XXXX DOI:

基于MRI影像组学的胎盘植入性疾病分型诊断

徐春琪[1],寇秀梅[1],李菊菊[1],刘瑞莱[2],刘 伟[2],闫 锐[3]
(1.西安医学院附属西北妇女儿童医院医学影像中心,西安 710068;2.西安邮电大学计算机学院,西安 710121;
3.西北妇女儿童医院医学影像中心,西安 710061)

【摘 要】**目的:**基于核磁共振成像(magnetic resonance imaging,MRI)影像组学对胎盘植入性疾病的分型诊断的研究。**方法:**回顾性分析127例胎盘植入性疾病患者(粘连性胎盘52例、植入性胎盘54例、穿透性21例)的临床及MRI资料。通过3D Slicer手动勾画感兴趣区,使用Pyradiomics提取影像组学特征,LightGBM重要性排序和皮尔逊相关性分析筛选特征变量,应用逻辑回归方法构建临床模型、MRI特征模型、影像组学模型及医师诊断模型,采用留一法交叉验证,绘制受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic,ROC)评价模型的效能。**结果:**剖宫产次数、怀孕次数、宫颈管长度及胎盘厚度是胎盘植入性疾病(placenta accreta spectrum disorders,PAS)分型诊断的危险因素,其中胎盘厚度及宫颈管长度是植入性胎盘的独立危险因素;胎盘厚度是穿透性胎盘的独立危险因素。从T2加权成像(T2-weighted imaging,T2WI)图像中提取并筛选出20个影像组学特征,用于构建影像组学模型。PAS分型诊断影像组学模型预测粘连性胎盘、植入性胎盘、穿透性胎盘的曲线下面积(area under the curve,AUC)分别为0.90、0.94及0.84,均优于临床指标模型、MRI影像特征模型及医师经验诊断模型。**结论:**基于MRI影像组学模型预测PAS分型诊断效能较高,有助于产前明确PAS的不同植入程度。

【关键词】胎盘植入性疾病;穿透性胎盘;磁共振成像;影像组学
【中图分类号】R714.2 【文献标志码】A 【收稿日期】2025-09-024

Diagnosis of placenta accreta spectrum disorder subtypes based on MRI radiomics

Xu chunqi[1],*Kou xiume*[1],*Li juju*[1],*Liu Ruilai*[2],*Liu Wei*[2],*Yan Rui*[3]
(*1.Medical Imaging Center of Northwest Women's and Children's Hospital Affiliated to Xi 'an Medical University*;
2.School of Computer Science and Technology,Xi'an University of Posts and Telecommunications;
3.Medical Imaging Center of Northwest Women's and Children's Hospital)

【**Abstract**】***Objective***: To investigate magnetic resonance imaging(MRI) radiomics-based subtype identification of placenta accreta spectrum disorder. ***Methods***: 52 cases of placenta accreta, 54 cases of placenta increta, and 21 cases of placenta percreta were among the 127 patients with placenta accreta spectrum disorder(PAS) whose clinical and MRI data were retrospectively analyzed. 3D Slicer was used to manually outline regions of interest. Pyradiomics was used to extractradiomic characteristics. LightGBM significance ranking and Pearson correlation analysis were used to screen feature variables. Clinical models, MRI feature models, radiomic models, and physician diagnosis models were all built using logistic regression. To assess the models' performance, receiver operating characteristic (ROC) curves were plotted and leave-one-out cross-validation was employed. ***Results***: The length of the cervical canal, the thickness of the placenta, the number of pregnancies, and the number of cesarean sections were risk factors for the diagnosis of the PAS subtype. For placenta increta, the placenta's thickness and the cervical canal's length were independent risk factors; for placenta percreta, the placenta's thickness was an independent risk factor. To build a radiomic model to predict PAS subtypes, 19 radiomic characteristics were taken from T2WI pictures and screened. With AUC values of 0.90, 0.84, and 0.94, respectively, the radiomic model outperformed the clinical model, MRI feature model, radiomic model, and physician diagnosis model when it came to diagnosing PAS subtypes. ***Conclusion***: In order to elucidate the various levels of placental invasion prior to delivery, the MRI-based radiomic model provides a comparatively excellent diagnostic performance for predicting PAS subtypes.

【**Key words**】placenta accreta spectrum disorder; placenta percreta; magnetic resonance imaging (MRI); radiomics

作者介绍:徐春琪,Email:591858887@qq.com,
研究方向:胎盘植入性疾病。
通信作者:闫 锐,Email:ruiyan01@sina.com。
基金项目:陕西省重点研发计划资助项目(编号:2024SF-YBXM-239)。

胎盘植入性疾病(placenta accreta spectrum disorders,PAS)是指子宫底蜕膜发育不良,胎盘绒毛异常侵袭至底蜕膜之外的1组疾病[1-3]。根据胎盘绒毛侵入程度不同,PAS可以分为粘连性胎盘(placenta accreta,PA)、植入性胎盘(placenta increta,PI)和穿透性胎盘(placenta percreta,PP)3个亚型[4-6]。胎盘植入程度越严重,产后出血、子宫切除及产妇死亡等不良妊娠结局的严重程度也越高[7]。准确判断PAS的分型是术中处理PAS的重要前提。产前诊断胎盘植入性疾病植入程度可以帮助临床制定个体化多学科诊疗方案,减少手术并发症,确保母婴安全[8-9]。此前的研究[10-11]中多着重于对PAS临床危险因素、磁共振成像(magnetic resonance imaging,MRI)征象的单独分析,且为二分型,即粘连性胎盘与侵入性胎盘(其中包含植入性与穿透性胎盘),并不能全面体现PAS植入程度受到哪些因素影响。由于PAS的三分型诊断研究较少,且影像组学研究在PAS有其优势,因此本研究基于MRI特征、临床因素等对PAS三分型进行影像组学研究。

