

子宫内膜容受性的超声评估研究进展

沈桂丽, 李宏波

南京中医药大学附属医院 江苏省中医院超声医学科, 江苏 南京 210029

摘要: 辅助生殖治疗中着床成功依赖于胚泡和子宫内膜之间的相互作用,适宜的子宫内膜对于胚胎的成功植入至关重要。子宫内膜容受性有多种评估方法,相较于其他影像学方法,经阴道超声非侵入性、简便,并可实时动态观察,被广泛应用于临床工作中。本文主要就近3年来发表的子宫内膜容受性的常用超声评估指标进行归纳总结,以期临床找到子宫内膜容受性的最佳超声评估指标。

关键词: 辅助生殖治疗; 子宫内膜容受性; 超声; 妊娠结局

中图分类号: R445.1 R711.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-8182(2021)09-1252-05

子宫内膜适宜的成熟发育对辅助生殖治疗(assisted reproductive therapy, ART)周期中胚胎的成功植入极为重要。子宫内膜容受性(endometrial receptivity, ER)是指子宫内膜允许胚胎正常着床的能力,通常只有特定的“种植窗期”适宜接受胚胎^[1]。在月经周期中,增殖期子宫内膜进行增殖之后,在间质蜕膜形成的黄体期必须及时进行分泌改变,这些变化会受到荷尔蒙和其他因素的影响^[2],然而目前对相关生物学机制的了解有限,包括子宫血流和子宫内膜蛋白分泌等调节和控制着床的因素等,预测ER的理想方法尚未建立。超声检查具有非侵入性、方便、实时动态等优点,近年来,三维超声、子宫内膜超声造影等技术快速发展,其在结合传统二维超声的基础上,能为临床提供更为全面的影像学信息,通过ER的超声指标预测ART的妊娠结局是一种较为理想的方法^[3-4]。常用的ER超声评估指标包括形态学指标如子宫内膜厚度(endometrial thickness, EMT)、子宫内膜回声、子宫内膜容积、子宫内膜蠕动、子宫内膜-肌层结合带和血流动力学指标如子宫动脉和螺旋动脉血流参数、子宫内膜及内膜下血流参数等。近年,有学者将剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)技术用于评估ER。本文回顾总结目前常用的ER超声评估指标对ART中的妊娠结局的预测价值。

1 超声评估时间

超声评估时间一般包括体外受精-胚胎移植(in vitro fertilization and embryo transfer, IVF-ET)周期中的人绒毛膜促性腺激素(human chorionic gonadotropin, HCG)注射日、取卵日、转化日、胚胎移植(embryo transfer, ET)日,自然周期中的促黄体生成素高峰日、排卵日、子宫内膜种植窗期,以及夫精人工授精周期中的宫腔内人工授精日等。目前,超声评估的最佳时间尚未达成共识。Dechaud等^[5]认为,在HCG注射日进行超

声评估的预测作用最好。

2 超声常用评估指标

2.1 形态学指标

2.1.1 EMT EMT为子宫内膜和子宫肌层回声交界区在平行于子宫长轴纵切面上的最大距离,超声通常是在子宫正中纵切面进行测量。EMT是衡量ER的最常用指标,其单独预测临床妊娠的价值较差,不建议仅仅根据子宫内膜薄而取消ART^[6-8]。许多研究将子宫内膜薄的阈值定义为8 mm或7 mm^[9]。Tomic等^[10]发现,在自然周期IVF中HCG注射日EMT ≥ 7 mm者,才有可能成功妊娠。Shaodi等^[11]研究表明,激素替代治疗冻融胚胎(frozen thawed embryo, FET)移植周期的ET日EMT介于8.7~14.5 mm者,活产率最佳。还有研究^[12-14]发现,在IVF周期中,EMT与活产率呈非线性相关。李建荣等^[15]认为,在IVF-ET周期中,转化日至ET日内膜的厚度变化预测妊娠结局更准确。

