

MRI 征象	侵袭性胎盘植入		严重产后出血	
	OR 值(95%CI)	P 值	OR 值(95%CI)	P 值
剖宫产次	2.835(1.165~6.852)	0.022	—	—
胎盘局部膨隆	3.526(1.037~11.984)	0.044	4.033(1.119~14.535)	0.033
胎盘-子宫界面不连续	7.970(1.841~34.508)	0.006	—	—
胎盘床异常血管	4.160(1.352~12.802)	0.013	4.585(1.448~14.517)	0.010
胎盘内异常血管	—	—	3.684(1.104~12.293)	0.034
胎盘陷窝流空信号	6.229(1.670~23.229)	0.006	8.154(2.166~30.692)	0.002

盘陷窝流空信号为严重产后出血的独立危险因素,详见表3。基于筛选出的上述危险因素分别构建侵袭性胎盘植入和严重产后出血的列线图预测模型(图1)。

侵袭性胎盘植入的列线图模型(图1a)表明,具有剖宫产次、胎盘局部膨隆、胎盘-子宫界面不连续、胎盘床异常血管和胎盘陷窝流空信号特征的患者列线图模型评分越高,发生侵袭性胎盘植入的风险越大;严重产后出血的列线图模型(图1b)表明,具有胎盘局部膨隆、胎盘床异常血管、胎盘内异常血管和胎盘陷窝流空信号特征的患者列线图模型评分越高,发生严重产后出血的风险越大。

3. 列线图预测模型的效能分析和验证

ROC 曲线(图5a、6a、7a、8a)显示,在训练集和验证集中,侵袭性胎盘植入列线图模型的 AUC 分别为 0.955(95%CI:0.928~0.983)和 0.866(95%CI:0.752~0.98);严重产后出血列线图预测模型的 AUC 分别为 0.945(95%CI:0.912~0.977)和 0.899(95%CI:0.806~0.993)。校准曲线(图5b、6b、7b、8b)显示,侵袭性胎盘植入和严重产后出血列线图预测模型的预测概率与实际概率间的一致性均较好。临床决策曲线(图5c、6c、7c、8c)显示,侵袭性胎盘植入列线图预测模型在训练集和验证集的阈值概率分别在 0.01~0.98和0.01~0.88时,严重产后出血列线图预测模

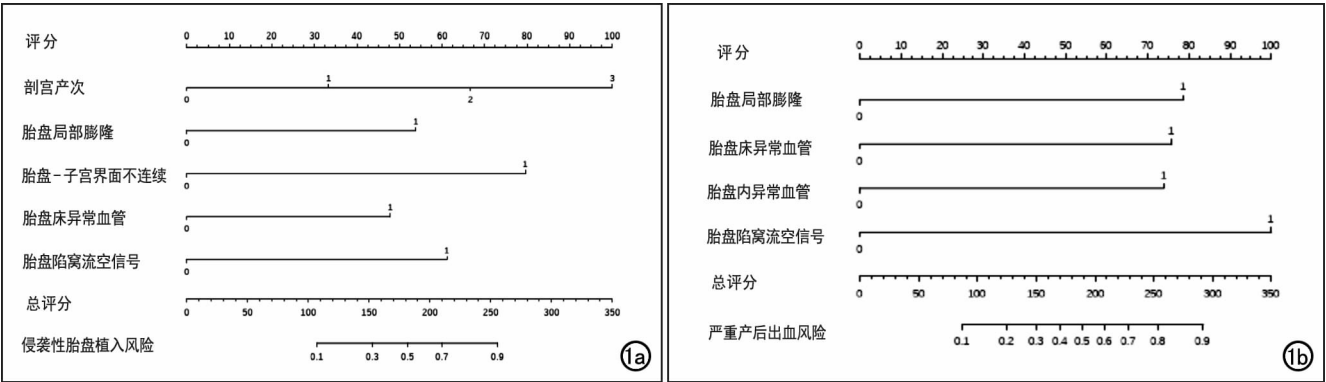


图1 列线图模型。a)预测侵袭性胎盘植入的列线图;b)预测产后严重出血的列线图。注:列线图中剖宫产次赋值为0~3,各项MRI征象(赋值0表示“无此征象”,1表示有此征象)在所对应的评分标尺(0~100)上的得分值相加,得出总评分,总评分对应值向下投射至风险分值标尺,得出相应侵袭性胎盘植入或严重产后出血的风险预测概率值。

