

三维能量多普勒超声评估复发性流产患者子宫内膜容受性及预测妊娠结局的价值分析

刘 璐,吕爱娟,庞海宝

(唐山市中医医院超声科,河北 唐山 063000)

[摘要]目的 探讨三维能量多普勒超声(3D-PDU)评估复发性流产(RSA)患者子宫内膜容受性及预测患者妊娠结局的价值。方法 选取2019年1月至2021年12月期间在唐山市中医医院进行治疗的RSA患者120例,所有患者均在入院后实施3D-PDU及子宫内膜活检,并随访1年。以子宫内膜活检结果+随访结果为金标准,分析3D-PDU对RSA患者子宫内膜容受性的评估价值,使用Kappa进行一致性检验,受试者工作特征(ROC)曲线分析3D-PDU参数[子宫内膜容积、厚度、血管指数(VI)、血流指数(FI)、血管血流指数(VFI)及子宫动脉搏动指数(PI)、阻力指数(RI)]预测RSA患者妊娠结局的价值。结果 经子宫内膜活检结果+随访结果确诊,120例RSA患者中子宫内膜容受性良好者(最终成功妊娠)95例,占79.17%;3D-PDU评估RSA患者子宫内膜容受性的准确性为95.00%、灵敏度为95.79%、特异度为92.00%、阳性预测值为97.85%、阴性预测值为85.19%;经一致性Kappa度量,3D-PDU评估RSA患者子宫内膜容受性结果与子宫内膜活检+随访结果的一致性较好(Kappa=0.853, $P<0.001$);成功妊娠组子宫动脉PI、RI明显低于未成功妊娠组($t=18.670$ 和 12.643 , $P<0.001$);子宫内膜容积、子宫内膜VI、子宫内膜FI、子宫内膜VFI均高于未成功妊娠组(t 值介于 $5.742\sim 34.050$, $P<0.001$);成功妊娠组子宫内膜厚度与未成功妊娠组相比,差异不显著($P>0.05$);绘制ROC曲线发现,子宫内膜容积、VI、FI、VFI、子宫动脉PI、RI单独及联合预测RSA患者妊娠结局的曲线下面积(AUC)分别为 $0.789(95\%CI:0.699\sim 0.880)$ 、 $0.738(95\%CI:0.633\sim 0.843)$ 、 $0.787(95\%CI:0.699\sim 0.879)$ 、 $0.697(95\%CI:0.590\sim 0.803)$ 、 $0.754(95\%CI:0.590\sim 0.803)$ 、 $0.668(95\%CI:0.562\sim 0.774)$ 、 $0.860(95\%CI:0.783\sim 0.937)$,其中联合预测效能最高。结论 3D-PDU对RSA患者子宫内膜容受性有较好的评估价值,与子宫内膜活检结果+随访结果有较高的一致性;子宫内膜容积、VI、FI、VFI与子宫动脉PI、RI联合可有效预测RSA患者的妊娠结局。

[关键词]复发性流产;三维能量多普勒超声;子宫内膜容受性;妊娠结局;预测价值

Doi:10.3969/j.issn.1673-5293.2026.02.011

[中图分类号]R173

[文献标识码]A

[文章编号]1673-5293(2026)02-0080-06

Value of three-dimensional power Doppler ultrasound in evaluating endometrial receptivity and predicting pregnancy outcomes in patients with recurrent spontaneous abortion

LIU Lu, LV Aijuan, PANG Haibao

(Department of Ultrasound, Tangshan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Hebei Tangshan 063000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the value of three-dimensional power Doppler ultrasound (3D-PDU) in evaluating endometrial receptivity and predicting pregnancy outcomes in patients with recurrent spontaneous abortion (RSA). **Methods** A total of 120 patients with RSA who received treatment at Tangshan Hospital of Traditional Chinese Medicine between January 2019 and December 2021 were enrolled. All patients underwent 3D-PDU examination and endometrial biopsy after admission and were followed up for 1 year. Endometrial biopsy results combined with follow-up outcomes were used as the gold standard. The diagnostic value of 3D-PDU in evaluating endometrial receptivity in RSA patients was analyzed, and consistency was assessed using the Kappa test. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed to evaluate the predictive value of 3D-PDU parameters, including endometrial volume, thickness, vascularization index (VI), flow index (FI), vascularization flow index (VFI), as well as uterine artery pulsatility index (PI) and resistance index (RI), for pregnancy outcomes in RSA patients. **Results** According to endometrial biopsy results combined with follow-up outcomes, 95 of the 120 RSA patients were confirmed to have good endometrial receptivity and ultimately achieved successful pregnancy, accounting for 79.17%. The accuracy, sensitivity,