关于子宫内膜增厚对妊娠结局是否有不利影响仍存在争议。有学者发现,子宫内膜过厚会导致活产率降低^[11]。Lv等^[12]研究显示,厚的子宫内膜(>17 mm)对妊娠结局没有明显作用。无论是新鲜的还是冷冻的ET周期,子宫内膜较薄都与较低的临床妊娠率(clinical pregnancy rate, CPR)和活产率有关。对于EMT在4~6 mm者,妊娠率仍然可以接受^[9]。目前报道过的EMT最薄的妊娠成功案例是一位子宫内膜最厚时为3.7 mm的35岁妇女^[16]。子宫内膜变薄与着床困难的作用机制还没有定论。一种推测是与氧的张力有关,当EMT < 7 mm时,子宫内膜功能层会变薄或不存在,使植入胚胎更靠近螺旋动脉和子宫内膜基底层,而基底层附近的高氧浓度可能不利于胚胎着床^[17]。有学者认为,联合分析HCG注射日EMT和内膜回声类型可以更好地预测IVF/卵胞浆内单精子

DOI: 10.13429/j.cnki.cjcr.2021.09.023

基金项目: 江苏省卫生厅重点资助科研项目(F201802)

通信作者: 李宏波, E-mail: lhbbbbbb@163.com

注射 ET 的结局^[18]。Zhao 等^[19]发现,当 EMT < 7 mm 或 > 14 mm 时,EMT 和回声类型的组合不能预测 IVF-ET 的结局。

2.1.2 子宫内膜回声 子宫内膜回声类型也称子宫内膜形态,有 Smith、Gonen 及 Sher 三种分型标准,在子宫纵切面或横切面对子宫内膜回声进行分型均可^[20-21]。Smith 等^[22]先提出了四种子宫内膜回声类型,这种分类随后被简化为三种类型,也有作者使用两种分型。Gonen 分型将子宫内膜回声分为 3 型^[20]:A 型,子宫内膜呈明显的三线征,中央回声线呈明显高回声;B 型,三线征及中央回声线不明显;C 型,无三线征及中央回声线显示,内膜呈边界清楚的均质高回声。中央回声线代表子宫腔,外线代表子宫内膜与子宫肌层的交界或子宫内膜的基底层,两条外线和中线之间的相对低回声区域代表子宫内膜的功能层^[21]。Sher 标准将子宫内膜回声分为两级^[23]: I 级,表现为均质高回声;II 级,表现为周边回声增强,中央暗区回声减弱(“晕状”)。有学者研究发现,在 FET 周期补充孕酮当天,EMT > 8 mm、子宫内膜呈三线征者 CPR 较高,而流产率和活产率无明显差异^[24]。Hou 等^[25]研究接受新鲜 IVF-ET 患者回声模式变化对妊娠结局的影响,结果显示,取卵后 2 d 的子宫内膜回声值具有较高的预测作用。有学者的研究结果则否认子宫内膜回声类型对妊娠结局的预测作用,其评估的是新鲜胚胎受体 HCG 注射日及 FET 周期中肌注黄体酮前一到两天的子宫内膜^[26]。

2.1.3 子宫内膜容积 经阴道三维超声可以直观的观察宫腔形态并计算子宫内膜容积,三维超声测量子宫内膜容积的预测价值和可重复性优于二维超声^[27]。子宫内膜容积是利用虚拟器官计算机辅助分析确定的,它允许用户在数据集围绕固定轴旋转时手动定义对象的轮廓。不同的研究者提出了不同的子宫内膜容积的临界值,低于临界值者获得临床妊娠的概率较小。Zollner 等^[28]报告了宫腔内人工授精当天测量的内膜容积临界值为 2 ml;对于接受新鲜 IVF-ET 的患者,报告了 ET 日内膜容积的两个临界值,分别是 2 ml (敏感度为 93.5%,特异度为 22.2%) 和 2.5 ml (敏感度为 90.3%,特异度为 35.8%)。有研究表明,在人工制备的 FET 周期中,内膜容积的临界值为 3.2 ml (敏感度为 80%,特异度为 77.1%)^[29]。尽管内膜容积小于 2.0~2.5 ml 的患者妊娠率可能会显著降低,近年来有研究认为子宫内膜容积无法预测妊娠结局^[30]。出现不同研究结果的原因可能与个体差异或测量技术的不同有关。

