

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2026.04.033

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251201.1051.002\(2025-12-01\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20251201.1051.002(2025-12-01))

子宫动脉血流动力学参数在辅助生殖技术中应用的研究进展*

杨晓静¹ 张延美¹ 陈绪娇² 张莉^{2△}

(1. 西安医学院, 西安 710068; 2. 空军军医大学唐都医院超声科, 西安 710032)

[摘要] 子宫动脉作为女性生殖系统的主要供血来源,与子宫内膜的容受性和卵巢的储备功能有着密切的关系,从而影响着妊娠结局。近年来随着辅助生殖技术的广泛应用,子宫动脉在妊娠过程中有着越来越重要的价值,该文重点探讨子宫动脉的血流动力学参数与不明原因不孕、胚胎(反复)种植失败及反复流产的关系。

[关键词] 子宫动脉;辅助生殖技术;不明原因不孕;反复胚胎种植失败;反复流产

[中图分类号] R714.8 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2026)04-0918-05

Research progress on the application of uterine artery hemodynamic parameters in assisted reproduction*

YANG Xiaojing¹, ZHANG Yanmei¹, CHEN Xujiao², ZHANG Li^{2△}

(1. Xi'an Medical University, Xi'an, Shaanxi 710068, China; 2. Department of Ultrasound, Tangdu Hospital, Air Force Medical University, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

[Abstract] The uterine artery, as the primary blood supply source of the female reproductive system, is closely related to endometrial receptivity and ovarian reserve function, thereby influencing pregnancy outcomes. In recent years, with the widespread application of assisted reproductive technology (ART), the uterine artery has an increasingly important value in the process of pregnancy. This article focuses on the relationship between uterine artery hemodynamic parameters and unexplained infertility (UI), recurrent embryo implantation failure (RIF), and recurrent pregnancy loss (RPL).

[Key words] uterine artery; assisted reproductive technology; unexplained infertility; recurrent implantation failure; recurrent miscarriage

子宫动脉作为女性生殖系统的主要供血来源,在妊娠过程中具有重要的临床价值。子宫动脉起自髂内动脉,沿阔韧带基底部向内上方走行至子宫颈水平,在此分为上行支(子宫体支)和下行支(宫颈-阴道支)。上行支沿子宫侧缘呈螺旋状上行,沿途发出弓形动脉穿入子宫肌层,进一步分支为放射状动脉并延伸至子宫内膜形成螺旋动脉,最终在宫角分为子宫底支、卵巢支及输卵管支。超声技术凭借其无创性、实时动态性及可重复性等优势,已成为评估子宫动脉血流动力学参数的首选影像学手段。1983年 CAMPBELL 等率先将脉冲多普勒技术应用于子宫动脉血流评估,建立包括收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV)、舒张末期流速(end diastolic velocity, EDV)、收缩期与舒张期流速比值(S/D)、搏动指数(pulsatility index, PI)及阻力指数(resist index, RI)等量化参数。通过超声获取子宫动脉血流频谱的位置在宫颈内口水平子宫动脉主干处,测量角度要求<

30°^[1]。生理状态下非妊娠期子宫动脉血流频谱表现为高阻力特征,舒张期流速明显降低并伴特征性舒张早期切迹,在月经黄体期子宫动脉血流阻力最低,其原因是黄体期体内雌、孕激素水平变化及血管生成因子调节使子宫动脉血流阻力下降,子宫内膜血流增加,从而有助于改善子宫的血流供应^[2-4],这一时期子宫动脉血流动力学参数通常 $PI < 2.5$, $RI < 0.85$ ^[5];妊娠期随着滋养细胞对螺旋动脉的重塑^[6],子宫动脉血流动力学参数 S/D、RI、PI 等进行性下降,舒张早期切迹逐渐变浅直至消失。近年来研究发现子宫动脉的血流动力学参数与女性不孕症相关,并对辅助生殖技术(assisted reproductive technology, ART)的成功起着至关重要的作用。本文对非妊娠期超声评价子宫动脉血流动力学参数的研究进展进行综述。

1 子宫动脉血流动力学参数与不明原因不孕症

不明原因不孕症定义为夫妻双方经系统评估(包括排卵功能、输卵管通畅性、精液分析及宫腔形态等

* 基金项目:陕西省重点研发项目(一般项目-社会发展领域)(2023-YBSF-497)。△ 通信作者, E-mail: lilyzhang319_20@hotmail.com。