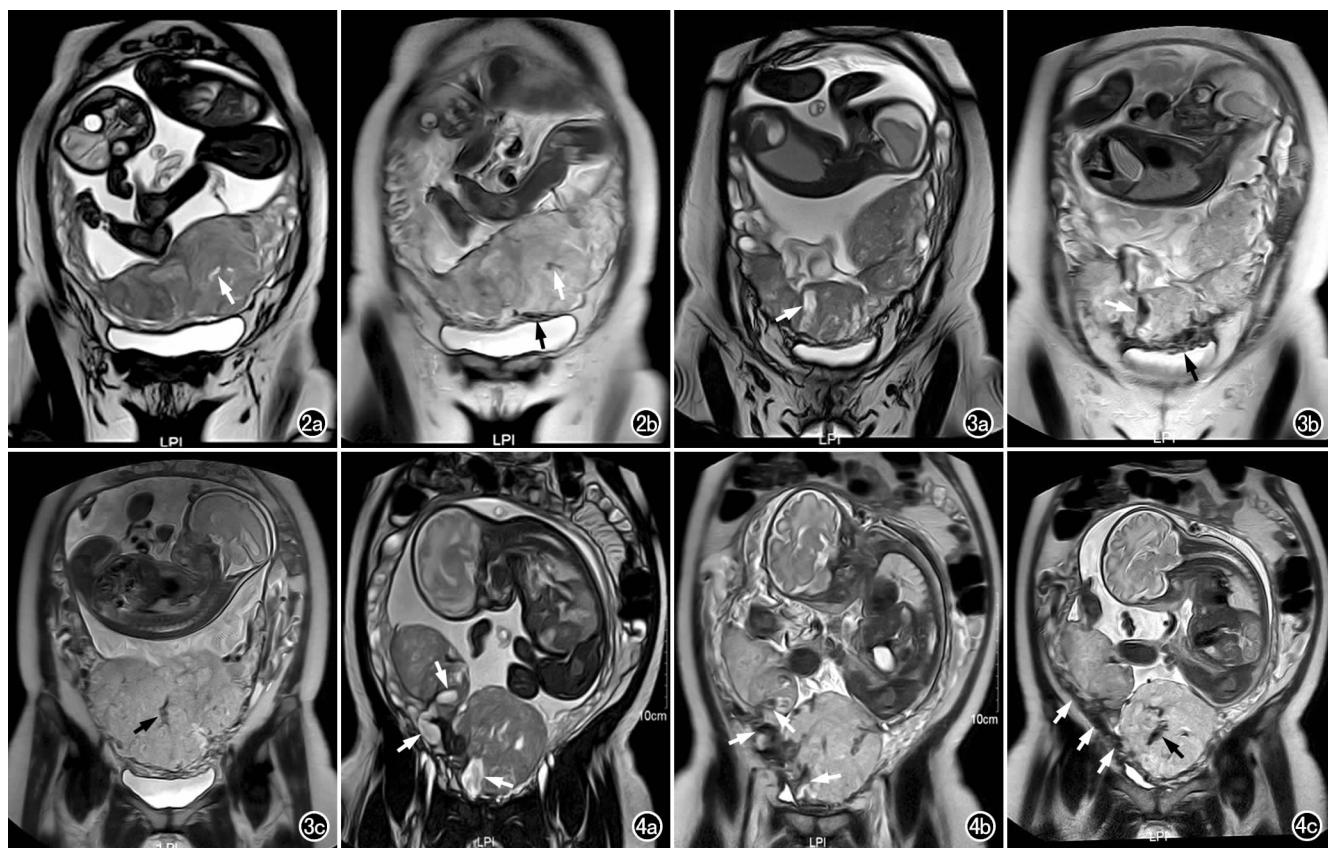


图2 患者女,34岁,孕2产1,剖宫产1次,孕37周,侵袭性胎盘植入,剖宫产后24h出血量约600 mL。a) B-FFE序列显示子宫左前下壁肌层变薄,胎盘局部膨隆,胎盘内可见异常血管(白箭);b) T_2 WI示胎盘内可见异常血管(白箭),胎盘床可见异常血管影(黑箭)。图3 患者女,37岁,孕5产3,剖宫产2次,孕34⁺3周,侵袭性胎盘植入,剖宫产后24h出血量约4580 mL。a) B-FFE序列显示子宫前下壁肌层广泛变薄,胎盘广泛膨隆,可见胎盘陷窝呈高信号(白箭);b)与a同一层面的 T_2 WI图像,可见胎盘床内有异常血管影(黑箭),胎盘陷窝内有流空信号(白箭);c) T_2 WI示胎盘内有异常血管(黑箭)。图4 患者女,36岁,孕5产2,剖宫产2次,孕33⁺1周,侵袭性胎盘植入(穿透型,侵犯膀胱),剖宫产后24h出血量约5900 mL。a) B-FFE序列示胎盘前壁及右侧壁广泛植入子宫肌层,可见多发胎盘陷窝(白箭);b)与a图同一层面的 T_2 WI图像,胎盘陷窝内可见流空信号(白箭);c) T_2 WI序列,胎盘床内有较多的粗大异常血管(白箭),并可见胎盘内有异常血管(黑箭)。

