

• 短篇论著 •

MRI 联合血清 PDK1、PKM2 在子宫内膜癌筛查中的价值

冯 苏¹,张显文¹,艾和平¹,万 兵²,李 会³

1. 宜昌市妇幼保健院放射科,湖北宜昌 443000;2. 宜昌市三峡大学附属仁和医院放射科,湖北宜昌 443000;3. 宜昌市妇幼保健院妇产科,湖北宜昌 443000

摘 要:**目的** 探究 MRI 联合血清丙酮酸脱氢酶激酶 1(PDK1)、丙酮酸激酶 M2 型(PKM2)在子宫内膜癌中的筛查效能。**方法** 选取 2018 年 1 月至 2023 年 12 月于宜昌市妇幼保健院就诊的 100 例子宫内膜癌患者(研究组)与 51 例子宫内膜增生患者(对照组)作为研究对象。采用 Pearson 相关法分析血清 PDK1、PKM2 的相关性,采用 *Kappa* 一致性检验分析 MRI、血清 PDK1、PKM2 与子宫内膜癌病理诊断结果的一致性。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析 MRI、血清 PDK1、PKM2 对子宫内膜癌的筛查效能。**结果** 研究组血清 PDK1、PKM2 水平明显高于对照组($P<0.05$),血清 PDK1 与 PKM2 呈正相关($r=0.402, P<0.001$)。一致性分析结果显示, MRI、血清 PDK1、PKM2 三者联合与子宫内膜癌宫颈病理诊断的一致性($Kappa=0.667, P<0.001$)高于单项指标。ROC 曲线分析结果显示, MRI、血清 PDK1、PKM2 三者联合对子宫内膜癌的筛查效能高于单一检测。**结论** 子宫内膜癌患者血清 PDK1、PKM2 升高, MRI、血清 PDK1、PKM2 三者联合与子宫内膜癌宫颈病理活检结果具有较高一致性且筛查价值较高。

关键词:子宫内膜癌; 磁共振成像; 丙酮酸脱氢酶激酶 1; 丙酮酸激酶 M2 型; 筛查

DOI:10.3969/j.issn.1673-4130.2026.15.022 **中图法分类号:**R737.33

文章编号:1673-4130(2026)15-1912-04 **文献标识码:**A

子宫内膜癌是起源于女性子宫内膜的一组上皮性恶性肿瘤,主要包括黏液性腺癌、子宫内膜样腺癌、子宫浆液性癌、鳞状细胞分化腺癌等多种类型^[1]。近年来,我国子宫内膜癌的发病率持续上升,研究显示其发生与遗传因素、不良饮食及生活方式、内分泌紊乱等多种因素密切相关^[2-3]。手术是子宫内膜癌的主要治疗手段,并可辅以放疗、化疗、靶向治疗或多种方式联合的辅助治疗,实现早期诊断和治疗,对保留患者生育功能及延长生存时间具有重要意义^[4-5]。目前组织病理学检查仍是子宫内膜癌诊断的金标准,但其存在样本获取有创、操作复杂、费用较高,以及可能引发感染或出血等风险的问题^[6]。因此,探索无创、简便的新型诊断方法具有重要意义。

磁共振成像(MRI)对子宫内膜癌具有较高的诊断敏感性,其图像受外界干扰小,能够清晰显示肿瘤范围及病灶分布,可为临床制订治疗方案提供有效参考^[7]。丙酮酸脱氢酶激酶 1(PDK1)是可溶性球形激酶,通过多种信号通路调节癌细胞的生长、转移、侵袭与凋亡。有研究发现,子宫内膜癌患者血清 PDK1 水平升高,与临床病理特征密切相关^[8-9]。丙酮酸激酶 M2 型(PKM2)作为关键代谢酶,参与肿瘤细胞的代谢重编程,在多种恶性肿瘤中过表达^[10]。有研究发现,血清 PKM2 水平升高是子宫内膜癌患者不良预后的危险因素,具有一定的预后预测价值^[11]。但 MRI、血清 PDK1、PKM2 水平单独应用时均存在一定局限性,将影像学与血清标志物相结合,有望弥补单一检测的不足,为子宫内膜癌的早期筛查与诊断提供更全

面、可靠的无创评估手段。因此,本研究将 MRI 与血清 PDK1、PKM2 相结合,分析其对子宫内膜癌的筛查效能,以期临床提供更高效、无创的辅助诊断策略。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2018 年 1 月至 2023 年 12 月于宜昌市妇幼保健院就诊的 100 例子宫内膜癌患者作为研究组。纳入标准:(1)符合子宫内膜癌相关诊断标准^[12],并经病理检查结果确诊;(2)术前未进行相关治疗;(3)相关临床资料完整;(4)首次确诊。排除标准:(1)合并其他肿瘤;(2)既往有子宫手术史;(3)合并精神疾病;(4)合并严重代谢紊乱;(5)合并感染。另选择同期本院收治的 51 例子宫内膜增生患者作为对照组。研究组与对照组年龄、体重指数(BMI)、绝经情况等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表 1。本研究经宜昌市妇幼保健院伦理委员会批准(批号:201712221),所有参与者均知情同意。