1 资料与方法

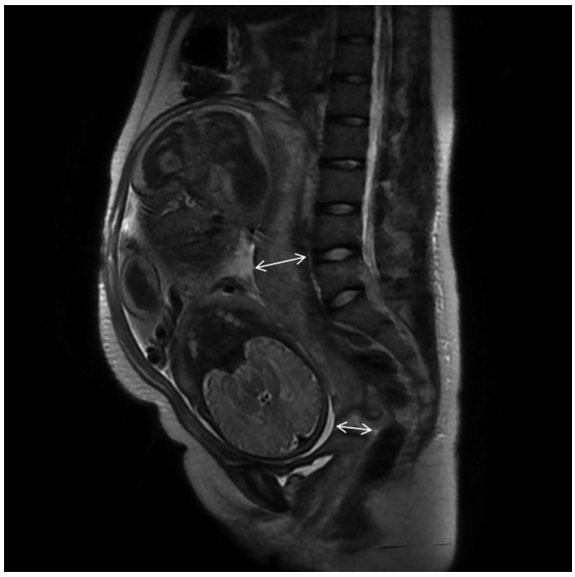
1.1 研究对象

回顾性收集了2018年1月至2018年12月在西北妇女儿童医院行胎盘MRI检查且于西北妇女儿童医院剖宫产分娩的127例患者,MRI检查孕周在28~39周之间。纳入标准:①术中诊断胎盘植入性疾病;②剖宫产分娩;③临床资料完整;④MRI图像资料完整。排除标准:①双胎;②引产。胎盘植入性疾病诊断标准:以手术结果为金标准。本研究经西北妇女儿童医院医学伦理委员会审查批准(审批编号:2024-010)。

根据每位患者MRI图像记录或测量胎盘附着的位置、胎盘厚度、宫颈管长度等影像指标项,胎盘厚度于T2WI正中矢状面上测量胎盘最厚厚度,宫颈管长度于T2WI矢状面上测量宫颈内口至宫颈外口的距离,图示见图1;并收集患者年龄、MRI检查时孕周、怀孕次数、分娩次数、剖宫产次数以及其他子宫相关手术次数(包含肌瘤剔除术及清宫)等临床指标项。根据共识声明[12]中胎盘植入性疾病的11个MRI特点及定义,由2名妇产影像5年以上工作经验的主治医师及主任医师进行征象判读。

1.2 检查方法

采用GE 1.5T Signa HDxt超导型磁共振仪,使用相控阵8通道体部线圈,受检孕妇采用仰卧位。定位成像:采用快速成像序列,同时做轴位、冠状位、矢状位三平面定位图,在定位图上决定扫描基线、扫描范围和扫描方法。成像范围是从子宫底到子宫颈外口下缘。MRI成像序列及参数如下:SSFSE序列(TE 99 ms,TR 4000 ms)用于采集母体轴位、冠状位、矢状位及斜轴位(垂直于宫颈);FS-SSFSE序列(TE 100 ms,TR 4000 ms)用于母体矢状位成像;DWI序列(TE 86 ms,TR 5000 ms)用于母体轴位成像;T1-FIRM序列(TE 2-740 ms,TR 6 ms)用于母体矢状位成像。视野(field of view,FOV)为400 mm×450 mm,层厚5~8 mm,成像间距0%~20%,矩阵范围为128×128至512×512。



患者女性,30岁,诊断为粘连性胎盘,MRI显示胎盘厚度约40.6 mm(长双箭头标示),宫颈管长度约20.3 mm(短双箭头标示)

图1 T2WI矢状位胎盘厚度及宫颈管长度测量示意图

1.3 特征提取及模型构建

将患者的MRI T2WI图像以DICOM格式导入3DSlicer软件中,由具有5年以上妇产影像诊断经验的医师,根据手术记录对PAS病变区域进行手动逐层勾画对应的感兴趣区,再由具有十年以上妇产影像医生进行筛查。对于粘连性胎盘(placenta accreta,PA)即胎盘绒毛侵犯子宫浅肌层[13],勾画时尽量避免将深肌层勾画入内;植入性胎盘(placenta increta,PI),胎盘绒毛侵犯子宫深肌层[13],尽量避免将子宫浆膜层勾画入内;穿透性胎盘(placenta percreta,PP),胎盘绒毛穿透子宫壁达子宫浆膜层,甚至侵入宫旁器官[13],尽量避免将正常宫旁组织勾画入内。PAS每个亚型勾画病灶感兴趣区图示见图2。采用基于Python 3.6平台的影像组学工具包PyRadiomics(版本3.0,官网链接:https://pyradiomics.io)进行特征提取。从T2WI轴位图像中提取病灶特征,为了消除特征冗余及降低特征维数,采用LightGBM特征筛选方法计算优选特征。所选特征如表1所示。用所筛选出来的特征构建RF(Random Forest)影像组学模型。

1.4 统计学方法

采用SPSS 27.0软件对数据进行统计学分析。对符合正态分布的定量资料采用独立样本t检验,用均数加减标准差



A. 粘连性胎盘　B. 植入性胎盘　C. 穿透性胎盘

图2　PAS不同亚型勾画感兴趣区

表1　使用LightGBM进行特征筛选的20个特征

组学特征	特征名称	特征数量
Shape	original_shape_Elongation original_shape_Flatness	2
Firstorder	original_firstorder_10Percentile wavelet-LHL_firstorder_Median wavelet-LHL_firstorder_Mean wavelet-HLL_firstorder_90Percentile wavelet-HHL_firstorder_Mean original_firstorder_Kurtosis	6
GLCM	wavelet-HLL_glcm_Imc2 wavelet-HHL_glcm_Correlation	2
GLRLM	wavelet-LLH_glrlm_RunLengthNonUniformity wavelet-LLH_glrlm_RunEntropy wavelet-LLH_glrlm_RunVariance wavelet-LLH_glrlm_RunLengthNonUniformity Normalized wavelet-LLH_glrlm_LongRunEmphasis	5
GLDM	wavelet-HHL_gldm_DependenceNonUniformity Normalized wavelet-HHL_gldm_DependenceVariance	2
GLSZM	wavelet-LLL_glszm_ZoneEntropy wavelet-HLL_glszm_ZoneEntropy wavelet-LLH_glszm_LargeAreaEmphasis	3