型在训练集和验证集的阈值概率分别在0.03~0.92和0.01~0.78时,能产生更好的临床效益。

讨论

对于PAS患者,临床最为关注的两个问题是否发生侵袭性胎盘植入和严重产后出血。研究显示,胎盘MRI检查除了可识别PAS外,也有预测产后出血的能力^[10-11]。目前基于MRI研究PAS的文献较多,但分析此类患者发生产后出血的相关文献较少。早期有学者通过构建基于MRI征象的评分系统模型和回归分析模型来预测胎盘植入或产后出血,结果显示这些模型均具有一定的预测价值^[6,12,13]。但这些评分系统赋值和回归模型的应用难度较高。列线图可将复杂的回归方程转化为简单的可视图形,具有较强的实用

性,近年来开始得到临床各学科的重视,其临床研究和应用价值不断拓展^[14]。

近來有学者基于临床和MRI征象构建了预测侵袭性胎盘植入的列线图模型,但该研究中的样本量较小(侵袭性胎盘植入39例)且纳入的征象较少^[15]。本研究中利用训练集中189例患者(侵袭性胎盘植入76例)的临床和MRI资料,分别构建了预测侵袭性胎盘植入和严重产后出血的两个列线图预测模型,并通过验证集中47例患者的数据进行内部验证。所构建的侵袭性胎盘植入的列线图预测模型中包含了剖宫产次、胎盘局部膨隆、胎盘-子宫界面不连续、胎盘床异常血管和胎盘陷窝流空信号这5个变量,严重产后出血的列线图预测模型中包含了胎盘局部膨隆、胎盘床异常血管、胎盘内异常血管和胎盘陷窝流空信号这4个