[收稿日期]2024-03-04

[基金项目]河北省医学科学研究重点课题计划项目(20240608)

[作者简介]刘 璐(1992—),女,主治医师,主要从事妇产科超声工作。

[通讯作者]庞海宝,主任医师。

specificity, positive predictive value, and negative predictive value of 3D-PDU in evaluating endometrial receptivity were 95.00%, 95.79%, 92.00%, 97.85%, and 85.19%, respectively. Kappa consistency analysis showed good agreement between 3D-PDU assessment and endometrial biopsy combined with follow-up results ($Kappa=0.853, P<0.001$). The uterine artery PI and RI in the successful pregnancy group were significantly lower than those in the unsuccessful pregnancy group ($t=18.670$ and 12.643 , respectively, $P<0.001$). Endometrial volume, VI, FI, and VFI were significantly higher in the successful pregnancy group than in the unsuccessful pregnancy group (t values ranged from 5.742 to 34.050, $P<0.001$). There was no significant difference in endometrial thickness between the two groups ($P>0.05$). ROC curve analysis revealed that the areas under the curve (AUC) for endometrial volume, VI, FI, VFI, uterine artery PI, RI, and their combined prediction of pregnancy outcomes in RSA patients were 0.789 (95%CI: 0.699-0.880), 0.738 (95%CI: 0.633-0.843), 0.787 (95%CI: 0.699-0.879), 0.697 (95%CI: 0.590-0.803), 0.754 (95%CI: 0.590-0.803), 0.668 (95%CI: 0.562-0.774), and 0.860 (95%CI: 0.783-0.937), respectively, with the combined prediction showing the highest predictive efficiency. **Conclusion** Three-dimensional power Doppler ultrasound demonstrates good value in evaluating endometrial receptivity in patients with RSA and shows high consistency with endometrial biopsy combined with follow-up outcomes. The combination of endometrial volume, VI, FI, VFI, and uterine artery PI and RI can effectively predict pregnancy outcomes in RSA patients.

[Key words] recurrent spontaneous abortion; three-dimensional power Doppler ultrasound; endometrial receptivity; pregnancy outcome; predictive value

复发性流产 (recurrent spontaneous abortion, RSA) 病因较为复杂, 是导致育龄期女性妊娠失败的主要原因之一^[1]。有研究指出, 良好的子宫内膜容受性是育龄期女性成功妊娠的基础, 且与成功妊娠的健康女性相比, RSA 患者子宫内膜容受性较差^[2]。因此, 准确地评估 RSA 患者子宫内膜容受性, 可及早科学地予以治疗, 对改善患者的妊娠结局意义重大。既往, 子宫内膜活检是诊断 RSA 患者子宫内膜容受性的金标准, 但方法是有创检查, 部分患者难以耐受, 且检查后护理不当会引起相应的并发症, 因此临床广泛推广有一定的局限性^[3]。近年来, 三维能量多普勒超声 (three-dimensional power Doppler ultrasound, 3D-PDU) 在妇科疾病诊断中广泛应用。有研究指出, 3D-PDU 能从多角度检查子宫的内膜情况, 可为临床制定准确评估子宫内膜容受性提供全面且准确的影像学依据^[4]。还有研究指出, 不同妊娠结局 RSA 患者的子宫内膜容积、厚度、血管指数 (vascularization index, VI)、血流指数 (flow index, FI)、血管血流指数 (vascularization flow index, VFI) 及子宫动脉搏动指数 (pulsatility index, PI)、阻力指数 (resistance index, RI) 等超声参数存在一定的差异^[5]。因此, 临床上或可通过差异性子宫内膜超声参数来预测 RSA 患者的妊娠结局。基于此, 本研究将 3D-PDU 用于 RSA 患者子宫内膜容受性的诊断中, 并对 3D-PDU 预测妊娠结局的价值进行分析。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取 2019 年 1 月至 2021 年 12 月唐山市中医医院收治的 120 例 RSA 患者作为研究对象。患者年龄为 22~45 岁, 平均 (30.06 ± 4.53) 岁; 体质指数为 22~26 kg/m², 平均 (24.24 ± 0.35) kg/m²; 入院时收缩压为 128~155 mmHg, 平均 (135.20 ± 5.16) mmHg; 入院时舒张压为 82~103 mmHg, 平均 (96.60 ± 3.05) mmHg。本研究获得唐山市中医医院伦理委员会的批准 (批号: 20190013)。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准: ①符合《复发性流产诊治的专家共识》^[6]中诊断 RSA 的标准; ②免疫功能及心肝肾功能正常; ③自然流产常规检查项目均正常; ④内分泌功能正常; ⑤所有入组患者均签署知情同意书。