2.1.4 子宫内膜蠕动 子宫内膜蠕动是由于子宫内膜-肌层结合带收缩引起子宫内膜发生的波形运动,也称为子宫蠕动^[31]。既往研究建议由 2~3 个人分别观察内膜波动的方向和频率,以 4 倍速播放。需要观察多少分钟尚无定论,1~15 min 均有报道。Ijland 等^[32]按波动方向将其分为 5 种类型:(1)从宫颈到宫底;(2)从宫底到宫颈;(3)从宫颈和宫底同时开始的反向波动;(4)从宫腔不同部位开始的波动;(5)未见明显波动。Gestel 等^[33]在此基础上新增了 3 种类型:(1)从宫颈到宫底的波动和从宫底到宫颈的波动交替进行;(2)从宫颈到宫底的波动到达宫腔底部后,向宫颈部折返;(3)可见子宫

内膜波动,但波动不向底部或宫颈部传导。结合带收缩的频率、强度和方向在整个月经周期中都会发生变化。Nakashima 等^[34]利用电影磁共振观察有自然分娩史的 7 例志愿者月经周期各时相的子宫动力学,发现月经周期各时相的子宫收缩特点与子宫相应时相的生理功能一致。这一发现证实了其他研究的结果^[32]。有学者发现宫腔内人工授精当天频率低、强度大的子宫收缩与高妊娠率有关^[35]。Zhu 等^[36]研究表明,ET 前子宫蠕动波频率与新鲜 ET 和 FET 周期的 CPR 呈负相关。Blank 等^[37]对接受新鲜单胚体外移植的 16 例患者的研究后发现,在 ET 后,以高频率和低波幅为特征的子宫蠕动可能有利于胚胎植入。由于肉眼评估子宫蠕动具有个体差异性,希望未来有机会能使用自动化方法以减少观察者间的个体差异^[38]。

2.1.5 子宫内膜-肌层结合带 通过子宫经阴道三维超声的冠状面,可以在宫底和侧壁观察和测量子宫内膜-肌层结合带,其图像表现为子宫内膜基底层以外的低回声区域,是由一层致密的平滑肌细胞和少量细胞外基质组成的、来自肾旁导管的激素依赖区。三维超声对结合带的评估具有较好的重复性,可用于临床。此外,较高的雌二醇水平和 A 型子宫内膜回声有利于结合带的显示^[39]。关于结合带厚度的正常值范围尚未达成共识^[31]。已有研究证明,结合带可作为 IVF-ET 或 IVF/卵胞浆内单精子注射妊娠结局的预测指标^[40-41]。Maged 等^[41]对 100 例接受卵胞浆内单精子注射的不孕患者进行研究后发现,取卵日结合带越薄者,妊娠成功率越高。有学者发现,胚胎植入前结合带蠕动频率增加与较低的妊娠率相关^[35]。

2.2 血流动力学指标

2.2.1 子宫动脉和螺旋动脉血流参数 常用的二维彩色多普勒参数包括:(1)搏动指数 (pulse index, PI), 计算方法是收缩期峰值速度减去舒张末期速度再除以平均值;(2)阻力指数 (resistance index, RI), 由收缩期峰值速度减去舒张末期速度再除以收缩期峰值速度所得;(3)S/D, 由收缩期峰值速度除以舒张末期峰值流速。

子宫内膜和内膜下的血流灌注对于胚胎植入来说是必需的。子宫动脉血流参数对 ART 妊娠结局的预测价值存在争议,可能与子宫动脉的分支多有关,其体支主要灌注子宫肌壁间,螺旋动脉作为终末支灌注子宫内膜功能层,子宫动脉另有部分侧支供应阴道、卵巢和输卵管。Yang 等^[42]研究发现,在黄体中期,反复妊娠流产患者子宫动脉平均 PI、RI 和 S/D 均显著高于非反复妊娠流产患者 ($P < 0.01$)。一项荟萃分析结果表明,新鲜 ET 当天测得的子宫动脉 PI < 3 与较高的 CPR 相关^[6]。但也有研究发现 ART 中妊娠组与未妊娠组子宫动脉血流参数比较,差异均无统计学意义^[43-44]。