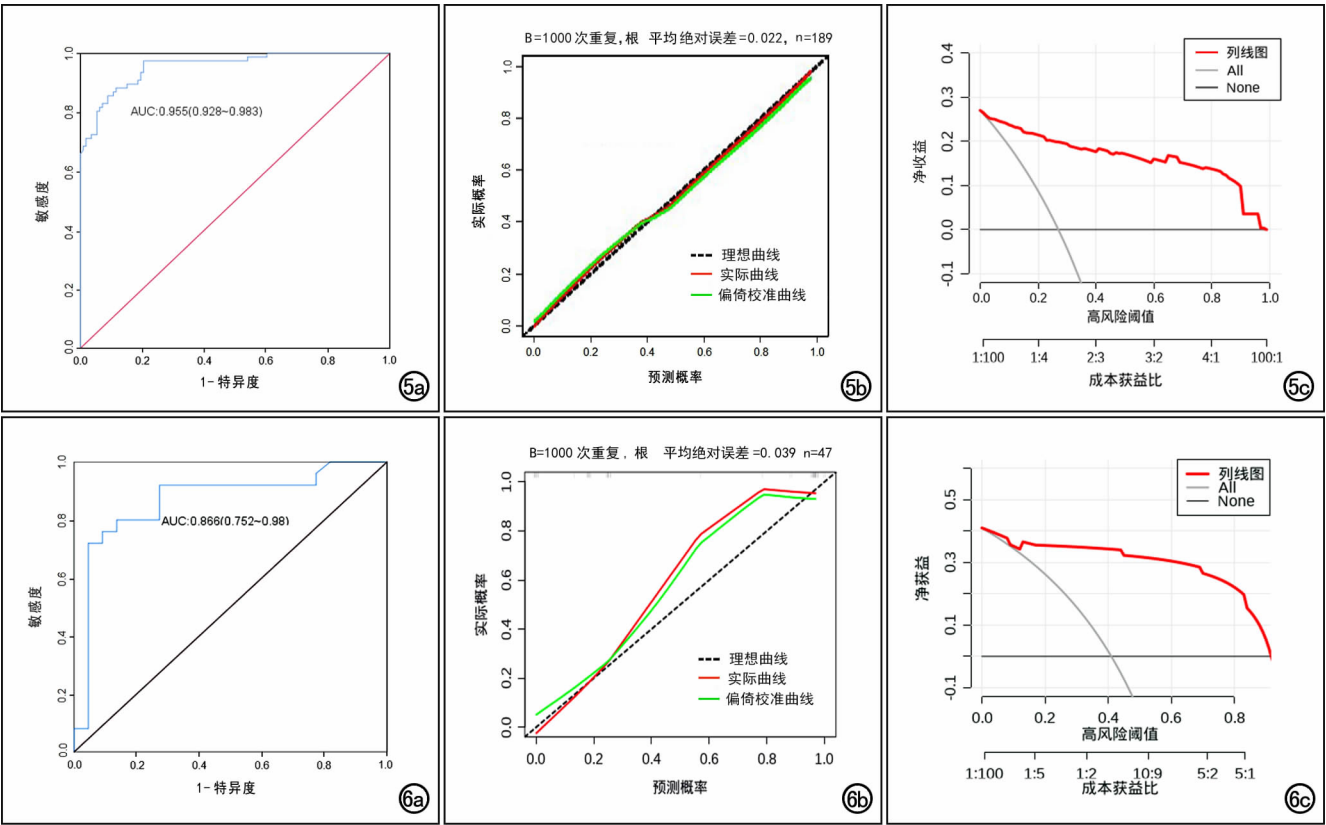


图 5 侵袭性胎盘植入列线图模型在训练集中性能的评价。a)ROC 曲线,AUC 为曲线下面积,() 内为 95% 置信区间;b)校准曲线,横坐标为预测的结局事件发生概率,纵坐标为观察到的实际事件发生概率,对角线(虚线)为参考线,表示预测概率与实际概率一致,B 指采用重抽样 1000 次方法校正偏差的观测值和预测值,n 为样本量,校准曲线显示训练集中模型预测侵袭性胎盘植入的概率与实际概率有良好的一致性;c)决策曲线,图中横坐标为预测模型的概率阈值范围,纵坐标为临床净收益,显示在合理的风险阈值范围内,列线图预测模型在训练集中区分是否存在侵袭性胎盘植入方面具有较高的临床净收益。图 6 侵袭性胎盘植入列线图模型在内部验证集中的性能评价。a)ROC 曲线;b)校准曲线,显示列线图模型在内部验证集中的预测概率与实际概率具有较好的一致性;c)决策曲线,显示列线图预测模型在内部验证集中区分是否存在侵袭性胎盘植入方面也具有较高的临床净收益。

变量。两个模型在训练集和验证集中的区分度、校准度和临床适用性均较好。

剖宫产史、孕次、人流次数和前置胎盘等临床特征既是侵袭性 PAS 也是严重产后出血的危险因素^[9,16]。熊星等^[17]基于临床和常规 MRI 征象构建的预测胎盘植入的列线图模型显示,剖宫产次>1 时胎盘植入发生概率约为 45%。车锦连等^[15]基于临床和 MRI 征象构建的列线图模型中,剖宫产 1 次、2 次和 3 次及以上发生侵袭性胎盘植入的概率分别约为 15%、40% 和 70%。本研究中对年龄、剖宫产次、孕次、人流次数和前置胎盘共 5 个临床特征进行分析,结果显示,仅剖宫产次是侵袭性胎盘植入的独立危险因素(OR=2.835, P=0.022),但其并非严重产后出血的独立危险因素。最终构建的侵袭性胎盘植入的列线图中,剖宫产次对侵袭性胎盘植入的预测概率值远低于 10%。

PAS 的 MRI 征象较多,在构建模型前需要对这

些征象进行筛选。腹部放射学会(Society of Abdominal Radiology, SAR)和欧洲泌尿生殖放射学会(European Society of Urogenital Radiology, ESUR)联合发布的《SAR 和 ESUR 对 PAS 的 MRI 检查的联合共识声明》中总结了 11 个 PAS 的 MRI 征象^[18],这些征象有助于 MRI 产前诊断识别 PAS 孕妇、判断胎盘植入程度和指导临床制订预案改善预后。这 11 个 MRI 征象中的其中 7 个征象,包括胎盘内 T₂ 低信号条带、胎盘局部膨隆、子宫肌层变薄、胎盘-子宫界面不连续、胎盘床异常血管、局部外生性肿块和膀胱壁中断,基于专家意见达成标准化术语共识,并推荐作为 MRI 判断 PAS 的征象使用。另外 4 个征象,包括胎盘内异常血管、胎盘信号不均、胎盘梗死和胎盘厚度/形态不对称,未能达成专家共识,被列为“不确定”PAS 孕妇的 MRI 征象及标准化判读术语。共识声明推荐使用的 7 个征象中,局部外生性肿块是胎盘局部膨隆进一步发展的