评估)未发现明确异常,无避孕、规律性生活 1 年仍未临床妊娠的病理状态^[7]。作为全球性公共卫生问题,目前不孕症影响着 8%~12% 的育龄夫妻^[8],世界卫生组织已将其列为继恶性肿瘤和心血管疾病之后威胁人类健康的第三大疾病^[9]。近年来多项研究提出子宫动脉血流动力学异常与不孕症相关。徐文越^[10]及庞增亿等^[11]纵向研究得出了完全一致的结论,在月经周期第 7、14、21 天连续检测不孕组和正常对照组女性子宫动脉的血流动力学参数,发现不孕组女性子宫动脉的 PSV 较正常对照组明显降低,同时 RI 与 PI 明显升高($P < 0.05$)。另一项前瞻性病例对照研究比较了黄体中期不明原因不孕症女性和健康女性的子宫动脉血流动力学参数,发现不明原因不孕症女性子宫动脉的平均 PI、RI 明显高于对照组,平均 EDV 明显降低($P < 0.05$),但两组间平均 PSV 差异无统计学意义,并指出子宫动脉 PI 增加是女性不明原因不孕症发生的风险因素,在 PI 增加 1 个单位后,育龄女性发生不明原因不孕症的风险增加 3.36 倍(95% CI: 1.41~8.04, $P = 0.006$)^[12]。ALI ZARAD 等^[13]研究显示,黄体中期不孕组的 RI、PI 及 S/D 的平均值均明显高于对照组($P < 0.001$),并确定 $RI \geq 0.67$ 、 $PI \geq 1.95$ 及 $S/D \geq 3.0$ 会发生不孕,其灵敏度和特异度均超过 85%。由此可见,子宫动脉血流阻力增加是引起女性不孕症的直接原因,其会导致子宫下游动脉血流灌注的障碍,作为营养子宫内膜的供血血管,内膜血流灌注减少会直接导致内膜微环境改变。因此,临床针对拟行 ART 的不孕症患者,尝试通过改善子宫动脉血流阻力、血流灌注,降低子宫动脉的 PI、RI,从而提升 ART 的成功率。

2 子宫动脉血流动力学参数与胚胎(反复)移植失败

胚胎移植是否成功除了与胚胎质量和移植技术有关^[14]外,还与子宫内膜容受性(endometrial receptivity, ER)密切相关^[15]。ER 受多种因素影响,包括激素调节、子宫内膜基因表达、子宫内膜形态学变化、免疫系统调节和子宫内膜血管化等^[16-19]。其中,子宫动脉血流动力学变化及其相关的子宫内膜血供情况受到广泛关注^[20]。有学者发现,在冷冻胚胎移植(frozen embryo transfer, FET)周期中监测子宫动脉的血流动力学对临床妊娠结局具有良好的预测价值^[21-22]。多数研究选择在 FET 周期的两个关键时间节点即人绒毛膜促性腺激素(human chorionic gonadotropin, HCG)注射日与胚胎移植日测量子宫动脉 PSV、EDV、S/D、PI、RI 等参数进行研究。

值得注意的是,不同研究的结论存在一定的差异,一项前瞻性研究($n = 169$)在 HCG 注射日和胚胎移植日检测子宫动脉及子宫内下血流的 PI 和 RI,根据胚胎移植后第 12 天血清 β -HCG 水平分为妊娠