($\bar{x} \pm s$)表示；偏态分布的定量资料用中位数[$M_d(P_{25}, P_{75})$]表示，采用*Mann-Whitney U*检验进行组间比较。定量资料的组间比较采用χ^2检验。对定性资料采用方差齐性检验，方差不齐的资料用非参数检验。对单因素分析中有统计学意义的参数进行多元logistic回归分析。使用ROC曲线及AUC值、阳性预测值、敏感度、特异度作为评估指标。采用Delong检验比较各模型及MRI医师的诊断效能。检验水准α=0.05。

2　结　果

2.1　临床资料

127例胎盘植入性疾病中，粘连性胎盘患者年龄23~45岁；植入性胎盘患者年龄23~44岁；穿透性胎盘植入患者年龄24~39岁。临床资料与PAS分型单因素分析显示怀孕次数、剖宫产次数、胎盘厚度及宫颈管长度差异有统计学意义（P<0.05），结果见表2。

将单因素分析有统计学意义的指标项纳入多因素逻辑回归分析，以粘连性胎盘作为参考类别，植入性胎盘中胎盘厚度、宫颈长度差异有统计学意义，穿透性胎盘中胎盘厚度有统计学意义。结果见表3。

2.2　影像医师诊断

以手术诊断为金标准，将影像医师诊断结果与手术结果进行比较，对照交叉表4。MRI医师在分型诊断方面，粘连性胎盘的AUC值为0.68，植入性胎盘的AUC值为0.57，穿透性胎盘的AUC值为0.69。

2.3　MRI图像特征分析

11个MRI图像特征与PAS分型单因素分析显示子宫内肌层低信号消失及胎盘床异生血管差异没有统计学意义，其余9个征象包括T2WI胎盘内低信号带、胎盘/子宫膨出、子宫肌层变薄、膀胱壁中断、局灶性外生团块、胎盘内信号不均、胎盘不对称增厚、胎盘缺血性梗死、胎盘内异常血管差异均有统计学意义，结果见表5。将有意义的指标项进行多因素Logistic回归分析，结果见表6。

2.4　影像组学模型

首先进行特征提取，采用基于原始空间域数据、基于小波变换数据以及经过拉普拉斯变换三模态特征提取策略提

表2 临床资料与PAS分型的单因素分析[n,%;M_d(P_{25},P_{75})]

因素	粘连性胎盘	植入性胎盘	穿透性胎盘	F/χ^2值	P值
年龄(岁)				2.321	0.677
<30	17(32.7)	12(22.2)	4(19)		
30~34	20(38.5)	26(48.1)	10(47.6)		
≥35	15(28.8)	16(29.6)	7(33.3)		
怀孕次数(次)				6.874	0.333
1	7(13.5)	3(5.6)	0		
2	13(25)	13(24.1)	4(19)		
3	16(30.8)	20(37.0)	6(28.6)		
≥4	16(30.8)	18(33.0)	11(52.4)		
分娩次数(次)				9.983	0.041
0	17(32.7)	12(22.2)	0		
1	30(57.7)	34(63)	16(76.2)		
≥2	5(9.6)	8(14.8)	5(23.8)		
剖宫产次数(次)				19.195	<0.001
0	27(51.9)	18(33.3)	0		
1	22(42.3)	27(50)	17(81)		
≥2	3(5.8)	9(16.7)	4(19)		
其他子宫手术次数(次)				2.194	0.700
0	20(38.5)	20(37)	5(23.8)		
1	20(38.5)	23(42.6)	9(42.9)		
≥2	12(23.1)	11(20.4)	7(33.3)		
胎盘厚度(cm)	3.90[3.62,4.65][bc]	4.30[3.975,5.60][a]	5.00[4.25,5.90][a]	9.737	<0.001
宫颈管长度(cm)	3.55[2.87,4.07][b]	4.20[3.05,5.10][ac]	2.90[1.90,3.33][b]	11.235	<0.001

注:胎盘厚度与宫颈管长度在三组间两两比较;a,与粘连性胎盘比较,P<0.05;b,与植入性胎盘比较,P<0.05;c,与穿透性胎盘比较,P<0.05。

表3 PAS分型临床因素多因素logistic回归分析

PAS分型[a]	指标项	B	OR	95%CI	P
植入性胎盘	胎盘厚度	0.86	2.363	1.42~3.92	0.001
	宫颈管长	0.76	2.152	1.39~3.32	0.001
穿透性胎盘	胎盘厚度	0.77	2.159	1.20~3.86	0.009

注:a,以穿透性胎盘作为参考类别。

表4 影像医师诊断结果与手术结果对照的交叉表

MRI	手术诊断			合计
	粘连性胎盘	植入性胎盘	穿透性胎盘	
粘连性胎盘	42	30	4	76
植入性胎盘	9	20	8	37
穿透性胎盘	1	4	9	14
合计	52	54	21	127