排除标准: ①无先天性子宫畸形或合并对胚胎着床有影响的其他子宫疾病; ②合并未经控制的感染性疾病及传染性疾病; ③有出血风险或凝血功能障碍; ④孕期接触过致畸、引发流产的环境或事物。

1.3 方法

1.3.1 3D-PDU 检查

使用彩色超声诊断仪 (美国 GE Voluson E8) 行 3D-PDU 检查, 并搭配 RIC-5-9-D 腔内三维容积探头, 探头频率为 3~9 MHz。设置扫描参数: 探头扫描

角度 180° , 能量增益 -2.0 , 脉冲频率 0.6kHz 。少量涂抹耦合剂于探头上并套上橡胶套, 开启脉冲多普勒模式, 在宫颈内口水平横切面内容积角度设置为 120° 并使之平行于子宫动脉走行方向, 启动 3D 功能键, 待出现连续 5 个稳定的心动波形图后获取左侧及右侧子宫动脉 PI、RI 值, 测量 3 次取两侧均值。于子宫内膜最厚处测定子宫内膜厚度, 测量 3 次取均值。利用 4D View 软件, 开启 Manual 模式, 设置单次切换角度为 9° , 逐一切面手动勾画子宫内膜轮廓, 由软件自动形成三维图像, 并获取子宫内膜容积、VI、FI、VFI, 测量 3 次取均值。最后由 3 名经验丰富的超声科高年资医师进行分析、讨论后, 得到最终子宫内膜容受性评估结果。

1.3.2 子宫内膜活检

于 3D-PDU 检查后 3 天内开展子宫内膜活检, 评价子宫内膜容受性情况; 并对患者进行为期 1 年的随访, 记录患者妊娠情况。

1.4 观察指标

① 3D-PDU 评估价值: 以子宫内膜活检+随访结果为金标准, 对 3D-PDU 评估 RSA 患者子宫内膜容受性的灵敏度、特异度、准确性、阳性阴性预测值予以分析。② 一致性分析: 采用 Kappa 进行一致性检验, 分析 3D-PDU 评估 RSA 患者子宫内膜容受性与子宫内膜活检+随访结果的一致性。③ 比较不同妊娠结局 RSA 患者的超声血流参数。比较随访 1 年后成功妊娠与未成功妊娠患者的 3D-PDU 相关参数, 包括: 子宫内膜厚度、容积、VI、FI、VFI, 以及子宫动脉 PI、RI。④ 评估价值: 分析子宫内膜容积、厚度、VI、FI、VFI, 以及子宫动脉 PI、RI 单独及联合评估 RSA 患者妊娠结局的价值。

1.5 统计学方法

应用 SPSS 24.0 统计学软件分析及处理数据。符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较进行独立样本 t 检验; 计数资料以例数(百分率) [$n(\%)$] 表示, 组间比较进行 χ^2 检验; 采用 Kappa 进行一致性检验; 绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线, 检验 3D-PDU 参数预测 RSA 患者妊娠结局的价值, 以曲线下面积(area under the curve, AUC) 评价预测效能, AUC 的取值范围在 0.5 和 1 之间, 越接近 1.0,