组和非妊娠组,发现 2 个测量时间点妊娠组的子宫动脉及子宫内下血流的 PI 与 RI 均明显低于非妊娠组($P < 0.05$)^[23]。另一项纳入广泛人群($n = 6\ 632$)的 meta 分析显示,HCG 注射日妊娠组和非妊娠组子宫动脉 PI、RI 差异并无统计学意义,而在移植日非妊娠组 PI(95% CI: 0.020~0.150, $P = 0.010$)与 RI(95% CI: 0.010~0.010, $P < 0.001$)明显升高,但 S/D 差异无统计学意义^[24]。但 WU 等^[25]的多中心数据($n = 4\ 842$)显示,妊娠组与非妊娠组间 PI、RI 差异无统计学意义,而妊娠组 S/D 明显低于未妊娠组(95% CI: -8.28~-1.56, $P = 0.004$)。BAHRAMI 等^[26]不仅比较了反映子宫动脉血流阻力的参数,同时也比较了峰值血流速度,结果显示 RI 与 PSV 组间差异无统计学意义,但非妊娠组子宫动脉 PI 明显高于妊娠组(2.31 ± 0.99 vs. 2.00 ± 0.82 , $P = 0.030$)。此外,随着子宫动脉 PI 的降低,内膜血流灌注增加(子宫内膜血流灌注 1 区表示血流达子宫肌层与内膜交界区,未进入内膜基层;2 区表示血流进入内膜基层;3 区表示血流到达子宫内膜功能层),进而临床妊娠率提高,但这一趋势组间差异无统计学意义($P = 0.15$),未来仍需通过扩大样本量进行进一步的验证。对于更为严重的反复胚胎种植失败(recurrent implantation failure, RIF),即至少 3 次新鲜或冷冻胚胎移植周期中每次移植优质胚胎但均未能成功妊娠,已有研究显示 RI 这一指标可能更有临床意义^[27-28]。一项样本量为 80 例的前瞻性研究显示,在 HCG 注射日测量子宫动脉血流动力学参数,RIF 组的子宫动脉 RI 值明显高于妊娠组(0.95 ± 0.12 vs. 0.78 ± 0.11 , $P < 0.05$),而 S/D 和 PI 差异无统计学意义($P > 0.05$)^[29]。后续一项横断面研究($n = 139$)显示,RIF 组女性于移植日测量的子宫动脉 RI 较非 RIF 组女性异常升高(1.00 ± 0.29 vs. 0.83 ± 0.24 , $P < 0.001$),而 PI、PSV 组间差异无统计学意义^[30]。

以上研究可见,在胚胎种植失败病因的研究中,子宫动脉的血流阻力问题更引人关注,反映子宫动脉血流阻力的 3 个参数 PI、RI 及 S/D 在不同研究中表现不一,可能与子宫动脉血流动力学参数的超声测量时间、样本量及分组标准有关。HCG 注射日相当于卵泡期,卵泡期体内雌激素及孕激素处于低水平,子宫动脉血流呈高阻状态,而移植日是黄体期,黄体期体内雌、孕激素均处于高水平,子宫动脉血流阻力进一步降低到最低,是子宫接受胚胎植入的窗口期,理论上黄体期的子宫动脉血流动力学参数变化与移植结局最为相关,所以研究结论存在测量时间的差异性,但是总体趋势基本一致,即 RIF 患者子宫动脉血流阻力高于对照组,子宫动脉血流阻力参数可能为胚胎种植失败的病因学研究及疗效随访提供依据。

目前临床上对于 RIF 患者试图通过抗凝治疗改善子宫动脉血流动力学从而提高临床妊娠率,无论是低剂量阿司匹林治疗^[31]还是宫内灌注富血小板血浆^[32]都能够有效改善患者子宫动脉的血流阻力,治疗后 RIF 患者子宫动脉的 PI 和 RI 明显下降 ($P < 0.05$),进而提高了胚胎着床率。

3 子宫动脉血流动力学参数与不明原因反复流产

根据欧洲人类生殖与胚胎学学会联合美国生殖医学学会 2023 年最新指南,反复流产 (recurrent pregnancy loss, RPL) 是指连续或非连续性 ≥ 2 次妊娠丢失,包含生化妊娠及妊娠部位不明^[33]。流行病学数据显示该病全球患病率为 2%~3%^[34],主要涉及遗传学异常(亲代染色体平衡易位及胚胎非整倍体)、内分泌代谢紊乱(如黄体功能不全、甲状腺功能障碍等)、免疫学失衡(包括自身免疫及同种免疫异常)及子宫解剖结构异常(如纵膈子宫、宫腔粘连等)等^[35-37],但还有 40%~50% 经过系统评估仍无法明确病因被定义为不明原因反复流产(unexplained recurrent pregnancy loss, URPL)^[38]。近年来研究聚焦于 RPL 患者的子宫动脉血流动力学评估,认为子宫动脉的血流动力学变化可能是一系列病因导致的终端因素。有研究发现在黄体中期 RPL 患者子宫动脉的平均 PI、RI 和 S/D 明显高于非 RPL 患者 ($P < 0.001$)^[39],这一结论被 CAO 等^[40]证实,该研究关注子宫动脉波形类型及其血流动力学参数的差异,发现 RPL 组子宫动脉的 PI 和 RI 明显高于对照组 (PI: 2.42 ± 0.38 vs. 2.20 ± 0.64 , $P = 0.003$; RI: 0.86 ± 0.07 vs. 0.83 ± 0.07 , $P = 0.002$),同时 RPL 组舒张期血流缺失或反向的比例高于对照组。后续一项针对 URPL 的研究也得到类似的结果,在黄体中期测量 URPL 患者的子宫动脉 PI、RI 和 S/D 均明显高于对照组 ($P < 0.05$)^[41],并且以 PI=2.6 为截断值,PI>2.6 组中 URPL 患者的比例明显高于 PI<2.6 组 (74.58% vs. 40.65%, $P < 0.001$),诊断灵敏度和特异度分别为 63% 和 69%;若以 RI=0.86 为截断值,RI>0.86 组中 URPL 患者的比例明显高于 RI<0.86 组 (65.28% vs. 42.25%, $P = 0.001$),灵敏度和特异度分别为 66% 和 75%,可以看出,针对 URPL 人群,RI 的诊断效能优于 PI。