取初始特征;其次,进行特征筛选,采用LightGBM方法进行特征筛选,通过重要性排序得到前20维特征及对应分数,包含:基于形状的特征;基于统计学的一阶特征、灰度共生矩阵(gray level co-occurence matrix,GLCM)、灰度游程矩阵(gray level run-length matrix,GLRLM)、灰度大小区域矩阵(gray level size zone matrix,GLSZM)、灰度依赖矩阵(gray level dependence matrix,GLDM)、领域灰度差矩阵(neighbourhood gray-tone difference matrix,NGTDM),如表1所示,然后通过相关性分析并删除相关性>0.9的冗余特征,其重要性排序如图2所示;最后采用随机森林(Random Rorest,RF)模型构建PAS分型组学模型,通过对PAS分类的准确率,各亚型诊断的精确率、召回率、特异度及AUC值,宏平均(Macro-average)曲线及微平均曲线(Micro-average)进行模型评估。组学模型诊断效能见表7。

表5 MRI图像特征与PAS分型(*n*,%)

MRI图像特征	粘连性胎盘(*n*=52)	植入性胎盘(*n*=54)	穿透性胎盘(*n*=21)	χ^2值	*P*值
T2WI胎盘内低信号带	10(20.0)	20(40.0)	20(40.0)	36.418	<0.001
胎盘/子宫膨出	13(30.2)	16(37.2)	14(32.6)	12.347	0.002
子宫内肌层低信号消失	51(40.8)	53(42.4)	21(16.8)	0.403	0.817
子宫肌层变薄	10(20.8)	19(39.6)	19(39.6)	32.569	<0.001
膀胱壁中断	1(7.1)	3(21.4)	10(71.4)	34.710	<0.001
局灶性外生团块	0(0)	1(33.3)	2(66.7)	5.989	0.050
胎盘床异生血管	46(38.7)	52(43.7)	21(17.6)	4.446	0.108
胎盘内信号不均	15(28.8)	20(38.5)	17(32.7)	17.390	<0.001
胎盘不对称增厚	34(39.1)	33(37.9)	20(23.0)	8.559	0.014
胎盘缺血性梗死	4(33.3)	2(16.7)	6(50.0)	11.246	0.004
胎盘内异常血管	4(12.9)	11(35.5)	16(51.6)	38.870	<0.001

表6 PAS分型MRI特征多因素logistic回归分析

术中诊断a	指标项	B	*OR*	95%CI	*P*
植入性胎盘	局灶性外生团块	0.705	2.023	4.223~9.693	0.001
穿透性胎盘	T2WI胎盘内低信号带	−3.291	0.037	0.003~0.458	0.01