由于主要供应子宫内膜的是螺旋动脉,故从逻辑上讲,螺旋动脉的血流参数更能代表 ER。Uysal 等^[45]将 42 例不明原因不孕症患者作为研究组,与同期因非特异性妇科疾病或体检入院的生育对照组进行比较,在黄体中期行超声检查,发现不孕症患者螺旋动脉血流呈高阻抗状态,由此得出其围植入

期血流低于生育对照组。何培芝等^[46]对60例反复自然流产患者的ART周期进行了研究,发现妊娠组螺旋动脉PI、RI及S/D均显著低于未妊娠组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。屈文娟等^[44]认为单独1支螺旋动脉的血流参数并不能准确反映整个子宫内膜的血供情况,还需结合螺旋动脉的分支数目及分布。

2.2.2 子宫内膜及内膜下血流评估 子宫内膜下区域即子宫内膜向子宫肌层延伸一定距离的区域,如1、2、3、5、10 mm。不同女性的EMT不同,如果使用固定的距离来定义不同女性的子宫内膜下区域,则子宫内膜下区域所涉及的血管会因患者的不同而不同,从而降低结果的准确性^[4,47]。

在二维能量多普勒血管成像中可以观察到子宫内膜及内膜下血供程度,结合文献^[48-49],可将血供程度分为3型:I型,血管到达子宫内膜下,但不进入内膜;II型,血管到达子宫内膜,但不超过单层内膜厚度的一半;III型,血管邻近或到达中线。目前,内膜血供对妊娠结局的作用仍未达成共识。Tong等^[48]对反复着床失败患者FET周期的资料进行分析后发现,妊娠组内膜血流存在者明显高于未妊娠组,差异有统计学意义($P<0.05$)。一项荟萃分析显示,在新鲜IVF-ET中,HCG注射日子宫内膜血流的存在与较高的CPR相关,而ET日子宫内膜血流的存在与否和CPR无关^[6]。另有研究表明,子宫内膜的缺氧可能对着床有利,而且在着床期间胚泡周围存在相对较低的氧分压^[50-51]。

常用的三维能量多普勒血管成像(three dimensional-power doppler angiography,3D-PDA)指标包括:(1)血管化指数(vascularity index,VI),代表目标容积内血管的丰富程度;(2)血流指数(flow index,FI),代表目标容积内血流的信号强度;(3)血管化血流指数(vascularity flow index,VFI),代表血管的数量和血流的丰富程度。一项荟萃分析表明,在ART周期中,ET日测量的子宫内膜VI、FI和VFI,以及在HCG日和ET日测量的子宫内膜下FI在妊娠患者中均显著升高,差异有统计学意义,最后得出结论,ET日妊娠与未妊娠患者的差异主要体现在子宫内膜的3D-PDA血流指标上,而HCG日两者差异主要体现在子宫内膜下的3D-PDA血流指标上,尤其是FI^[52]。Nandi等^[53]发现在接受FET的患者中,妊娠患者的子宫内膜及内膜下3D-PDA血流指标较未妊娠患者的差异并不显著。总之,关于子宫内膜/内膜下3D-PDA的血流指标对ART中妊娠结局的预测作用,还需进一步研究。

2.2.3 子宫内膜超声造影 通过经静脉团注声学微泡造影剂对子宫内膜和内膜下微循环进行实时显示,在此基础上利用时间-强度曲线获取定量参数。一般包括以下5个参数:到达时间(arrival time,AT)、达峰时间(time to peak,TTP)、上升时间(rise time,RT)、峰值强度(peak intensity,PI)、曲线下面积(area under curve,AUC)^[3]。与经阴道超声相比,超声造影能更好的研究子宫内膜和内膜下微循环。Chen等^[49]研究表明,不明原因不孕症患者增殖期晚期和排卵期的子宫内膜PI、内膜下PI和AUC值均显著低于正常生育妇女,在种植窗期两组间的差异却无统计学意义;子宫内膜下PI在月经周期中有明