表 1 两组一般资料比较[$\bar{x}\pm s$ 或 $n(\%)$]				
组别	<i>n</i>	年龄(岁)	BMI(kg/m ²)	绝经
研究组	100	51.47±7.05	23.44±1.85	44(44.00)
对照组	51	51.18±7.94	23.17±1.77	23(45.10)
<i>t/χ²</i>		0.229	0.860	0.016
<i>P</i>		0.819	0.391	0.898

1.2 MRI 检查及血清 PDK1、PKM2 水平检测
MRI 检查:采用德国 Siemens Healthineers 生产的 MAGNETOM Skyra 3.0T 超导型 MRI 扫描仪及配

套体部相控阵线圈进行检查。扫描方案包括:(1)平扫。轴位 T1 加权成像(T1WI)、T2 加权成像(T2WI)及高分辨率矢状位 T2WI;(2)扩散加权成像(DWI)。采用单次激发平面回波成像序列,b 值分别设置为 0、800 s/mm²,并基于此自动生成表观扩散系数图;(3)动态对比增强磁共振成像。经肘静脉以流率 2.5 mL/s 团注钆对比剂(Gd-DTPA,剂量 0.1 mmol/kg)后,采用三维容积内插快速扰相梯度回波序列进行多期相增强扫描。由 2 名不知晓临床及病理结果(设盲)的副主任医师及以上职称的影像科医师,独立分析所有图像并判读结果,意见分歧时经协商达成一致。血清 PDK1、PKM2 水平检测:患者入院后采集空腹静脉血 5 mL,离心后低温保存,采用酶联免疫吸附试验检测血清 PDK1、PKM2 水平,严格按照试剂盒(纽莱生物科技,货号:NLH4252、NLH4244)要求进行操作。

1.3 统计学处理 采用 SPSS25.0 软件分析数据。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较行 *t* 检验;计数资料以例数或百分率表示,组间比较行 χ^2 检验;采用 Pearson 相关法分析血清 PDK1、PKM2 的相关性,采用 *Kappa* 一致性检验分析 MRI 和血清 PDK1、PKM2 与子宫内膜癌病理诊断结果的一致性,绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析 MRI、血清 PDK1、PKM2 对子宫内膜癌的筛查效能。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 研究组与对照组血清 PDK1、PKM2 水平比较 研究组血清 PDK1、PKM2 水平明显高于对照组,差异有统计学意义(*P* < 0.05)。见表 2。

2.2 血清 PDK1、PKM2 相关性分析 相关性分析结果显示,研究组血清 PDK1、PKM2 呈正相关(*r* = 0.402, *P* < 0.001)。

2.3 MRI、血清 PDK1、PKM2 与子宫内膜癌病理诊断的一致性分析 一致性分析结果显示, MRI、血清

PDK1、PKM2 水平联合检测与子宫内膜癌病理诊断的一致性高于单一检测(*Kappa* = 0.667, *P* < 0.001)。见表 3。

表 2 两组血清 PDK1、PKM2 水平比较($\bar{x} \pm s$)

组别	<i>n</i>	PDK1(U/mL)	PKM2(pg/mL)
研究组	100	36.14±7.41	104.74±19.52
对照组	51	28.09±5.27	83.26±14.65
<i>t</i>		6.913	6.923
<i>P</i>		<0.001	<0.001

2.4 MRI、血清 PDK1、PKM2 对子宫内膜癌的筛查效能 ROC 曲线分析结果显示, MRI、PDK1、PKM2 单独及三者联合筛查子宫内膜癌的曲线下面积(AUC)分别为 0.806、0.824、0.818、0.925,三者联合对子宫内膜癌的筛查效能高于单一检测(*Z*_{三者联合-MRI} = 2.867、*P* = 0.004, *Z*_{三者联合-PDK1} = 3.026、*P* = 0.003, *Z*_{三者联合-PKM2} = 3.747、*P* < 0.001)。见表 4。

表 3 MRI、血清 PDK1、PKM2 与子宫内膜癌病理诊断的一致性分析[*n*(%)]

项目	检查结果 (<i>n</i> = 151)	病理诊断		<i>Kappa</i>	<i>P</i>
		恶性(<i>n</i> = 100)	良性(<i>n</i> = 51)		
MRI 检查				0.564	<0.001
恶性	82(54.3)	75(75.00)	7(13.73)		
良性	69(45.7)	25(25.00)	44(86.27)		
PDK1				0.457	<0.001
恶性	70(46.4)	64(64.00)	6(11.76)		
良性	81(53.6)	36(36.00)	45(88.24)		
PKM2				0.509	<0.001
恶性	82(54.3)	73(73.00)	9(17.65)		
良性	69(45.7)	27(27.00)	42(82.35)		
三者联合				0.667	<0.001
恶性	86(57.0)	81(81.00)	5(9.80)		
良性	65(43.0)	19(19.00)	46(90.20)		