注:a,以粘连性胎盘作为参考类别

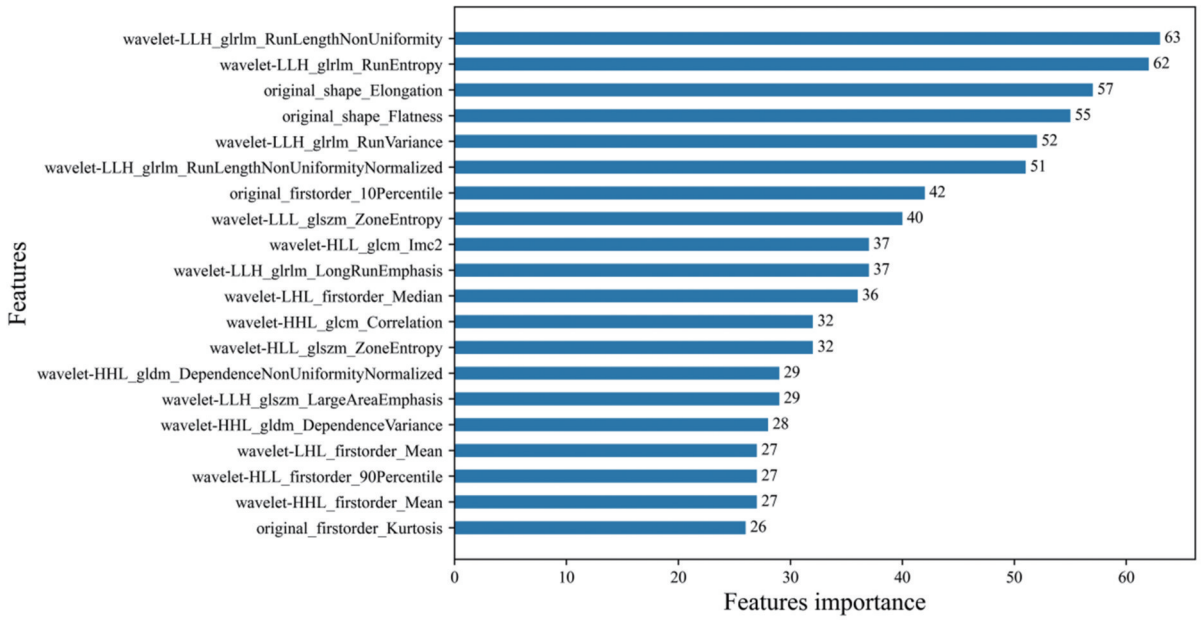


图2 影像组学特征重要性排序

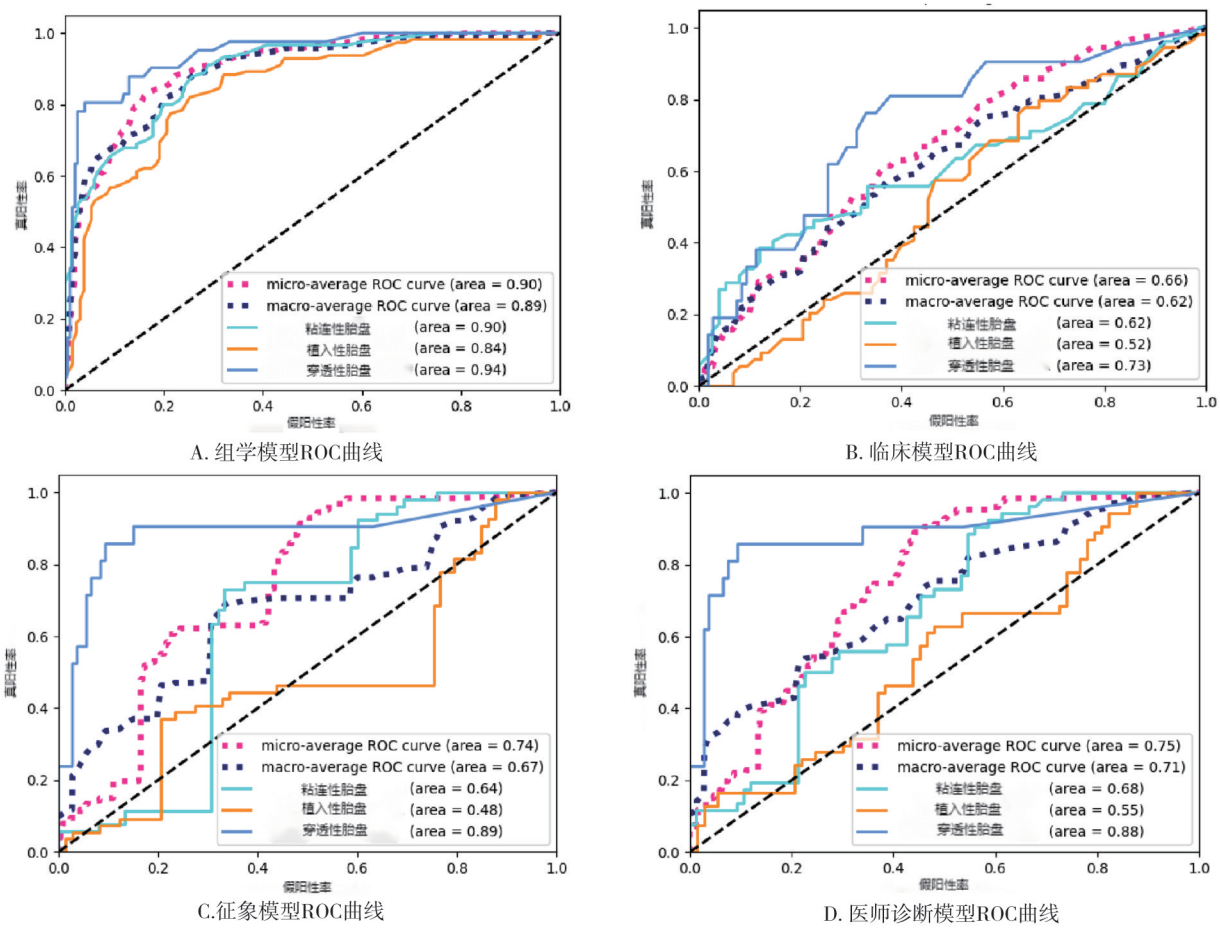
表7 影像组学模型PAS分型诊断效能

PAS分型	阳性预测值	敏感度	特异度	AUC值
粘连性胎盘	0.74	0.71	0.86	0.90
植入性胎盘	0.74	0.79	0.76	0.84
穿透性胎盘	0.84	0.76	0.97	0.94

2.5 诊断效能比较

将多因素逻辑回归模型筛选的指标项纳入到模型中,分别建立临床因素模型和MRI特征模型。对于每个模型:采用宏平均、微平均曲线对预测结果进行整体评估,各个亚型采用ROC曲线下面积进行比较(图3)。在对胎盘植入的程度进行分型诊断时,影像组学的诊断效能对比医师的诊断效能明显提高,结果见表8。

通过Delong检验,影像组学对比临床因素、MRI特征及医师诊断各分型的AUC值均有显著差异,$P<0.001$;临床因素对比MRI特征的AUC值差异性不明显;临床因素对比医师诊断各分型的AUC值均有统计学差异,$P<0.001$;MRI特征对比医师诊断的AUC值在PA、PP的诊断中差异有统计学意义,对PI的诊断差异不明显。



A. 组学模型ROC曲线　B. 临床模型ROC曲线

C.征象模型ROC曲线　D. 医师诊断模型ROC曲线

图3　各组模型ROC曲线图

表8　临床模型、MRI特征模型、影像组学模型及医师诊断模型对PAS分型的诊断效能

PAS分型	模型	阳性预测值	敏感度	特异度	AUC
粘连性胎盘	影像组学模型	0.74	0.71	0.86	0.90
	临床模型	0.50	0.54	0.63	0.62
	MRI特征模型	0.57	0.67	0.65	0.64
	医师诊断	0.65	0.55	0.81	0.68
植入性胎盘	影像组学模型	0.74	0.79	0.76	0.84
	临床模型	0.41	0.41	0.56	0.52
	MRI特征模型	0.49	0.43	0.67	0.48
	医师诊断	0.60	0.77	0.37	0.57
穿透性胎盘	影像组学模型	0.84	0.76	0.97	0.94
	临床模型	0.41	0.33	0.91	0.73
	MRI特征模型	0.71	0.65	0.93	0.89
	医师诊断	0.87	0.95	0.43	0.69

3　讨　论

PAS的分型诊断对于临床管理和预后评估至关重要。PAS分型不同，对应的手术方式不同，出现产后出血等并发症严重程度也不同。本研究显示PAS分型与剖宫产次数、怀孕次数、宫颈管长度及胎盘厚度差异有统计学意义（$P<0.05$）。有文献指出，剖宫产次数与PAS严重程度呈正相关[14]。前置胎盘和剖宫产是发生PAS的主要危险因素[15]。最近的流行病学已经确定了剖宫产（cesarean section，CS）率的增加与随后怀孕中PAS的发生率之间的直接联

