

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.03.036

子宫内膜癌肌层浸润深度与子宫动脉血流动力学参数的定量关联研究

李旭阳¹, 冀 鹏², 朱风叶²

(1. 确山县人民医院 磁共振室, 河南驻马店 463200;

2. 驻马店市中心医院 磁共振科, 河南驻马店 463000)

【摘要】目的 探讨子宫内膜癌(endometrial cancer, EC)患者子宫动脉血流动力学参数与术后肌层浸润深度的定量关联。**方法** 回顾性选取2022年12月至2025年12月于确山县人民医院经手术病理确诊的86例EC患者的临床资料进行分析。术前均行盆腔磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)评估肌层浸润深度,并经阴道彩色多普勒超声测量子宫动脉搏动指数(pulsatility index, PI)、阻力指数(resistance index, RI)及收缩期峰值流速/舒张期流速比值(ratio of peak systolic/diastolic flow velocity, S/D)。以病理结果为“金标准”,采用Spearman相关性分析及受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线评估参数的相关性及其诊断效能。**结果** 深肌层浸润组PI、RI、S/D值均显著高于浅浸润组和无浸润组(均 $P<0.01$)。肌层浸润深度与PI($r=0.712$)、RI($r=0.698$)、S/D($r=0.654$)均呈显著正相关(均 $P<0.001$)。PI诊断深肌层浸润的曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.891,最佳截断值2.35时,敏感度为84.6%,特异度为83.3%。**结论** EC患者子宫动脉血流动力学参数与肌层浸润深度呈正相关,PI对深肌层浸润有较好的诊断价值,联合MRI可能提高术前评估准确性。

【关键词】 子宫内膜癌; 肌层浸润深度; 子宫动脉; 血流动力学; 彩色多普勒超声

【中图分类号】 R737.33

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2026) 03-0195-05

Quantitative correlation between myometrial invasion depth of endometrial carcinoma and hemodynamic parameters of uterine artery

LI Xuyang¹, JI Peng², ZHU Fengye²

(1. Department of Magnetic Resonance Imaging, Queshan People's Hospital, Zhumadian 463200, Henan, China;

2. Department of Magnetic Resonance Imaging, Zhumadian Central Hospital, Zhumadian 463000, Henan, China)

【Abstract】 Objective To investigate the quantitative relationship between uterine artery hemodynamic parameters and postoperative pathological muscle invasion depth in patients with endometrial cancer (EC). **Methods** Retrospectively, the clinical data of 86 patients with EC who were diagnosed through surgical pathology at Queshan People's Hospital from December 2022 to December 2025 were selected for analysis. The depth of muscular infiltration was evaluated by pelvic magnetic resonance imaging (MRI) before operation, and the pulsatility index (PI), resistance index (RI) and ratio of peak systolic/diastolic flow velocity (S/D) of uterine artery were measured by transvaginal color Doppler ultrasound. At the same time, using the pathological results as the gold standard, Spearman correlation analysis and receiver operator characteristic (ROC) curve were used to evaluate the correlation of parameters and diagnostic efficacy. **Results** The results showed that the values of PI, RI and S/D in the deep muscle infiltration group were significantly higher than those in the shallow infiltration group and the non-infiltration group (all $P<0.01$). Moreover, the depth of muscle infiltration is positively correlated with PI ($r=0.712$), RI ($r=0.698$) and S/D ($r=0.654$) (all $P<0.001$). In addition, the area under the curve (AUC) of PI for the diagnosis of deep muscle infiltration was 0.891, and the sensitivity was 84.6% and the specificity was 83.3% at the optimal cutoff value of 2.35. **Conclusion** The hemodynamic parameters of uterine artery in patients with EC are positively correlated with the depth of muscular infiltration, and PI has good diagnostic value for deep muscular infiltration, so the combination of MRI may improve the accuracy of preoperative evaluation.