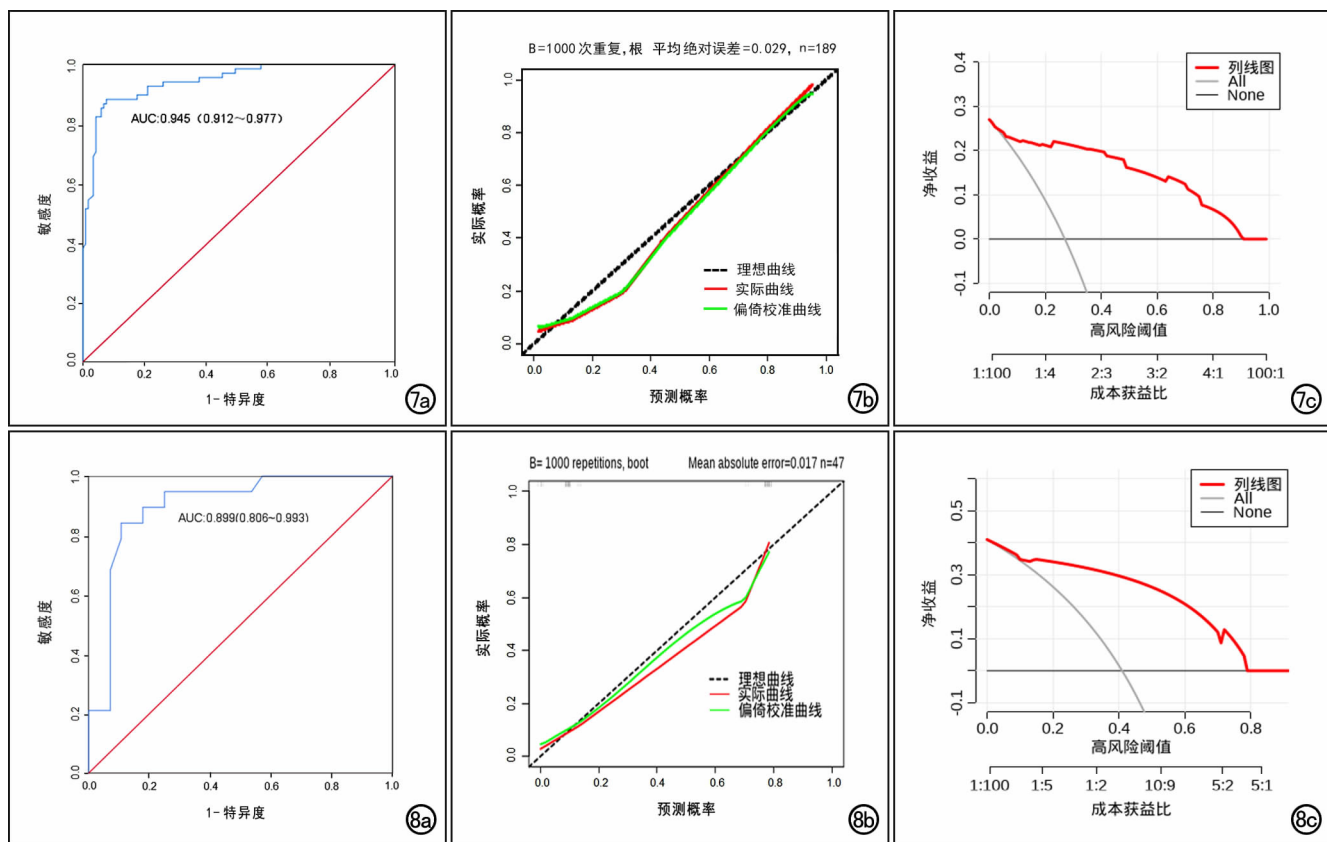


图 7 严重产后出血列线图模型在训练集中的性能评价。a) 训练集的 ROC 曲线; b) 校准曲线, 显示训练集中预测模型预测严重产后出血的概率与实际概率有良好的一致性; c) 决策曲线, 显示在合理的风险阈值范围内, 列线图预测模型在训练集中区分是否发生严重产后出血具有较高的临床净收益。图 8 严重产后出血列线图模型在内部验证集中的性能评价。a) ROC 曲线; b) 校准曲线, 显示内部验证集中预测模型预测严重产后出血的概率与实际概率有良好的一致性; c) 决策曲线, 显示在合理的风险阈值范围内, 预测模型在内部验证集中区分是否发生严重产后出血具有较高的临床净收益。