检测方法真实性越高, 等于 0.5 时, 则真实性最低, 无应用价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 子宫内膜活检+随访结果

前期纳入了符合标准的 RSA 总样本数为 188 例, 随访中失访或退出的样本数为 68 例, 完成随访的样本数为 120 例。经子宫内膜活检+随访结果确诊 120 例 RSA 患者, 其中子宫内膜容受性良好(最终成功妊娠)者 95 例, 占 79.17%; 子宫内膜容受性不良者 25 例, 占 20.83%。

2.2 3D-PDU 的评估结果

RSA 患者子宫内膜容受性经 3D-PDU 评估的准确性为 95.00%、灵敏度为 95.79%、特异度为 92.00%、阳性预测值为 97.85%、阴性预测值为 85.19%; 经一致性 Kappa 检验, 3D-PDU 评估 RSA 患者子宫内膜容受性结果与子宫内膜活检+随访结果存在较高的一致性 ($Kappa = 0.853, P < 0.001$), 见表 1。

表 1 3D-PDU 评估 RSA 患者子宫内膜容受性结果与子宫内膜活检+随访结果的分析(例数)

Table 1 Analysis of endometrial receptivity in RSA patients evaluated by 3D-PDU compared with endometrial biopsy combined with follow-up results (n)

3D-PDU 评估 RSA 患者 子宫内膜容受性结果	子宫内膜活检+随访结果		合计
	阳性	阴性	
阳性	91	2	93
阴性	4	23	27
合计	95	25	120
Kappa	0.853		
P	<0.001		

2.3 不同妊娠结局 RSA 患者超声参数的对比

成功妊娠组患者子宫动脉 PI、RI 较未成功妊娠组患者明显降低, 子宫内膜容积、子宫内膜 VI、子宫内膜 FI、子宫内膜 VFI 较未成功妊娠组明显升高 ($P < 0.05$); 成功妊娠组患者子宫内膜厚度略高于未成功妊娠组患者, 差异不显著 ($P > 0.05$)。见表 2。

2.4 3D-PDU 参数评估 RSA 患者妊娠结局的效能分析

将 RSA 患者子宫内膜容积、VI、FI、VFI 以及子

宫动脉 PI、RI 等参数作为检验变量,妊娠结局情况作为状态变量(1=成功妊娠,0=未成功妊娠),绘制 ROC 曲线结果显示(见图 1),子宫内膜容积、VI、FI、VFI 以及子宫动脉 PI、RI 单独及联合预测 RSA 患者妊娠结局的 AUC 分别为 0.789、0.738、0.787、0.697、0.754、0.668、0.860,其中联合预测效能最高,依据 ROC 曲线得出各预测参数的截断值分别为 4.562ml、1.401%、25.142%、0.531%、2.651、0.780,在此 cut-off 值下获取灵敏度、特异度(见表 3、图 1)。

表 2 不同妊娠结局 RSA 患者超声参数比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of ultrasound parameters in RSA patients with different pregnancy outcomes ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	子宫动脉 PI	子宫动脉 RI	子宫内膜容积 (mL)	子宫内膜 VI (%)	子宫内膜 FI (%)	子宫内膜 VFI (%)	子宫内膜厚度 (mm)
成功妊娠组	95	2.30±0.10	0.80±0.04	4.93±0.54	1.95±0.13	28.98±3.25	0.57±0.12	10.55±1.38
未成功妊娠组	25	2.77±0.15	0.92±0.05	3.85±0.55	1.02±0.08	24.26±2.45	0.42±0.10	10.15±1.30
<i>t</i>	—	18.670	12.643	8.864	34.050	6.765	5.742	1.305
<i>P</i>	—	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.195

表 3 3D-PDU 参数评估 RSA 患者妊娠结局的效能分析

Table 3 Performance analysis of 3D-PDU parameters in evaluating pregnancy outcomes in RSA patients