显周期性变化,且与微血管密度呈正相关,提示子宫内膜下PI可能是评价子宫内膜微循环血流灌注的最敏感指标。王会敏等^[54]确定了不孕症患者ER定量分析参数的临界值,分别以4.27、4.13作为增殖晚期、排卵期子宫内膜PI诊断临界值,分别以7.23、5.81作为增殖晚期、排卵期子宫内膜下PI诊断临界值。目前,关于子宫内膜超声造影与妊娠结局的相关性研究并不多,且涉及样本量较小,期望未来有更多关于这方面的研究。

2.3 其他指标 SWE是一种通过剪切波传播速度获得组织杨氏模量值,进而定量评价组织弹性的超声新技术。SWE能实时、准确的得出所测量组织的剪切波传播速度或杨氏模量值,且受主观因素影响小,已经较为广泛地应用在甲状腺、乳腺、淋巴结、肝脾肾及动脉粥样硬化斑块等方面。近年来也有学者将其用于评估子宫内膜。余彩茶等^[55]对80例行卵泡监测的备孕妇女进行了SWE评估,发现增殖期和容受期内膜厚度和内膜平均弹性模量值分别为7.0(6.0,8.0)mm、(25.7±4.4)kPa及11.0(10.0,12.8)mm、(9.4±2.7)kPa,可见分泌期子宫内膜组织弹性明显低于增殖期,与子宫内膜的组织学周期性变化相符。这一结果与孙群维等^[56]所得结论相符。由此可知,较低的平均弹性模量值可能对应更好的ER,更适合胚胎植入。余彩茶等还发现,EMT与内膜平均弹性模量值之间呈负相关;不同回声类型内膜平均弹性模量值比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。值得注意的是,SWE受深度影响。孙群维等^[56]发现,当深度>3 cm时,图像稳定性下降;Manchanda等^[57]研究表明,可以评估子宫内膜弹性值的最大深度是4 cm。

3 总结与展望

上述超声指标对ER的评估均具有一定的价值,目前尚未发现其中一项可单独用于预测ART的妊娠结局,大部分学者运用多个超声指标来评估ER。但是,总有学者的研究结论否认上述超声指标的预测价值,造成学者之间研究差异的原因可能有:(1)无关变量没有统一标准,如研究对象的排除和纳入标准、使用仪器的差异等;(2)不同学者之间方法的不同,如妊娠结局的好坏缺乏金标准,有的研究使用CPR,有的使用活产率,有的则使用微血管密度;(3)患者的个体差异。下一步的研究可以:(1)在控制无关变量一致的前提下,扩大样本量,进行多中心评估;(2)根据不同超声指标预测价值的高低及各个超声指标具体的数值大小或者等级分级,赋予其相应权重的分值,以期为临床建立一个全面、准确的ER超声评分系统。

参考文献

- [1] Lessey BA,Young SL.What exactly is endometrial receptivity? [J]. Fertil Steril,2019,111(4):611-617.
- [2] 陈静,陆晓媛.高迁移率族蛋白B1和程序性坏死在子宫内膜异位症中的作用[J].中国临床研究,2020,33(4):446-451.
- [3] 陈淑霞,鄢曹鑫.不同超声参数在评估IVF-ET患者子宫内膜容