ZHONG 等^[42]的回顾性研究将 URPL 患者 ($n = 318$) 分为正常妊娠 (URPL-N) 组和不良妊娠 (URPL-A) 组,对照组也分为正常妊娠 (CON-N) 组和不良妊娠 (CON-A) 组,通过黄体中期、妊娠早期、中期、晚期多阶段血流监测进行了更进一步的分析,结果显示 URPL-N 组的螺旋动脉血流阻力在妊娠全阶段均低于 URPL-A 组 ($P < 0.05$),而子宫动脉血流阻力在黄体中期及孕早期较 URPL-A 组低,孕中、晚期两组无

明显差异。而对照组中,CON-N 组的螺旋动脉和子宫动脉血流阻力在妊娠全阶段均低于 CON-A 组 ($P < 0.05$)。4 组间比较,CON-N 组的子宫动脉及螺旋动脉血流阻力最低,略低于 URPL-N 组;URPL-A 组和 CON-A 组的子宫动脉和螺旋动脉血流动力学参数更高。同时螺旋动脉的血流动力学参数在预测妊娠结局方面表现优于子宫动脉,提示螺旋动脉重塑障碍可能是 URPL 的核心病理机制之一。

研究证实,通过抗凝药物治疗可以有效改善 RPL 患者子宫动脉血流的阻力增高,从而改善妊娠结局。小剂量阿司匹林治疗可以明显降低 RPL 患者子宫内血流和子宫动脉血流的阻力 ($P < 0.001$)^[43-44]。ZHANG 等^[45]对 100 例 RPL 患者进行药物分组研究,52 例患者使用肝素治疗,48 例患者使用常规激素治疗,结果显示治疗前两组子宫动脉血流动力学参数均高于正常值,但治疗后均下降,且肝素组下降幅度更大 ($P < 0.05$)。近年来有学者提出早期 RPL 的患者应连续皮下注射低分子肝素 4 周才能有效改善子宫动脉的血流动力学^[46]。还有研究提出阿司匹林和肝素联合用药对 RPL 患者的治疗效果优于单一用药^[47]。

4 小 结

近年来,通过超声评价非孕期子宫动脉血流动力学参数在辅助生殖技术应用中展现出重要的临床应用价值。采用经阴道超声对非孕期进行检查,能更清楚地显示子宫动脉主干从而减少误差,一般在子宫动脉主干上行支段测量,若位置接近髂内动脉容易使 PSV、RI、PI 都偏高,若进入子宫肌层测量测得的为弓状动脉的血流频谱,PSV、PI、RI 都会偏低;同时也要注意测量角度,角度过大会使峰值流速被低估,影响测量准确性。因此测量时必须严格遵守质控要求,减少因测量方法导致的数据误差。以上研究结论之间存在异质性,与研究人群、样本量、测量方法差异有关,因此临床指导价值还有待通过大样本的临床研究进行验证,但通过系统分析子宫动脉、螺旋动脉及子宫内膜的血流动力学参数,仍可有效评估子宫内膜容受性及为妊娠结局的预测提供一定的科学依据。同时,虽然众多研究表明抗凝药的应用有助于改善子宫动脉血流动力学,但在临床中仍有部分患者规范治疗后未获得改善,因此,在选择子宫动脉作为疗效评估的研究设计中应严格把控,并选择合适的参数进行验证,从而为辅助生殖改善妊娠结局提供循证依据。

利益冲突:所有作者声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] BHIDE A, ACHARYA G, BASCHAT A, et al. ISUOG practice guidelines (updated): use of