参数	截断值	AUC	AUC 的 95%CI	<i>P</i>	灵敏度	特异度	约登指数
子宫内膜容积	4.562mL	0.789	0.699~0.880	<0.001	0.916	0.851	0.767
子宫内膜 VI	1.401%	0.738	0.633~0.843	<0.001	0.905	0.818	0.723
子宫内膜 FI	25.142%	0.787	0.699~0.879	<0.001	0.907	0.872	0.779
子宫内膜 VFI	0.531%	0.697	0.590~0.803	<0.001	0.926	0.844	0.770
子宫动脉 PI	2.651	0.754	0.661~0.846	<0.001	0.976	0.705	0.681
子宫动脉 RI	0.780	0.668	0.562~0.774	<0.001	0.892	0.677	0.569
联合	—	0.860	0.783~0.937	<0.001	0.925	0.871	0.796

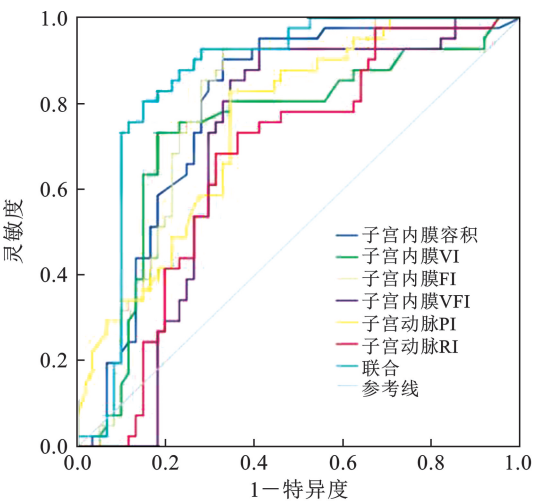


图 1 3D-PDU 参数评估 RSA 患者妊娠结局的 ROC 曲线图

Fig. 1 ROC curves of 3D-PDU parameters for evaluating pregnancy outcomes in RSA patients

3 讨论

胚胎着床成功是受精卵质量、母体内分泌系统、子宫情况等因素共同作用的结果,其中子宫内膜允许胚胎成功植入子宫内膜组织并生长的能力被称为子宫内膜容受性^[7-8]。有较多研究表明,子宫内膜容受性不良是导致自然流产的主要原因,故如何准确评估子宫内膜容受性状态对预测 RSA 患者妊娠结局具有重要意义^[7,9]。

3.1 3D-PDU 在 RSA 患者子宫内膜容受性的评估价值

现阶段临床主要通过内膜活检来查看子宫内膜上皮细胞上胞饮突的表达数量及发育程度以评估子宫内膜容受性状态,可获得较好的评估准确性^[10]。但是由于其属于有创性检查,检查耗时较长,检查操作较为复杂,不利于临床推广使用。故寻求能无创、

快速、简便评估 RSA 患者子宫内膜容受性的影像学检查方法十分必要。当前,超声检查因具有无创性、操作方便快捷且费用低廉等优势而被患者所青睐。并且,随着超声技术的不断发展,3D-PDU 也逐渐用于 RSA 患者的临床诊断中。本研究中结果显示,3D-PDU 评估 RSA 患者子宫内膜容受性的准确性为 95.00%、灵敏度为 95.79%、特异度为 92.00%、阳性预测值为 97.85%、阴性预测值为 85.19%,且经一致性 Kappa 度量,3D-PDU 评估 RSA 患者子宫内膜容受性结果与子宫内膜活检+随访结果较好,证实 3D-PDU 评估 RSA 患者子宫内膜容受性的价值较高,与子宫内膜活检+随访结果有较好的一致性。3D-PDU 可有效结合超声能量血流显相技术与超声多普勒技术,对低流速血流的敏感度极高,通过超声探头可清晰呈现出子宫内膜表面以及深处的基底动脉、螺旋动脉等子宫内膜终末端血管的血流灌注供应情况,通过对血管血流灌注情况进行量化处理能直观反映出子宫内膜的营养化程度,进而准确评价当前子宫内膜容受性状态是否适合胚胎的正常生长,可获得较高的评估价值^[11-13]。