- 受性中的价值[J].中华全科医学,2019,17(5):821-824.
- [4] 陈霞,陈智毅,王伟群.Gn启动月经阴道彩色多普勒超声对卵巢反应性的预测价值[J].热带医学杂志,2016,16(8):1016-1019.
- [5] Dechaud H, Bessueille E, Bousquet PJ, et al. Optimal timing of ultrasonographic and Doppler evaluation of uterine receptivity to implantation[J]. Reprod Biomed Online, 2008, 16(3):368-375.
- [6] Craciunas L, Gallos I, Chu J, et al. Conventional and modern markers of endometrial receptivity: a systematic review and meta-analysis[J]. Hum Reprod Update, 2019, 25(2):202-223.
- [7] Weiss NS, van Vliet MN, Limpens J, et al. Endometrial thickness in women undergoing IUI with ovarian stimulation. How thick is too thin? A systematic review and meta-analysis[J]. Hum Reprod, 2017, 32(5):1009-1018.
- [8] 曾倩凌,燕怡,李艳萍,赵静.高孕激素状态下促排卵与微刺激方案在卵巢储备功能下降患者中的临床结局及经济效益比较[J].中国临床研究,2020,33(7):908-912.
- [9] Liu KE, Hartman M, Hartman A, et al. The impact of a thin endometrial lining on fresh and frozen-thaw IVF outcomes: an analysis of over 40 000 embryo transfers [J]. Hum Reprod, 2018, 33(10):1883-1888.
- [10] Tomic V, Kasum M, Vucic K. Impact of embryo quality and endometrial thickness on implantation in natural cycle IVF[J]. Arch Gynecol Obstet, 2020, 301(5):1325-1330.
- [11] Shaodi Z, Qiuyuan L, Yisha Y, et al. The effect of endometrial thickness on pregnancy outcomes of frozen-thawed embryo transfer cycles which underwent hormone replacement therapy[J]. PLoS One, 2020, 15(9):e0239120.
- [12] Lv H, Li XZ, Du JB, et al. Effect of endometrial thickness and embryo quality on live-birth rate of fresh IVF/ICSI cycles: a retrospective cohort study[J]. Reproductive Biol Endocrinol, 2020, 18(1):89.
- [13] Ribeiro VC, Santos-Ribeiro S, De Munck N, et al. Should we continue to measure endometrial thickness in modern-day medicine? The effect on live birth rates and birth weight [J]. Reprod Biomed Online, 2018, 36(4):416-426.
- [14] 黄柳静,羊海涛,谭庆英,丘映,许常龙.供精人工授精结局的相关因素分析[J].中国临床研究,2019,32(3):324-329.
- [15] 李建荣,杨坤,邵蕾,等.经阴道超声子宫内膜变化系数预测体外受精-胚胎移植临床结局[J].中国超声医学杂志,2019,35(7):633-635.
- [16] Check JH, Cohen R. Live fetus following embryo transfer in a woman with diminished egg reserve whose maximal endometrial thickness was less than 4 mm [J]. Clin Exp Obstet Gynecol, 2011, 38(4):330-332.
- [17] Casper RF. It's time to pay attention to the endometrium [J]. Fertil Steril, 2011, 96(3):519-521.
- [18] Chen SL, Wu FR, Luo C, et al. Combined analysis of endometrial thickness and pattern in predicting outcome of *in vitro* fertilization and embryo transfer: a retrospective cohort study [J]. Reprod Biol Endocrinol, 2010, 8:30.
- [19] Zhao J, Zhang Q, Li Y. The effect of endometrial thickness and pattern measured by ultrasonography on pregnancy outcomes during IVF-ET cycles [J]. Reprod Biol Endocrinol, 2012, 10:100.
- [20] Gonen Y, Casper RF. Prediction of implantation by the sonographic appearance of the endometrium during controlled ovarian stimulation for *in vitro* fertilization (IVF) [J]. J in Vitro Fert Embryo Transf, 1990, 7(3):146-152.