- Doppler velocimetry in obstetrics [J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2021, 58(2): 331-339.
- [2] ABOUELELA Y S, YASIN N, EL KARMOTY A F, et al. Ovarian, uterine and luteal hemodynamic variations between pregnant and non-pregnant pluriparous Egyptian buffalos with special reference to their anatomical and histological features [J]. *Theriogenology*, 2021, 173: 173-182.
- [3] VARGAS V E, LANDEROS R V, LOPEZ G E, et al. Uterine artery leptin receptors during the ovarian cycle and pregnancy regulate angiogenesis in ovine uterine artery endothelial cells-dagger [J]. *Biol Reprod*, 2017, 96(4): 866-876.
- [4] ABDELNABY E A, ABO EL-MAATY A M, RAGAB R, et al. Dynamics of uterine and ovarian arteries flow velocity waveforms and their relation to follicular and luteal growth and blood flow vascularization during the estrous cycle in Friesian cows [J]. *Theriogenology*, 2018, 121: 112-121.
- [5] 万书婷, 王谢桐. 子宫动脉血流监测在产科的应用 [J]. *中国实用妇科与产科杂志*, 2022, 38(4): 403-406.
- [6] VARBERG K M, SOARES M J. Paradigms for investigating invasive trophoblast cell development and contributions to uterine spiral artery remodeling [J]. *Placenta*, 2021, 113: 48-56.
- [7] SHINGSHETTY L, WANG R, FENG Q, et al. Prognosis-based management of unexplained infertility-why not? [J]. *Hum Reprod Open*, 2024, 2024(2): hoae015.
- [8] AGARWAL A, BASKARAN S, PAREKH N, et al. Male infertility [J]. *The Lancet*, 2021, 397(10271): 319-333.
- [9] HANEVIK H I, HESSEN D O. IVF and human evolution [J]. *Hum Reprod Update*, 2022, 28(4): 457-479.
- [10] 徐文越. 子宫内膜容受性和子宫动脉血流动力学指标在不孕症超声诊断中的价值 [J]. *继续医学教育*, 2024, 38(6): 166-170.
- [11] 庞增亿, 刘丽冰, 王红阳. 基于子宫内膜容受性和血流动力学分析超声检查在不孕症中的临床应用价值 [J]. *中国妇幼保健*, 2024, 39(9): 1722-1725.
- [12] SMART A E, OBAJIMI G O, ADEKANMI A J, et al. A comparative study of uterine artery Doppler parameters and endometrial characteristics in women with unexplained infertility and fertile women at a Nigerian teaching hospital [J]. *West Afr J Med*, 2022, 39(5): 451-458.
- [13] ALI ZARAD C, MOHAMED M H, SHANAB W S A. Role of uterine artery Doppler in assessment of unexplained infertility [J]. *Egypt J Radiol Nuc Med*, 2021, 52(1): 59.
- [14] SANTANDER-PÉREZ P A, CESCHIN Á P, RAMOS A, et al. Serum concentrations of progesterone and prolactin as predictors of success in in vitro fertilization: a retrospective cohort study [J]. *JBRA Assist Reprod*, 2023, 27(1): 71-77.
- [15] 钟晓盈, 贾雪敏, 刘海元. 子宫内膜容受性的研究进展 [J]. *生殖医学杂志*, 2024, 33(9): 1250-1257.
- [16] ELSOKKARY M, ELDIN A B, 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.
- [17] WANG W, FENG D, LING B. *Biologia futura: endometrial microbiome affects endometrial receptivity from the perspective of the endometrial immune microenvironment* [J]. *Biol Futur*, 2022, 73(3): 291-300.
- [18] LIU S, HONG L, LIAN R, et al. Transcriptomic analysis reveals endometrial dynamics in normal weight and overweight/obese polycystic ovary syndrome women [J]. *Front Genet*, 2022, 13: 874487.
- [19] ZHANG D, XU G, ZHANG R, et al. Decreased expression of aquaporin 2 is associated with impaired endometrial receptivity in controlled ovarian stimulation [J]. *Reprod Fertil Dev*, 2016, 28(4): 499-506.
- [20] 余彩茶, 水旭娟, 焦岩, 等. 子宫动脉及内膜血流在评估子宫内膜容受性及预测妊娠结局中的应用价值 [J]. *医学研究杂志*, 2022, 51(3): 75-79.
- [21] FAN J, ZHANG J, XU S, et al. The predictive value of uterine artery Doppler in the success rate of pregnancy from the first frozen embryo transfer during the implantation window [J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2023, 23(1): 825.