表现, 实践中难以准确和胎盘局部膨隆区分, 因此, 本研究将局部外生性肿块视为胎盘局部膨隆进行研究。膀胱壁中断是 PAS 侵犯膀胱的征象, 发生率也较低, 因此本研究不纳入分析。胎盘内 T_2WI 低信号条带有多种病理表现形式, 如胎盘梗死、胎盘陷窝流空信号和胎盘内出血均可表现为胎盘内 T_2WI 低信号条带。我们在临床实践中发现, 胎盘陷窝流空信号可能是胎盘内 T_2WI 低信号条带这个征象中, 对 MRI 诊断侵袭性胎盘植入更有价值的表现形式, 且可能与严重产后出血有关, 因此纳入胎盘陷窝流空信号替代胎盘内 T_2WI 低信号条带进行研究。近年有学者对胎盘内异常血管进行了深入的研究, 发现其与侵袭性胎盘植入和严重产后出血等并发症有关^[19-20]。因此, 我们纳入 6 个与侵袭性胎盘植入和严重产后出血相关的 MRI 征象进行分析, 包括胎盘局部膨隆、子宫肌层变薄、胎盘-子宫界面不连续、胎盘床异常血管、胎盘内异常血管和胎盘陷窝流空信号, 且胎盘陷窝流空信号是我们首次提及的 MRI 征象。

胎盘组织侵犯子宫肌层最早期的表现是 T_2WI 上胎盘-子宫界面不连续, 因此理论上而言, 在侵袭性胎盘植入的 MRI 征象中其发生率可能最高。随着植入程度的加重, 出现子宫肌层变薄甚至缺失, 最终发生子宫/胎盘局部膨隆, 甚至形成局部外生性肿块。胎盘局部膨隆对预测胎盘植入具有较高的诊断效能, 且当其合并其它 MRI 征象时, 100% 提示胎盘植入子宫肌层^[21-22]。本研究结果显示, 胎盘局部膨隆预测侵袭性胎盘植入的 OR 值为 3.526 ($P=0.044$), 预测严重产后出血的 OR 值为 4.033 ($P=0.033$), 在构建的两个列线图模型中均包含了这个征象。因此, 我们认为观察 MRI 图像时应重点观察是否存在胎盘局部膨隆, 以免遗漏, 尤其胎盘局部膨隆被骨盆限制时。当胎盘附着在较薄的原剖宫产瘢痕区域时也可发生胎盘膨隆, 但结合其它 MRI 征象进行分析即可准确甄别。

多数学者认为, 胎盘内 T_2WI 低信号条带是 MRI 诊断 PAS 敏感度最高的指标, 也与严重产后出血和需进行子宫切除术有关, 代表胎盘反复出血或梗死导致

的纤维蛋白沉积区域^[23-25]。有研究结果显示,当存在胎盘内 T₂WI 低信号条带时,有可能导致 MRI 对 PAS 的过度诊断^[26]。因此,有必要对此征象进行合理的分析。本研究结果显示,胎盘陷窝流空信号既是侵袭性胎盘植入,也是严重产后出血的独立危险因素,OR 值分别为 6.229($P=0.006$)和 8.154($P=0.002$)。我们认为胎盘陷窝流空信号可能是胎盘内 T₂WI 低信号条带中较为重要的另外一种表现形式,且在侵袭性胎盘植入患者中较为常见。胎盘陷窝是胎盘床异常血管带来的血流冲击胎盘绒毛间隙而形成的充满母体血液的空间,母体血液流入速度较高可能是发生流空效应的原因,表现为胎盘陷窝内 T₂WI 流空信号。本研究中构建的列线图显示,单独出现胎盘陷窝流空信号时发生严重产后出血的概率约为 12%,伴发胎盘局部膨隆、胎盘床异常血管和胎盘内异常血管中的任意 2 个征象时,发生严重产后出血的概率增加至 80%左右。

胎盘床异常血管通常为异常扩张的子宫放射状动脉和(或)弓状动脉,甚至可能是新生血管,由绒毛膜外滋养细胞侵犯子宫放射状动脉和(或)弓状动脉所导致,这些异常增生的血管通常较密集且粗大^[27-28]。Bourgioti 等^[29]研究显示,胎盘床异常血管与剖宫产后出血量的增加有关,我们构建的列线图也佐证了此观点。

胎盘内异常血管与 PAS 的受侵程度、术中出血和需进行子宫切除等不良妊娠结局有关^[29]。研究者指出,即使采用腹主动脉球囊封堵术,胎盘内异常血管的存在仍可能增加凶险性前置胎盘伴胎盘植入患者剖宫产术中严重产后出血的风险^[30]。本研究显示,胎盘内异常血管的存在使严重产后出血的风险增加,其 OR 值为 3.684,表明胎盘内异常血管是该并发症的一个风险因素。研究显示,胎盘内异常血管源自脐带的绒毛膜血管分支,并非母体子宫^[31]。因此,胎盘内异常血管可能是导致严重产后出血的间接因素,但其具体机制尚待进一步阐明。