- [21] Forrest TS, Elyaderani MK, Muilenburg MI, et al. Cyclic endometrial changes: US assessment with histologic correlation [J]. Radiology, 1988, 167(1):233-237.
- [22] Smith B, Porter R, Ahuja K, et al. Ultrasonic assessment of endometrial changes in stimulated cycles in an *in vitro* fertilization and embryo transfer program [J]. J in Vitro Fert Embryo Transf, 1984, 1(4):233-238.
- [23] Sher G, Herbert C, Maassarani G, et al. Assessment of the late proliferative phase endometrium by ultrasonography in patients undergoing *in-vitro* fertilization and embryo transfer (IVF/ET) [J]. Hum Reprod, 1991, 6(2):232-237.
- [24] Yang W, Zhang T, Li Z, et al. Combined analysis of endometrial thickness and pattern in predicting clinical outcomes of frozen embryo transfer cycles with morphological good-quality blastocyst: a retrospective cohort study [J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(2):e9577.
- [25] Hou ZJ, Zhang Q, Zhao J, et al. Value of endometrial echo pattern transformation after hCG trigger in predicting IVF pregnancy outcome: a prospective cohort study [J]. Reproductive Biol Endocrinol, 2019, 17(1):74.
- [26] Oluborode B, Burks H, Craig LB, et al. Does the ultrasound appearance of the endometrium during treatment with assisted reproductive technologies influence pregnancy outcomes? [J]. Hum Fertil (Camb), 2020;1-10.
- [27] Yaman C, Ebner T, Sommergruber M, et al. Role of three-dimensional ultrasonographic measurement of endometrium volume as a predictor of pregnancy outcome in an IVF-ET program: a preliminary study [J]. Fertil Steril, 2000, 74(4):797-801.
- [28] Zollner U, Zollner KP, Specketer MT, et al. Endometrial volume as assessed by three-dimensional ultrasound is a predictor of pregnancy outcome after *in vitro* fertilization and embryo transfer [J]. Fertil Steril, 2003, 80(6):1515-1517.
- [29] Zollner U, Specketer MT, Dielt J, et al. 3D-Endometrial volume and outcome of cryopreserved embryo replacement cycles [J]. Arch Gynecol Obstet, 2012, 286(2):517-523.
- [30] Boza A, Oznur DA, Mehmet C, et al. Endometrial volume measured on the day of embryo transfer is not associated with live birth rates in IVF: a prospective study and review of the literature [J]. J Gynecol Obstet Hum Reprod, 2020, 49(10):101767.
- [31] Tanos V, Lingwood L, Balami S. Junctional zone endometrium morphological characteristics and functionality: review of the literature [J]. Gynecol Obstet Investig, 2020, 85(2):107-117.
- [32] Ijland MM, Evers JL, Dunselman GA, et al. Endometrial wavelike movements during the menstrual cycle [J]. Fertil Steril, 1996, 65(4):746-749.
- [33] van Gestel I, Ijland MM, Evers JL, et al. Complex endometrial wave-patterns in IVF [J]. Fertil Steril, 2007, 88(3):612-615.
- [34] Nakashima A, Komesu I, Sakumoto T, et al. Study of uterine kinetics