- [22] 马静丽,叶创文,朱贤胜,等.应用多模态超声评估不孕症胚胎移植术中子宫内膜容受性的研究[J].中国超声医学杂志,2025,41(7):787-790.
- [23] SILVA MARTINS R, HELIO OLIANI A, VAZ OLIANI D, et al. Subendometrial resistance and pulsatility index assessment of endometrial receptivity in assisted reproductive technology cycles [J]. *Reprod Biol Endocrinol*, 2019, 17(1):62.
- [24] 于珍,唐英,龙囿霖,等.超声评估子宫内膜容受性预测体外受精-胚胎移植临床妊娠结局的 Meta 分析[J].中国循证医学杂志,2022,22(3):284-290.
- [25] WU J, SHENG J, WU X, et al. Ultrasound-assessed endometrial receptivity measures for the prediction of in-vitro fertilization-embryo transfer clinical pregnancy outcomes: a meta-analysis and systematic review [J]. *Exp Ther Med*, 2023, 26(3):453.
- [26] BAHRAMI F, EFTEKHAR M, ZANBAGH L. Uterine artery Doppler and endometrial blood flow in frozen embryo transfer: a cohort study [J]. *Int J Reprod Biomed*, 2023, 21(3):205-212.
- [27] MAGED A M, KAMEL A M, ABU-HAMILA F, et al. The measurement of endometrial volume and sub-endometrial vascularity to replace the traditional endometrial thickness as predictors of in-vitro fertilization success [J]. *Gynecol Endocrinol*, 2019, 35(11):949-954.
- [28] MA J, GAO W, LI D. Recurrent implantation failure: a comprehensive summary from etiology to treatment [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 13:1061766.
- [29] LI Z, WANG X, GUAN Y, et al. Uterine artery blood flow and microvessel density by vaginal color Doppler ultrasonography in embryo implantation failure [J]. *Exp Ther Med*, 2017, 14(5):4797-4800.
- [30] BAYATI F, EFTEKHAR M, HOMAYOON N, et al. Comparison of Doppler ultrasound indices of uterine artery and sub endometrial blood supply in frozen embryo transfer with and without repeated implantation failure: a cross-sectional study [J]. *Int J Reprod Biomed*, 2023, 21(11):937-942.
- [31] ZHANG X, GUO F, WANG Q, et al. Low-dose aspirin treatment improves endometrial receptivity in the midluteal phase in unexplained recurrent implantation failure [J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2022, 156(2):225-230.
- [32] YUAN B, LUO S, MAO J, et al. Effects of intrauterine infusion of platelet-rich plasma on hormone levels and endometrial receptivity in patients with repeated embryo implantation failure [J]. *Am J Transl Res*, 2022, 14(8):5651-5659.
- [33] ESHRE Guideline Group on RPL, BENDER ATIK R, CHRISTIANSEN O B, et al. ESHRE guideline: recurrent pregnancy loss; an update in 2022 [J]. *Hum Reprod Open*, 2023, 2023(1):hoad002.
- [34] MUMUSOGLU S, TELEK S B, ATA B. Pre-implantation genetic testing for aneuploidy in unexplained recurrent pregnancy loss: a systematic review and meta-analysis [J]. *Fertil Steril*, 2025, 123(1):121-136.
- [35] LIU M, WANG D, ZHU L, et al. Association of thyroid peroxidase antibodies with the rate of first-trimester miscarriage in euthyroid women with unexplained recurrent spontaneous abortion [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022, 13:966565.
- [36] REN J, KEQIE Y, LI Y, et al. Case report: optical genome mapping revealed double rearrangements in a male undergoing preimplantation genetic testing [J]. *Front Genet*, 2023, 14:1132404.
- [37] TANG C, HU W. The role of Th17 and Treg cells in normal pregnancy and unexplained recurrent spontaneous abortion (URSA): new insights into immune mechanisms [J]. *Placenta*, 2023, 142:18-26.
- [38] BRUNO V, TICCONI C, MARTELLI F, et al. Uterine and placental blood flow indexes and antinuclear autoantibodies in unexplained recurrent pregnancy loss: should they be investigated in pregnancy as correlated potential factors? a retrospective study [J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2020, 20(1):44.
- [39] 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.