【Key words】 Endometrial cancer; Depth of muscular infiltration; Uterine arteries; Hemodynamics; Color doppler ultrasound

收稿日期: 2026-01-23。

作者简介: 李旭阳, 本科, 副主任医师, 研究方向: 子宫内膜癌影像诊断。E-mail: lxy15103865760@163.com。

子宫内膜癌(endometrial cancer, EC)是严重威胁我国女性健康的生殖系统恶性肿瘤。据国家癌症中心最新发布的流调数据,其年龄标化发病率呈持续上升趋势,目前已位居我国女性生殖道恶性肿瘤的首位,构成了显著的疾病负担^[1]。在国际妇产科联盟(International Federation of Gynecology and Obstetrics, FIGO)2023年修订的分期系统中,肌层浸润深度仍是界定I期EC亚型、指导治疗决策及判断预后的核心解剖学依据^[2]。目前,高分辨率盆腔磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是临床评估EC肌层浸润深度的首选影像学方法。近年来,基于MRI的影像组学技术通过高通量提取并分析图像特征,在提升肌层浸润判别准确性方面展现出巨大潜力,已成为该领域研究热点^[3]。然而,影像学检查与术后病理分期之间仍存在不可避免的差异,有研究指出,部分经正电子发射体层摄影(positron emission tomography, PET)/计算机断层扫描(computed tomography, CT)或MRI评估为临床I期的EC,最终手术病理分期可能出现升级^[4]。此外,影像学诊断本身存在固有局限性:对肿瘤微小浸润、合并子宫腺肌症或罕见病理类型的鉴别存在难度,易出现假阴性或假阳性结果^[5]。以上不足提示,临床有必要寻找可与MRI形成功能互补的辅助评估指标。

有研究表明,EC的侵袭性生长与病理性血管生成密切相关,该过程以微血管密度(microvascular density, MVD)异常增高、血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)介导的血管重塑为主要特征,最终导致新生血管结构紊乱、功能异常^[6]。此类血管床病理改变可引起子宫动脉下游阻力改变,并能通过彩色多普勒超声测量的搏动指数(pulsatility index, PI)、阻力指数(resistance index, RI)等血流动力学参数客观反映。国内已有研究证实,多模态超声结合血清标志物对早期EC肌层浸润具有良好的诊断效能^[7]。彩色多普勒超声在评估EC盆腔淋巴结状态等方面也具有应用价值^[8],基于超声影像组学的机器学习模型,更在预测淋巴结转移等深层预后指标上取得了进展^[9]。与此同时,基于MRI表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)图的影像组学模型在肌层浸润深度预测中也表现出优异性能^[10]。各类影像设备与技

术,包括MRI扫描仪在不同妇科肿瘤的鉴别诊断中均已积累了重要经验^[11]。基于此,本研究旨在探讨子宫动脉PI、RI、收缩期峰值流速/舒张期流速比值(ratio of peak systolic/diastolic flow velocity, S/D)与EC肌层浸润深度的定量相关性,并评估各参数对深MI的术前诊断效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性选取2022年12月至2025年12月在确山县人民医院磁共振室行术前盆腔MRI检查并经手术病理确诊为EC的86例患者。年龄35~78岁,平均(56.3±9.2)岁;体重指数(body mass index, BMI)18.5~31.6 kg/m²,平均(24.7±3.5) kg/m²。所有患者均未接受过新辅助化疗、放疗或激素治疗,且无其他盆腔恶性肿瘤病史。纳入标准:①经术后病理确诊为EC;②术前1周内完成盆腔MRI及经阴道彩色多普勒超声检查;③临床及影像学资料完整;④患者签署知情同意书。排除标准:①合并严重心、肝、肾功能不全的患者;②既往有子宫动脉介入治疗史的患者;③图像质量不佳影响测量的患者。

1.2 方法

1.2.1 MRI检查与肌层浸润深度评估 采用3.0 T磁共振扫描仪(Philips Ingenia)进行盆腔多序列扫描。扫描参数:轴位、矢状位T₂加权成像(T₂-weighted imaging, T₂WI),层厚4 mm,间距0.4 mm,矩阵320×224;扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)b值=0, 1 000 s/mm²;动态增强磁共振成像(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI),对比剂采用Gd-DTPA,剂量0.1 mmol/kg,注射流率2.5 ml/s。由2名具有5年以上经验的放射科医师采用双盲法评估肌层浸润深度。判定标准:T₂WI上结合带完整为无浸润;结合带中断但残留肌层厚度≥50%为浅肌层浸润;残留肌层厚度<50%为深肌层浸润^[8-9]。若意见不一致,由第3名高年资医师仲裁确定。

1.2.2 子宫动脉血流动力学参数测量 采用彩色多普勒超声诊断仪(型号:GE Voluson E10)经阴道探查^[10]。患者取膀胱截石位,于宫颈-宫体交界处外侧识别子宫动脉主干,调整取样门宽至2~3 mm,使声束与血管夹角<60°,获取稳定频谱后测量连续3个心动周期的PI、RI、S/D值,取双侧平均值作为最终参数。