避免严重产后出血和尽可能保留子宫是大多数 PAS 患者的愿望,也是妇产科医师对患者进行安全管理时应该优先考虑的事项。能同时对侵袭性胎盘植入和严重产后出血有效预测,可缩短妇产科医师的决策时间和避免过度治疗,利于妇产科医师采取准确的措施减少患者剖宫产后出血量和最大程度保留子宫。

本研究中构建的列线图模型尽管预测效果比较理想,但也存在几个局限性:首先,本研究为单中心回顾性研究,搜集的样本数据可能存在选择偏倚,今后需展开多中心前瞻性研究和进行外部验证以进一步完善;其次,MRI 医师采用人工阅片的方式判读 MRI 征象,对 PAS 的诊断多数为临床诊断,产后出血量也采用目

测法进行评估,均可能导致一定程度的主观偏倚;另外,本研究中选择的就是单胎妊娠患者,多胎妊娠是否适用尚需要进一步验证。

综上所述,本研究基于临床资料和 MRI 征象构建的预测侵袭性胎盘植入和严重产后出血的列线图模型,可一定程度上协助产科医师识别高危患者,作为辅助工具帮助临床医师制订个体化的诊疗策略,改善患者预后。

参考文献:

- [1] Jauniaux E, Ayres-de-Campos D, Langhoff-Roos J, et al. FIGO placenta accreta diagnosis and management expert consensus panel FIGO classification for the clinical diagnosis of placenta accreta spectrum disorders[J]. Int J Gynaecol Obstet, 2019, 146(1): 20-24.
- [2] 中华医学会妇产科学分会产科学组,中国医师协会妇产科分会母胎医学专委会. 胎盘植入性疾病诊断和处理指南(2023)[J]. 中华围产医学杂志, 2023, 26(8): 617-627.
- [3] Marcellin L, Delorme P, Bonnet MP, et al. Placenta percreta is associated with more frequent severe maternal morbidity than placenta accreta[J/OL]. Am J Obstet Gynecol, 2018, 219(2): 193. e1-193. e9 [2018 May 5]. DOI: 10.1016/j.ajog.2018.04.049.
- [4] Fratelli N, Fichera A, Prefumo F. An update of diagnostic efficacy of ultrasound and magnetic resonance imaging in the diagnosis of clinically significant placenta accreta spectrum disorders[J]. Curr Opin Obstet Gynecol, 2022, 34(5): 287-291.
- [5] Yu FNY, Leung KY. Antenatal diagnosis of placenta accreta spectrum (PAS) disorders[J/OL]. Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol, 2021, 72: e13-e24 [2020 Jul 15]. DOI: 10.1016/j.bpobgyn.2020.06.010.
- [6] 陈练, 陈明, 裴新龙, 等. 基于 MRI 征象的评分模型预测侵袭性胎盘植入和不良临床结局的价值[J]. 中华围产医学杂志, 2021, 24(1): 32-39.
- [7] Zhang Y, Hu M, Wen X, et al. MRI-based radiomics nomogram in patients with high-risk placenta accreta spectrum: can it aid in the prenatal diagnosis of intraoperative blood loss[J]. Abdom Radiol (NY), 2023, 48(3): 1107-1118.
- [8] Hecht JL, Baergen R, Ernst LM, et al. Classification and reporting guidelines for the pathology diagnosis of placenta accreta spectrum (PAS) disorders: recommendations from an expert panel[J]. Mod Pathol, 2020, 33(12): 2382-2396.
- [9] 中华医学会妇产科学分会产科学组, 中华医学会围产医学分会. 产后出血预防与处理指南(2023)[J]. 中华妇产科杂志, 2023, 58(6): 401-409.
- [10] Lu Y, Zhou L, Wang X, et al. Magnetic resonance imaging-based radiomics nomogram to predict intraoperative hemorrhage of placenta previa[J]. Am J Perinatol, 2024, 41(S01): S2174-S2183.
- [11] Song Z, Wang P, Zou L, et al. Enhancing postpartum hemorrhage prediction in pernicious placenta previa: a comparative study of magnetic resonance imaging and ultrasound nomogram[J/OL]. Front Physiol, 2023, 14: e1177795 [2023 Aug 8]. DOI: 10.3389/fphys.2023.1177795.
- [12] 郭吉敏, 曹满瑞, 刘小平, 等. MRI 征象回归模型在植入型凶险性前置胎盘的应用[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(8): 1325-1328.