系[16-19]。与本研究结果一致，本研究发现随着剖宫产次数的增加，胎盘植入程度会随之增高，所导致的PAS亚型越严重。本研究还发现随着分娩次数的增加，胎盘植入的程度亦有所增加，P=0.041。张靖霄等[10]的研究发现，随着怀孕次数的增加，会促进胎盘绒毛的侵入，使胎盘植入的风险提高。这与本研究结果一致。Rac MWF等[20]发现，与非PAS的孕妇相比患有PAS的孕妇宫颈长度较短，宫颈长度<3 cm的可能性更高。而本研究则是基于PAS患者，对不同分型的宫颈长度进行了分析，发现对于PP的患者，其宫颈长度最短。Li Y等人[21]报告称，胎盘厚度增加（>4.5 cm）与PAS疾病相关。Bhide A等[22]报告称，PAS疾病患者子宫下段的胎盘厚度为5.03 cm，明显高于胎盘位置正常女性的3.09 cm；研究还表明，超声成像测量的既往CS和胎盘厚度是PAS疾病的独立风险因素。Lu T等[23]也发现PAS患者胎盘厚度会增加，胎盘厚度>4 cm与PAS异常相关。本研究发现胎盘植入程度越深胎盘厚度则越厚，穿透性胎盘的胎盘厚度是其中最明显的，这可能与穿透性胎盘基本侵蚀子宫全部肌层造成的。Chen DJ等[24]使用MRI确定子宫瘢痕区域的胎盘厚度＞3.8 cm是前置胎盘和植入患者术中大出血的独立风险因素之一。这与本研究对分型的分析一致。

MRI对PAS分型的敏感性和特异性较高，尤其是对胎盘穿透的诊断[25]。本研究根据PAS指南中的11个征象分析，发现T2WI胎盘内低信号带、胎盘/子宫膨出、子宫肌层变薄、膀胱壁中断、局灶性外生团块、胎盘内信号不均、胎盘不对称增厚、胎盘缺血性梗死、胎盘内异常血管等9个征象是PAS的影响因素，其中局灶性外生团块是鉴别粘连性胎盘与植入性胎盘的主要征象；T2WI胎盘内低信号带是鉴别粘连性胎盘与穿透性胎盘的主要征象，本研究中MRI征象对穿透性胎盘诊断的AUC值为0.89。T2WI胎盘内低信号带为与胎盘母体面接触的线性低信号影，其被认为是由于反复胎盘内出血而导致的纤维蛋白沉积区域[26-28]；胎盘/子宫膨出，即胎盘组织向邻近脏器突出子宫浆膜层偏离原有子宫轮廓的层面，子宫浆膜层可完整或不完整，这一表现被认为是评估子宫肌层侵犯的有利征象[29]；子宫肌层变薄，即胎盘下方局限性子宫肌层信号明显变薄或中断消失[12]，这与胎盘植入程度有关；膀胱壁中断，即MRI上膀胱壁的低信号不规则或中断[12]，呈“帐篷样”改变，提示有膀胱的侵犯；局灶性外生团块，指胎盘组织突出或穿过子宫肌层，延伸至子宫肌层之外，可见于部分充盈的膀胱内和子宫旁[12]；胎盘内信号不均，即除T2低信号带和胎盘内异常血管外，在T1WI和T2WI序列上都可见看到的异常信号[12]；胎盘不对称增厚，即在胎盘植入区域胎盘的异常增厚而导致的形态不对称[12]；胎盘缺血性梗死，急性期表现为T2WI高信号和T1WI低信号，慢性期表现为胎盘局灶性变薄[12]；胎盘内异常血管，即在T2WI上胎盘深处出现的迂曲增宽的流空血管影[12]。不同的MRI征象有不同的临床判断意义。有研究对1 080例超声检查怀疑PAS患者进行了MRI检查，MRI结果显示，胎盘内异常信号带是MRI在PAS诊断中最敏感的特征[12]。Pain FA等[30]研究发现，MRI检查对PAS分型中穿透性胎盘的AUC值为0.71，其中胎盘内信号不均、T2WI胎盘内低信号带、局灶外生性肿块、胎盘缺血性梗死、胎盘内异常血管和膀胱壁中断等征象与穿透性胎盘植入密切相关，其中T2WI胎盘内低信号带敏感性最高。这与本研究结果一致。

影像组学通过提取和分析影像中的高维特征，为PAS分型诊断提供了新的研究方向。本研究基于MRI构建的影像组学模型预测PAS分型，对PA、PI、PP分型诊断效能的AUC值分别为0.90、0.84、0.94，准确率分别为75.62%、73.95%、83.78%。邹锦莉等[31]建立的基于影像组学特征构建的PAS预测模型在训练集中AUC值为0.933，准确率为88.37%；测试集中AUC为0.914，准确率为89.06%；其建立的影像组学评分能在产前对PAS进一步分型，尤其是对于PP的识别，其测试集中的准确度为89.06%。孙冬雪等[32]的研究中，MRI对3种类型的胎盘植入的敏感度、特异度分别为60.0%、88.9%、80.0%；94.7%、76.0%、100%，即MRI对PA、PI、PP分型诊断的可靠度分别为中等、优、几乎完全可靠。与本研究结果基本一致。Sun HQ等[33]的研究表明放射组学分析可以根据组学特征准确的预测PAS，组学模型AUC值为0.98。Chen E等[34]研究的胎盘MRI纹理分析中发现，使用像素强度标准差和分形分析发现正常胎盘组和胎盘异常植入组之间存在差异有统计学意义。尽管此前的组学研究诸多，也昭示了影像组学研究在胎盘植入疾病方向的优势，但并未对胎盘植入的程度进行详细分析。