1.3 观察指标

(1) 术后病理肌层浸润深度(“金标准”):所有标本均经标防腐和染色处理后由2名经验丰富的专业医师进行独立观察,依据EC分期标准^[2]进行评估,判断肿瘤是否突破基底膜以及浸润深度。

(2) 术前子宫动脉血流动力学参数(PI、RI、S/D):使用彩色多普勒超声诊断仪进行参数测量。

(3) 临床基线资料:收集并记录患者的临床病理特征,包括年龄、BMI、绝经状态、FIGO组织学分级、病理组织学类型及肿瘤最大径。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0软件进行数据处理。计量资料经Shapiro-Wilk检验及方差齐性检验(Levene检验),均符合正态分布且方差齐,以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表

示,多组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用LSD-t检验;计数资料以例(%)表示,比较采用 χ^2 检验。采用Spearman进行参数的相关性分析,绘制受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线评估各参数对深肌层浸润的诊断效能,报告95%置信区间(95% confidence interval, 95%CI)和曲线下面积(area under the curve, AUC)。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基线特征与病理结果

根据术后病理结果将86例患者分为无浸润组(22例)、浅肌层浸润组(38例)和深肌层浸润组(26例)。三组患者年龄、BMI、EC类型等方面比较差异均无统计学意义(均P>0.05),具有可比性(表1)。

表1 三组患者基线特征比较

组别	例数(例)	年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	BMI($\bar{x}\pm s$, kg/m ²)	EC类型	
				子宫内膜样癌[例(%)]	非子宫内膜样癌[例(%)]
无浸润组	22	55.19 $\pm$ 8.68	24.13 $\pm$ 3.22	20(90.91)	2(9.09)
浅肌层浸润组	38	56.78 $\pm$ 9.47	24.93 $\pm$ 3.58	34(89.47)	4(10.53)
深肌层浸润组	26	57.11 $\pm$ 9.76	25.01 $\pm$ 3.82	22(84.62)	4(15.38)
F/ χ^2		0.423	0.587	0.752	0.752
P		0.656	0.558	0.687	0.687

注: BMI: 体重指数; EC: 子宫内膜癌。

2.2 子宫动脉血流动力学参数比较

深肌层浸润组的PI、RI、S/D值均显著高于浅肌层浸润组和无浸润组(均P<0.01),浅肌层浸润组上述指标亦均显著高于无浸润组(均P<0.05)(表2)。

2.3 肌层浸润深度与血流动力学参数的相关性

Spearman相关性分析显示,肌层浸润深度(无浸

润=0,浅肌层浸润=1,深肌层浸润=2)与PI($r=0.712$, $P<0.001$)、RI($r=0.698$, $P<0.001$)、S/D($r=0.654$, $P<0.001$)均呈显著正相关(图1)。

2.4 血流动力学参数对深肌层浸润的诊断效能

ROC曲线显示,PI诊断深肌层浸润的AUC最大(0.891, 95%CI: 0.812~0.947),最佳截断值为2.35时,敏感度为84.6%,特异度为83.3%;RI的AUC为