- [13] Lim G, Horowitz JM, Berggruen S, et al. Correlation of probability scores of placenta accreta on magnetic resonance imaging with hemorrhagic morbidity[J/OL]. *J Clin Anesth*, 2016, 34: e261-e269 [2016 May 14]. DOI:10.1016/j.jclinane.2016.04.046.
- [14] 惠延年. 统计学预测模型列线图在眼科的应用[J]. *国际眼科杂志*, 2023, 23(7):1061-1063.
- [15] 车锦连, 蒙印迎, 龙炎英, 等. 基于临床及 MRI 征象诺莫图预测侵袭性胎盘植入的应用[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2022, 31(3):175-181.
- [16] 黎静, 唐琼, 钟梅. 胎盘植入性疾病的定义、高危因素及流行病学特点[J]. *实用妇产科杂志*, 2021, 37(1):3-6.
- [17] 熊星, 王佳, 张好, 等. 基于临床及常规 MRI 征象 Logistic 回归模型列线图诊断胎盘植入[J]. *中国医学影像技术*, 2021, 37(7):1049-1053.
- [18] Jha P, Pöder L, Bourgioti C, et al. Society of abdominal radiology (SAR) and European Society of Urogenital Radiology (ESUR) joint consensus statement for MR imaging of placenta accreta spectrum disorders[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(5):2604-2615.
- [19] Bourgioti C, Konstantinidou AE, Zafeiropoulou K, et al. Intraplacental fetal vessel diameter may help predict for placental invasiveness in pregnant women at high risk for placenta accreta spectrum disorders[J]. *Radiology*, 2021, 298(2):403-412.
- [20] Kapoor H, Hanaoka M, Dawkins A, et al. Review of MRI imaging for placenta accreta spectrum: pathophysiologic insights, imaging signs, and recent developments[J/OL]. *Placenta*, 2021, 104: e31-e39 [2020 Nov 13]. DOI:10.1016/j.placenta.2020.11.004.
- [21] Köhler Silva C, Almeida Ghezzi CL, Vettori DV, et al. Performance of magnetic resonance imaging to predict maternal outcomes in patients at high risk for placenta accreta spectrum disorder[J/OL]. *Br J Radiol*, 2023, 96(1144): e20220822 [2023 Mar 1]. DOI:10.1259/bjr.20220822.
- [22] Jha P, Rabban J, Chen LM, et al. Placenta accreta spectrum: value of placental bulge as a sign of myometrial invasion on MR imaging[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(7):2572-2581.
- [23] Wu XL, Zhou RZ, Lin MJ, et al. The maximum length of T₂-dark intraplacental bands may help predict intraoperative haemorrhage in pregnant women with placenta accreta spectrum (PAS)[J]. *Abdom Radiol (New York)*, 2022, 47(10):3594-3603.
- [24] Chen T, Xu XQ, Shi HB, et al. Conventional MRI features for predicting the clinical outcome of patients with invasive placenta[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2017, 23(3):173-179.
- [25] Goergen SK, Posma E, Wrede D, et al. Interobserver agreement and diagnostic performance of individual MRI criteria for diagnosis of placental adhesion disorders[J/OL]. *Clin Radiol*, 2018, 73(10):908. e1-908. e9 [2018 Jul 2]. DOI:10.1016/j.crad.2018.05.021.
- [26] Cheng C, Ramsey PS, Byrne JJ, et al. Factors limiting magnetic resonance imaging diagnosis of placenta accreta spectrum[J]. *Am J Perinatol*, 2023, 40(13):1398-1405.
- [27] 王芊芸, 黄贝尔, 杨慧霞. 胎盘植入发病机制的研究进展[J]. *中华围产医学杂志*, 2019, 22(1):66-69.
- [28] 张夏, 康立清, 郭素引, 等. 胎盘下血管异常 MRI 分型预测胎盘植入疾病类型的价值[J]. *放射学实践*, 2023, 38(5):598-603.
- [29] Bourgioti C, Zafeiropoulou K, Fotopoulos S, et al. MRI prognosticators for adverse maternal and neonatal clinical outcome in patients at high risk for placenta accreta spectrum (PAS) disorders[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 50(2):602-618.
- [30] 杨冯棱, 赖华, 王志刚, 等. 侵入性凶险性前置胎盘腹主动脉球囊封堵下严重产后出血的 MRI 预测模型构建[J]. *放射学实践*, 2022, 37(2):200-206.
- [31] Konstantinidou AE, Bourgioti C, Fotopoulos S, et al. Stripped fetal vessel sign: a novel pathological feature of abnormal fetal vasculature in placenta accreta spectrum disorders with MRI correlates[J/OL]. *Placenta*, 2019, 85: e74-e77 [2019 Jul 9]. DOI:10.1016/j.placenta.2019.07.005.

(收稿日期:2023-09-28 修回日期:2024-07-18)