本研究，临床因素模型对PAS分型诊断的AUC值分别为0.62、0.52、0.73，MRI特征模型对PAS分型诊断的AUC值分别为0.64、0.48、0.89；经过诊断效能对比，影像组学模型对胎盘植入程度的分型预测效能相较临床因素、MRI特征及医师诊断更有优势，AUC值分别为0.9、0.84、0.94；通过Delong检验，影像组学对比临床因素、MRI征象及医师诊断各分型的AUC值均有明显差异，$P<0.001$。因此基于MRI影像组学模型对PAS分型诊断具有一定优势，能够进一步提高医师诊断。韩长宏[11]在对PAS分型研究中将PAS分为粘连性和侵入性（包括植入性胎盘与穿透性胎盘），发现MRI对侵入性胎盘的诊断准确性为70.59%，AUC值为0.693，但并未对侵入性胎盘进行细分。李倩等[35]在Nasnet神经网络分类模型预测PAS发生的灵敏度为100%，特异度为90.9%，准确性为96.5%，AUC为0.985，但仅局限于有无PAS的分类。夏建峰[36]在构建的MRI+临床诊断PAS预测模型中，PAS组与非PAS组、非PAS组与PA亚组、PA亚组与PI/PP亚组的AUC分别为0.892、0.795、0.871。目前尚未见影像组学在胎盘植入三分型诊断的文献报道。

局限性：①本文结果是小样本单中心的分析，可能存在区域、患者特征的同质性，会影响模型的泛化能力，今后将进一步扩大样本量、增加外部验证，下一步计划开展多中心的前瞻性研究，统一数据收集标准，以验证模型在不同场景下的泛化能力；②本文是回顾性分析，在图像数据选择方面由于时间跨度大难免出现偏差。影像组学模型建立中图像分割作为其重要部分，对后续模型训练有重要影响。手动分割耗费大量时间和人力资源，半自动或全自动分割能减少人力消耗，且不受个人因素的影响，因此开发自动分割的辅助工具是较好的解决方案。

综上所述，基于MRI影像组学模型预测PAS分型诊断效能较高，有助于产前明确PAS的不同植入程度，术前制定个体化的手术方案，减少术中出血和术后并发症的发生。

参 考 文 献

[1] Brown LA, Menendez-Bobseine M. Placenta accreta spectrum[J]. J Midwifery Women's Health, 2021, 66(2): 265-269.

[2] Jauniaux E, Collins S, Burton GJ. Placenta accreta spectrum: pathophysiology and evidence-based anatomy for prenatal ultrasound imaging[J]. Am J Obstet Gynecol, 2018, 218(1): 75-87.

[3] 王 霞，赵福敏，李雅倩，等.《腹部放射学会和欧洲泌尿生殖放射学会关于胎盘植入性疾病MRI检查的联合共识声明》要点解读[J/OL]. 中华妇幼临床医学杂志（电子版），2020，16(2)：161-170.
Wang X, Zhao FM, Li YQ, et al. Interpretation of society of abdominal radiology and European society of urogenital radiology joint consensus statement for MR imaging of placenta accreta spectrum disorders[J/OL]. Chin J Obstet Gynecol Pediatr Electron Ed, 2020, 16(2): 161-170.

[4] Jauniaux E, Ayres-de-Campos D, Langhoff-Roos J, et al. FIGO classification for the clinical diagnosis of placenta accreta spectrum disorders[J]. Int J Gynaecol Obstet, 2019, 146(1): 20-24.

[5] Jauniaux E, Jurkovic D. Placenta accreta: pathogenesis of a 20th century iatrogenic uterine disease[J]. Placenta, 2012, 33(4): 244-251.

[6] Jauniaux E, Chantraine F, Silver RM, et al. FIGO consensus guidelines on placenta accreta spectrum disorders: Epidemiology[J]. Int J Gynaecol Obstet, 2018, 140(3): 265-273.

[7] Zhang HJ, Dou RC, Yang HX, et al. Maternal and neonatal outcomes of placenta increta and percreta from a multicenter study in China [J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2019, 32(16): 2622-2627.

[8] Kayem G, Seco A, Beucher G, et al. Clinical profiles of placenta accreta spectrum: the PACCRETA population-based study[J]. BJOG, 2021, 128(10): 1646-1655.

[9] 陈洪琴，周 容. 胎盘植入性疾病的分类及诊断[J]. 实用妇产科杂志，2021，37(1)：6-9.
Chen HQ, Zhou R. Classification and diagnosis of placenta accreta diseases[J]. J Pract Obstet Gynecol, 2021, 37(1): 6-9.

[10] 张靖霄，尹 鑫，张家颖，等. 胎盘植入性疾病分型及危险因素和妊娠结局分析[J]. 青岛大学学报（医学版），2024，60(5)：738-742.
Zhang JX, Yin X, Zhang JY, et al. Placenta accreta spectrum disorders: Typing, risk factors, and pregnancy outcome[J]. J QingDao Univ Med Sci, 2024, 60(5): 738-742.

[11] 韩长宏. 超声联合磁共振成像在胎盘植入性疾病分型的价值研究[D]. 成都：成都医学院，2023.
Han C H. Diagnostic value of ultrasound combined with magnetic resonance imaging in the classification of placenta accreta spectrum disorders[D]. Chengdu: Chengdu Medical College, 2023.

[12] Jha P, Põder 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.

[13] 吴柄钢，姚 强. 胎盘植入诊断国内外指南解读[J]. 现代妇产科进展，2020，29(1)：71-73.
Wu BG, Yao Q. Interpretation of domestic and foreign guidelines for diagnosis of placenta accreta[J]. Prog Obstet Gynecol, 2020, 29(1): 71-73.