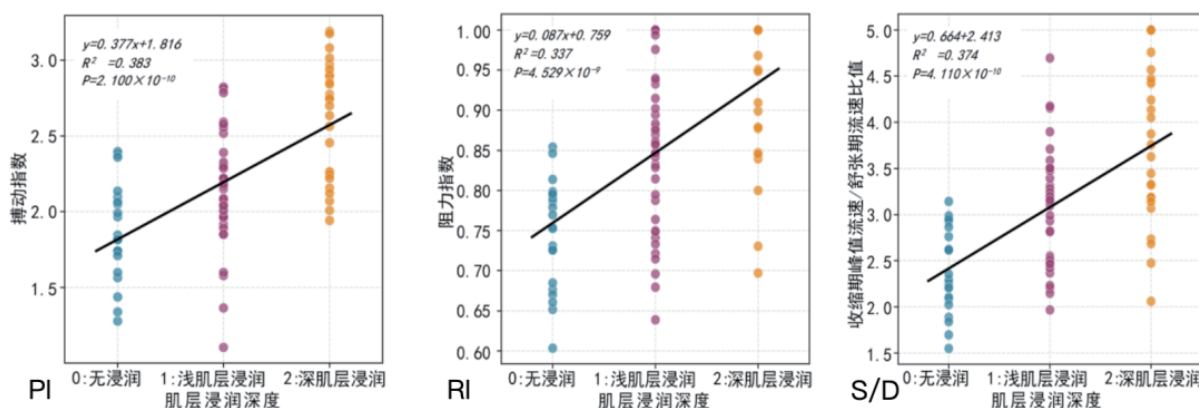


图1 肌层浸润深度与子宫动脉血流动力学参数的相关性散点图

注: PI: 搏动指数; RI: 阻力指数; S/D: 收缩期峰值流速/舒张期流速比值。

表2 三组子宫动脉血流动力学参数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	PI	RI	S/D
无浸润组 (n=22)	1.89±0.32	0.78±0.09	2.45±0.51
浅肌层浸润组 (n=38)	2.18±0.41*	0.85±0.11*	2.98±0.63*
深肌层浸润组 (n=26)	2.67±0.48**	0.94±0.13**	3.72±0.82**
F	25.734	18.926	22.158
P	<0.001	<0.001	<0.001

注: PI: 搏动指数; RI: 阻力指数; S/D: 收缩期峰值流速/舒张期流速比值。与无浸润组比较, * $P<0.05$; 与浅肌层浸润组比较, ** $P<0.05$ 。

0.862 (95%CI: 0.779 ~ 0.925), S/D 的 AUC 为 0.834 (95%CI: 0.747 ~ 0.902)(图2、表3)。

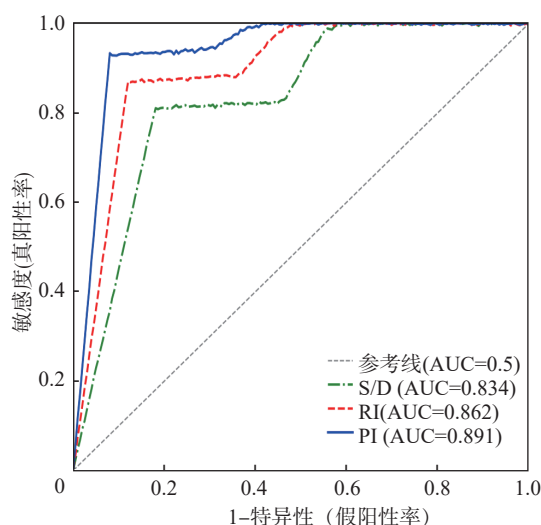


图2 子宫动脉血流动力学参数诊断深肌层浸润的ROC曲线

注: ROC: 受试者操作特征; PI: 搏动指数, RI: 阻力指数; S/D: 收缩期峰值流速/舒张期流速比值; AUC: 曲线下面积。

表3 子宫动脉血流动力学参数诊断深肌层浸润的ROC曲线分析

参数	AUC (95%CI)	最佳截断值	敏感度 (%)	特异度 (%)
PI	0.891 (0.812 ~ 0.947)	2.35	84.6	83.3
RI	0.862 (0.779 ~ 0.925)	0.89	80.8	81.7
S/D	0.834 (0.747 ~ 0.902)	3.25	76.9	78.3

注: ROC: 受试者操作特征; AUC: 曲线下面积; 95%CI: 95%置信区间; PI: 搏动指数, RI: 阻力指数; S/D: 收缩期峰值流速/舒张期流速比值。

3 讨论

本研究旨在探讨子宫内膜癌患者子宫动脉血流动力学参数与术后病理肌层浸润深度的定量关联,并评估各参数对深肌层浸润的术前诊断效能。结果显示,深肌层浸润组PI、RI、S/D值均显著高于浅浸润组及无浸润组,且肌层浸润深度与三参数均呈显著正相关;其中PI诊断深肌层浸润的AUC达0.891,最

佳截断值2.35,敏感度84.6%、特异度83.3%,具备较好的术前判别价值。

从病理生理机制看,EC的肌层浸润过程伴随MVD升高及VEGF等促血管生成因子的过度表达,新生血管结构紊乱、功能异常,进而引起子宫动脉下游阻力改变,这一机制与Laschke等^[6]提出的“病理性血管导致阻力升高”观点一致,也是本研究观察到的“肌层浸润越深,PI、RI、S/D越高”现象的根本原因^[5,7]。