- in nonpregnant women using cine-mode magnetic resonance imaging [J]. *Reprod Med Biol*, 2019, 18(4):370-377.
- [35] Swierkowski-Blanchard N, Boitrelle F, Alter L, et al. Uterine contractility and elastography as prognostic factors for pregnancy after intrauterine insemination[J]. *Fertil Steril*, 2017, 107(4):961-968.e3.
- [36] Zhu L, Che HS, Xiao L, et al. Uterine peristalsis before embryo transfer affects the chance of clinical pregnancy in fresh and frozen-thawed embryo transfer cycles [J]. *Hum Reprod*, 2014, 29(6):1238-1243.
- [37] Blank C, Sarmali F, Kuijsters N, et al. Assessment of uterine activity during IVF by quantitative ultrasound imaging: a pilot study[J]. *Reprod Biomed Online*, 2020, 41(6):1045-1053.
- [38] Kuijsters NPM, Sarmali F, Rabotti C, et al. Visual inspection of transvaginal ultrasound videos to characterize uterine peristalsis: an inter-observer agreement study [J]. *J Ultrasound*, 2020, 23(1):37-44.
- [39] Silva V, Ramos FF, Brás AFM, et al. Junctional zone in infertile women: a three-dimensional ultrasound study [J]. *Revista Brasileira De Ginecologia E Obstet*, 2020, 42(3):152-159.
- [40] 陈丽荣, 黄静, 张步林, 等. 经阴道三维超声检测子宫内膜-肌层结合带对 IVF-ET 妊娠结局的预测价值[J]. *声学技术*, 2020, 39(3):311-315.
- [41] Maged AM, Ramzy AM, Ghar MA, et al. 3D ultrasound assessment of endometrial junctional zone anatomy as a predictor of the outcome of ICSI cycles[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reproductive Biol*, 2017, 212:160-165.
- [42] Yang W, Wu Z, Yu M, et al. Characteristics of midluteal phase uterine artery hemodynamics in patients with recurrent pregnancy loss[J]. *J Obstet Gynaecol Res*, 2019, 45(7):1230-1235.
- [43] 李芷舒, 鲁海鸥, 张宇明, 等. 不孕患者移植当日子宫内膜容受性评估对临床妊娠率影响研究[J]. *中国实用妇科与产科杂志*, 2020, 36(3):264-266.
- [44] 屈文娟, 姜宏, 罗福成, 等. 经阴道彩色多普勒超声在 IVF-ET 中对子宫内膜容受性的评估价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2011, 27(11):1027-1030.
- [45] Uysal S, Ozbay EP, Ekinici T, et al. Endometrial spiral artery Doppler parameters in unexplained infertility patients; is endometrial perfusion an important factor in the etiopathogenesis? [J]. *J Turk Ger Gynecol Assoc*, 2012, 13(3):169-171.
- [46] 何培芝, 叶妮, 王蓉, 等. 反复自然流产患者子宫内膜容受性的超声评价[J]. *临床超声医学杂志*, 2017, 19(6):387-390.
- [47] Elsokkary M, Eldin AB, Abdelhafez M, et al. The reproducibility of the novel utilization of five-dimensional ultrasound and power Doppler in the prediction of endometrial receptivity in intracytoplasmic sperm-injected women: a pilot prospective clinical study [J]. *Arch Gynecol Obstet*, 2019, 299(2):551-558.
- [48] Tong RQ, Zhou Y, He Q, et al. Analysis of the guidance value of 3D ultrasound in evaluating endometrial receptivity for frozen-thawed embryo transfer in patients with repeated implantation failure [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(15):944.
- [49] Chen M, He Y, Zhang P, et al. Comparison of uterine receptivity between fertile and unexplained infertile women by assessment of endometrial and subendometrial perfusion using contrast-enhanced ultrasound; which index is better—peak intensity or area under the curve? [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2016, 42(3):654-663.
- [50] Sharkey AM, Day K, McPherson A, et al. Vascular endothelial growth factor expression in human endometrium is regulated by hypoxia [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2000, 85(1):402-409.
- [51] Graham CH, Postovit LM, Park H, et al. *Adriana* and *luisa castellucci* award lecture 1999: role of oxygen in the regulation of trophoblast gene expression and invasion [J]. *Placenta*, 2000, 21(5/6):443-450.
- [52] Wang J, Xia F, Zhou Y, et al. Association between endometrial/subendometrial vasculature and embryo transfer outcome: a meta-analysis and subgroup analysis [J]. *J Ultrasound Med*, 2018, 37(1):149-163.
- [53] Nandi A, Martins WP, Jayaprakasan K, et al. Assessment of endometrial and subendometrial blood flow in women undergoing frozen embryo transfer cycles [J]. *Reprod Biomed Online*, 2014, 28(3):343-351.
- [54] 王会敏, 肖祎炜, 欧阳春艳, 等. 超声造影评价不孕症患者子宫内膜容受性的应用研究 [J]. *中国超声医学杂志*, 2020, 36(3):252-254.
- [55] 余彩茶, 水旭娟, 焦岩, 等. 实时剪切波弹性成像在评估子宫内膜容受性中的初步应用 [J]. *中国全科医学*, 2020, 23(21):2678-2681.
- [56] 孙群维, 张盛敏, 凌乐文, 等. 经阴道实时剪切波弹性成像对正常女性子宫内膜的初步研究 [J]. *中国超声医学杂志*, 2018, 34(8):739-742.
- [57] Manchanda S, Vora Z, Sharma R, et al. Quantitative sonoelastographic assessment of the normal uterus using shear wave elastography: an initial experience [J]. *J Ultrasound Med*, 2019, 38(12):3183-3189.

收稿日期:2021-01-27 修回日期:2021-02-23 编辑:王宇