[14] Silver RM, Landon MB, Rouse DJ, et al. Maternal morbidity associated with multiple repeat cesarean deliveries[J]. Obstet Gynecol,

2006,107(6):1226-1232.

[15] Gupta S, Sibia P, Kaur S, et al. Emerging role of prenatal magnetic resonance imaging in the diagnosis of placental adhesion disorders and its relation with intraoperative findings- a cross-sectional study[J]. J Clin Diagn Res,2021:201-210.

[16] Klar M, Michels KB. Cesarean section and placental disorders in subsequent pregnancies: a meta-analysis[J]. J Perinat Med, 2014, 42(5):571-583.

[17] Jauniaux E, Burton GJ. Pathophysiology of placenta accreta spectrum disorders: a review of current findings[J]. Clin Obstet Gynecol, 2018,61(4):743-754.

[18] Thurn L, Lindqvist PG, Jakobsson M, et al. Abnormally invasive placenta-prevalence, risk factors and antenatal suspicion: results from a large population-based pregnancy cohort study in the Nordic countries [J]. BJOG,2016,123(8):1348-1355.

[19] Wu XF, Yang H, Yu XY, et al. The prenatal diagnostic indicators of placenta accreta spectrum disorders[J]. Heliyon,2023,9(5):e16241.

[20] Rac MWF, McIntire DD, Wells CE, et al. Cervical length in patients at risk for placenta accreta[J]. J Ultrasound Med, 2017, 36(7): 1431-1436.

[21] Li Y, Choi HH, Goldstein R, et al. Placental thickness correlates with placenta accreta spectrum (PAS) disorder in women with placenta previa[J]. Abdom Radiol,2021,46(6):2722-2728.

[22] Bhide A, Laoreti A, Kaelin Agten A, et al. Lower uterine segment placental thickness in women with abnormally invasive placenta[J]. Acta Obstet Gynecol Scand,2019,98(1):95-100.

[23] Lu T, Wang YS, Guo AW, et al. Correlation of placental thickness and PAS disorders: findings from MRI[J]. Abdom Radiol,2022,47(3): 1150-1156.

[24] Chen DJ, Xu JF, Ye PF, et al. Risk scoring system with MRI for intraoperative massive hemorrhage in placenta previa and accreta[J]. J Magn Reson Imaging,2020,51(3):947-958.

[25] Jauniaux E, Alfirevic Z, Bhide AG, et al. Placenta praevia and placenta accreta: diagnosis and management: green-top guideline No. 27a[J]. BJOG,2019,126(1):e1-e48.

[26] D'Antonio F, Iacovella C, Palacios-Jaraquemada J, et al. Prenatal identification of invasive placentation using magnetic resonance imaging: systematic review and meta-analysis[J]. Ultrasound Obstet Gynecol,2014,44(1):8-16.

[27] Ueno Y, Kitajima K, Kawakami F, et al. Novel MRI finding for diagnosis of invasive placenta praevia: evaluation of findings for 65 patients using clinical and histopathological correlations[J]. Eur Radiol, 2014,24(4):881-888.

[28] Goergen SK, Posma E, Wrede D, et al. Interobserver agreement and diagnostic performance of individual MRI criteria for diagnosis of placental adhesion disorders[J]. Clin Radiol, 2018, 73(10): 908. e1-908. e9.

[29] 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,2019,44(7):2572-2581.

[30] Pain FA, Dohan A, Grange G, et al. Percreta score to differentiate between placenta accreta and placenta percreta with ultrasound and MR imaging[J]. Acta Obstet Gynecol Scand,2022,101(10):1135-1145.

[31] 邹锦莉,胡振远,王新莲,等. 基于磁共振T2WI影像组学模型对胎盘植入性疾病进行产前诊断及分型[J]. 磁共振成像,2024,15(1):137-144.

Zou J L, Hu Z Y, Wang X L, et al. Prenatal diagnosis and classification of placenta accreta spectrum disorders based on magnetic resonance T2WI radiomics model[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging,2024,15(1): 137-144.

[32] 孙冬雪,顾长青,李 陆,等. MRI检查对于胎盘植入及其植入深度的诊断价值[J]. 临床放射学杂志,2022,41(11):2087-2090.

Sun DX, Gu CQ, Li L. The diagnostic value of MRI for placenta implantation and its implantation depth[J]. J Clin Radiol,2022,41(11):2087-2090.

[33] Sun HQ, Qu HB, Chen L, et al. Identification of suspicious invasive placentation based on clinical MRI data using textural features and automated machine learning[J]. Eur Radiol,2019,29(11):6152-6162.

[34] Chen E, Mar WA, Horowitz JM, et al. Texture analysis of placental MRI: can it aid in the prenatal diagnosis of placenta accreta spectrum?[J]. Abdom Radiol,2019,44(9):3175-3184.

[35] 李 倩,廖 蔚,戢兰蝶,等. 基于深度学习的MRI图像自动分割技术在胎盘植入性疾病预测中的应用[J]. 实用医院临床杂志,2024,21(6):120-123.

Li Q, Liao W, Ji LD, et al. Application of automatic segmentation technology of MRI images based on deep learning inthe prediction of placenta accreta disease[J]. Pract J Clin Med,2024,21(6):120-123.

[36] 夏建峰,胡永任,邓世财,等. 基于MRI征象及临床因素的评分系统预测胎盘植入性疾病的价值[J]. 放射学实践,2024,39(1):97-102.

Xia JF, Hu YR, Deng SC, et al. Value of a scoring system based on MRI features and clinical factors in the prediction of placenta accreta spectrum disorder[J]. Radiol Pract,2024,39(1):97-102.

(责任编辑:周一青)