3.2 3D-PDU 对 RSA 患者妊娠结局的预测价值

有研究指出,在胚胎植入早期子宫内膜形态以及血管系统发挥着十分重要的作用,通过保持子宫内膜良好的生理状态及有效控制内膜微血管血流情况,能够为囊胚成功着床做好准备^[14]。因此,子宫内膜自身形态及其微血管状态是胚胎植入及成功妊娠的关键所在。同时,有研究指出在胚胎移植日,充足的子宫内膜血流供应被认为此时子宫内膜容受性良好,适合胚胎植入并能够着床发育成功^[15]。且有研究表示,在体外受精周期中,子宫内膜形态以及内膜血流参数可以用来预测妊娠结局,且预测价值较好^[16]。本研究中结果表明,成功妊娠组患者子宫动脉 RI、PI 较未成功妊娠组患者明显降低,子宫内膜容积、子宫内膜 VI、子宫内膜 FI 以及 VFI 较未成功妊娠组明显升高。本研究结果也表明子宫内膜形态(子宫内膜容积)与内膜血流参数(VI、FI 及子宫动脉 PI、RI)能很好地预测 RSA 患者妊娠结局。

分析其原因为:①子宫内膜容积能够客观体现出整个子宫腔内膜的分布状况,子宫内膜容积越大提示囊胚着床范围越大,更有利于接受胚胎植入,进

而可有效预测妊娠结局^[17]。②子宫动脉 RI、PI 可以是判断子宫动脉血流状态的有效评定指标,子宫动脉血流的 RI、PI 降低,提示血管阻力降低,子宫灌注良好;反之,血管阻力高,子宫动脉血流少,子宫的整体血流灌注较差,且如果 RI、PI 持续增高,子宫内膜血供不足,胚胎难以着床或着床后稳定性差,大大增加未成功妊娠结局风险^[18-19]。③VI 是三维容积感兴趣的血管数量的反映指标,代表着观察内膜容积的血管密度情况;FI 反映的是血流平均彩色值或血细胞平均密度,感兴趣区域内血管内细胞越多,其水平会相应升高;VFI 代表的是血管化程度,是组织血管密度及组织血细胞密度的有效评价指标。VI、FI、VFI 升高提示感兴趣区域内血管密度及数量越大、血管内细胞越多,子宫内膜可有效获得较好的血流供应,而良好的血液供应能使胚胎更易着床,利于提升成功妊娠率^[20-21]。

本研究运用 ROC 曲线进一步深入探讨发现,子宫内膜容积、VI、FI、VFI 以及子宫动脉 PI、RI 单独及联合预测 RSA 患者妊娠结局的 AUC 分别为 0.789、0.738、0.787、0.697、0.754、0.668、0.860,其中联合预测效能最高,可见子宫内膜形态及子宫内膜血流参数联合预测 RSA 患者妊娠结局的价值更高。因为从血流动力学角度与形态学角度联合去分析子宫内膜,可以全面反映子宫内膜血流供应情况及形态改变情况,可弥补单一角度预测妊娠结局的不足,可使预测结果更加科学、全面。

综上所述,3D-PDU 能很好地评估 RSA 患者子宫内膜容受性情况,与子宫内膜活检结果+随访结果有较好的一致性;子宫内膜容积、VI、FI、VFI 及子宫动脉 PI、RI 能很好地预测 RSA 患者妊娠结局,且联合预测价值更高。

[参考文献]

- [1]Quenby S, Gallos I D, Dhillon-Smith R K, et al. Miscarriage matters: the epidemiological, physical, psychological, and economic costs of early pregnancy loss[J]. *Lancet*, 2021, 397(10285): 1658-1667.
- [2]毛书霞, 吴意赟, 朱正球, 等. 三维超声对典型抗磷脂综合征相关性复发性流产患者子宫内膜容受性评估价值[J]. *医学影像学杂志*, 2023, 33(9): 1711-1714.
- [3]Vitale S G, Buzzaccarini G, Riemma G, et al. Endometri-