与同类研究相比,当前EC肌层浸润的术前评估多以高分辨率MRI及基于ADC图的影像组学模型为主^[3,10],国内亦有研究探索多模态超声联合血清标志物的诊断策略^[7]。上述方法侧重解剖结构或影像特征的挖掘,而本研究则从功能学角度切入,通过经阴道彩色多普勒超声获取的PI、RI、S/D参数,定量刻画肌层浸润深度与子宫动脉血流阻力的关联,为MRI的结构学评估提供了可互补的功能学证据——尤其对MRI结合带显示不清(如部分绝经后患者)的情形,血流动力学参数或可起到“二次校验”作用。相较于张昌红等^[7]提出的多模态超声联合血清标志物策略,本研究仅依托常规多普勒参数即可获得较好判别效能,操作更为简便,更易于在基层场景中推广。

本研究系统报告了子宫动脉PI、RI、S/D三个常规参数与肌层浸润深度的定量相关系数,并给出了PI诊断深肌层浸润的最佳截断值,为未来构建“影像组学特征+血流动力学参数”融合模型提供了基线数据与比对基准。

本研究亦存在一定局限性。首先,作为单中心回顾性研究,样本量偏小且可能存在选择偏倚;其次,未对患者绝经状态、月经周期时相、病理亚型等进行分层分析,上述因素均可能作为混杂变量影响子宫动脉血流参数;此外,本研究以术前MRI评估的肌层浸润深度为依据分组,而MRI对“结合带”的显示清晰度直接影响判断准确性,绝经后患者结合带常显示不清,可能对分组产生一定干扰。后续研究可在多中心、大样本人群中验证本结论,并结合机器学习^[9-10],将血流动力学参数与MRI影像组学特征融合建模,进一步提升术前无创评估的精度;亦可针对绝经后、合并子宫腺肌症等MRI评估难度较大的亚组开展专项分析,明确血流参数在该类人群中的补

充诊断价值。

综上,EC患者子宫动脉血流动力学参数与肌层浸润深度存在显著定量关联,PI对深肌层浸润具备较好的诊断效能;临床上将血流动力学参数与MRI联合应用,可为EC术前无创评估提供更全面的功能学—结构学双重依据,有助于个性化手术方案的制定。

参考文献

- [1] 郑荣寿, 孙可欣, 张思维, 等. 2016年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2023, 45 (3): 212-220.
- [2] BEREK J S, MATIAS-GUIU X, CREUTZBERG C, *et al.* FIGO staging of endometrial cancer: 2023[J]. J Gynecol Oncol, 2023, 34(5):e85.
- [3] 崔淑丽, 孙美玉. MRI影像组学评估 I 期子宫内膜癌肌层浸润深度研究进展[J]. 中国医学影像学杂志, 2025, 33 (4): 445-448.
- [4] SEON KE, SHIN Y, LEE JY, *et al.* Is presumed clinical stage I endometrial cancer using PET-CT and MRI accurate in predicting surgical staging? [J]. J Gynecol Oncol, 2025, 36(2): e25.
- [5] ANTONOVA I B, AKSENOVA S P, NUDNOV N V, *et al.* Possibilities and limitations of magnetic resonance imaging in the diagnostics of endocervical adenocarcinomas[J]. Digital Diagnostics, 2024, 5(2):149-166.
- [6] LASCHKE M W, MENDER M D. Basic mechanisms of vascularization in endometriosis and their clinical implications[J]. Hum Reprod Update, 2018, 24(2): 207-224.
- [7] 张昌红, 叶玲红, 黄岩花. 多模态超声联合血清标志物对早期子宫内膜样癌肌层浸润深度的诊断效能分析[J]. 浙江医学, 2025, 47 (1): 47-52.
- [8] 赵淑蕊. 彩色多普勒超声用于子宫内膜癌盆腔淋巴结转移诊断效果分析[J]. 中国药业, 2020, 29 (S2): 136-136.
- [9] LIU X, XIAO W, QIAO J, *et al.* Prediction of Lymph Node Metastasis in Endometrial Cancer Based on Color Doppler Ultrasound Radiomics[J]. Acad Radiol, 2024, 31(11): 4499-4508.
- [10] 崔靖, 郭冉, 信瑞强. 基于ADC影像组学的机器学习模型预测子宫内膜癌肌层浸润深度的价值[J]. 磁共振成像, 2025, 16 (3): 77-82.
- [11] 连鹏, 潘静. MRI对卵巢交界性肿瘤和上皮性卵巢癌的鉴别诊断价值[J]. 实用癌症杂志, 2019, 34 (8): 1358-1361.