- al biopsy: indications, techniques and recommendations. An evidence-based guideline for clinical practice[J]. *J Gynecol Obstet Hum Reprod*, 2023, 52(6): 102588.
- [4] 谢平, 金晓倩, 张乾泉, 等. 3D-PDU 胎盘及子宫动脉血流动力学参数与胎盘植入的相关性分析[J]. *中国现代医学杂志*, 2023, 33(17): 76-83.
- [5] Shi L, Dong L, Cui Y, et al. Analysis of the implementation value of abdominal B-ultrasound combined with cervical cerclage in the prevention and treatment of late recurrent spontaneous abortion[J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2024, 24(1): 889.
- [6] 中华医学会妇产科学分会产科学组, 复发性流产诊治专家共识编写组. 复发性流产诊治专家共识(2022)[J]. *中华妇产科杂志*, 2022, 57(9): 653-667.
- [7] Arian S E, Hessami K, Khatibi A, et al. Endometrial receptivity array before frozen embryo transfer cycles: a systematic review and meta-analysis[J]. *Fertil Steril*, 2023, 119(2): 229-238.
- [8] Shekibi M, Heng S, Nie G. MicroRNAs in the regulation of endometrial receptivity for embryo implantation[J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23(11): 6210.
- [9] Sun P, Zhang C, Wang W, et al. Mechanism of endometrial receptivity affected by fibroids[J]. *Am J Reprod Immunol*, 2024, 92(6): e70022.
- [10] Haas J, Casper R F. Observations on clinical assessment of endometrial receptivity[J]. *Fertil Steril*, 2022, 118(5): 828-831.
- [11] 金贝, 戴菲玲, 唐敏敏, 等. 三维能量多普勒超声联合超微血管成像对多囊卵巢综合征不孕患者子宫内膜容受性的评估[J]. *全科医学临床与教育*, 2025, 23(2): 117-121, 后插 2.
- [12] Smelt E, Thomas S, Barber T, et al. Three-dimensional fractional moving blood volume: a robust bedside tool for evaluation of fetal multiorgan perfusion[J]. *Fetal Diagn Ther*, 2024, 51(5): 432-444.
- [13] Sini I, Handayani N, Harahap A, et al. Role of three-dimensional Doppler ultrasonography and leukemia inhibitory factor from endometrial secretion in predicting endometrial receptivity in IVF treatment: a pilot study[J]. *Arch Gynecol Obstet*, 2022, 306(1): 259-265.
- [14] Lv H, Zhao G, Jiang P, et al. Deciphering the endometrial niche of human thin endometrium at single-cell resolution[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2022, 119(8): e2115912119.
- [15] Da Silva-Álvarez E, Gómez-Arrones V, et al. Endometrial area of the blood flow as a marker of endometritis in equine[J]. *Reprod Domest Anim*, 2022, 5(Suppl5): 98-102.
- [16] Sadek S, Matitashvili T, Kovac A, et al. Assessment of uterine receptivity by endometrial and sub-endometrial blood flow using SlowflowHD in hormone prepared frozen embryo transfer cycles: a pilot study[J]. *J Assist Reprod Genet*, 2022, 39(5): 1069-1079.
- [17] Liu Y, Yue Q X, Wang L, et al. Using 2D/3D ultrasound observation of endometrial thickness, endometrial volume, and blood flow changes to predict the outcome of frozen embryo transfer cycles: a prospective study[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(6): 3915-3926.
- [18] 孙凌, 范洪霞, 孙笑眉, 等. 超声血流参数变化联合 D-二聚体, 25-羟基维生素 D 水平与胎儿生长指标及出生结局的关系[J]. *中国妇幼健康研究*, 2024, 35(10): 21-26.
- [19] Shao Y, Feng H, Li L, et al. Predictive value of endometrial receptivity for pregnancy outcomes of in-vitro fertilization embryo transfer for patients of different ages[J]. *Altern Ther Health Med*, 2023, 29(4): 210-217.
- [20] Ota K, Shiraishi S, Takahashi T. Relationship between temporal changes of endometrial blood flow impedance during natural and hormone replacement cycles and prediction of pregnancy during vitrified-warmed embryo transfer[J]. *J Obstet Gynaecol Res*, 2021, 47(3): 1052-1063.
- [21] 谢继平, 陈琳琳, 朱光, 等. 3D-PDU 对宫腔粘连术后妊娠结局的预测[J]. *中国现代医生*, 2024, 62(27): 34-37.
- [专业责任编辑: 韩 蓁]
[中文编辑: 牛 惠; 英文编辑: 陈子怡]