表 4 MRI、血清 PDK1、PKM2 对子宫内膜癌的筛查效能

项目	AUC	截断值	95%CI	灵敏度(%)	特异度(%)	约登指数	准确度(%)	误诊率(%)	漏诊率(%)
MRI	0.806	—	0.732~0.881	75.00	86.27	0.613	78.81	13.73	25.00
PDK1	0.824	33.95 U/mL	0.757~0.890	64.00	88.24	0.522	72.19	11.76	36.00
PKM2	0.818	88.66 pg/mL	0.750~0.886	73.00	82.35	0.554	76.16	17.65	27.00
三者联合	0.925	—	0.884~0.966	81.00	90.20	0.712	84.11	9.80	19.00

注:—表示无数据。

3 讨 论

子宫内膜癌是目前发病率升高幅度最大的恶性肿瘤之一,早期诊治对降低复发风险、提高患者生存率具有重要意义。多数子宫内膜癌患者预后良好,尤其是早期发现并接受治疗者生存率较高,然而一旦病情进展至晚期,预后较差,易发生转移,严重威胁患者

生命^[13]。MRI 已广泛应用于多种肿瘤诊断,能够多方位观察病灶形态,并提供关于肿瘤大小、浸润深度、肌层和宫颈受累情况、淋巴结状态等多维度信息,可有效辅助临床决策^[14-15]。然而,仅凭 MRI 影像学特征有时难以实现疾病的早期鉴别与精准风险评估。因此,本研究旨在将 MRI 的形态学评估优势,与血清

PDK1、PKM2 在反映肿瘤代谢及恶性生物学行为方面的特异性相结合,探索一种无创、高效的联合筛查模式,以弥补单一手段的局限性,为子宫内膜癌的早期发现与风险分层提供更为全面的解决方案。

本研究中, MRI 筛查子宫内膜癌的准确度为 78.81%, AUC 为 0.806, 漏诊率为 25.00%, 与宫颈活检病理结果中度一致, 表明其具有一定的筛查能力, 但其准确度有限。为进一步提高筛查效能, 本研究引入血清标志物 PDK1 和 PKM2, 探讨三者联合在子宫内膜癌筛查中的应用价值。

有研究发现, PDK1 在肿瘤发生发展中扮演重要角色。使用 PDK1 抑制剂可显著抑制糖尿病子宫内
膜癌模型小鼠的肿瘤生长^[16]。在本研究中, 子宫内膜癌患者血清 PDK1 表达水平升高, 提示其可能参与疾病进程。PDK1 可能通过激活 PI3K/Akt 信号通路促进癌细胞增殖和转移, 并增强缺氧诱导因子 1 α (HIF-1 α)的稳定性 and 转录活性, 促进癌症进展^[17-19]。此外, 其促癌作用还可通过上调双糖链蛋白多糖(BGN)表达并激活核因子- κ B(NF- κ B)通路实现^[20]。敲低 PDK1 可能抑制 EGF 诱导的癌细胞黏附与肌动蛋白聚合, 从而抑制肿瘤细胞迁移^[21]。本研究中, 血清 PDK1 筛查子宫内膜癌的 AUC 为 0.824, 准确度为 72.19%, 表明其具有一定的筛查价值。临床检测时, 当血清 PDK1 水平大于 33.953 U/mL, 表明个体患子宫内膜癌的风险显著增加, 建议接受进一步的妇科检查。

本研究中, 子宫内膜癌患者血清 PKM2 表达水平升高。有研究显示, PKM2 水平升高与患者生存率降低相关, 抑制 PKM2 可减弱癌细胞恶性生物学行为^[22]。PKM2 高表达可通过激活 Wnt/ β -catenin 信号通路诱导上皮间质转化, 促进癌细胞增殖和侵袭^[23]。此外, PKM2 还可作为蛋白激酶增强癌细胞的迁移和黏附, 促进癌症的发展^[24]。Zhang 等^[25]研究表明, 抑制 PKM2/PI3K/AKT 信号通路可显著抑制子宫内膜癌细胞的增殖、迁移和侵袭, 从而抑制子宫内膜癌的发展。本研究中, 血清 PKM2 筛查子宫内膜癌的 AUC 为 0.818, 准确度为 76.16%, 说明其对子宫内膜癌筛查具有一定参考意义。临床检测中若血清 PKM2 水平大于 88.663 pg/mL, 提示发生子宫内膜癌的风险增加, 需视为高危信号, 并进行后续确诊检查。

本研究 ROC 曲线分析结果发现, MRI、血清 PDK1、PKM2 三者联合对子宫内膜癌的筛查效能高于单一检测, 与传统血清肿瘤标志物(如 CA125)、单独影像学(如单独 MRI 或超声)及液体活检循环肿瘤 DNA(ctDNA)相比, 其血清水平与肿瘤的代谢活性直接相关, 具有较高的生物学特异性和早期预警价值, 可弥补影像学在定性诊断上的不足, 提高了早期诊断效能; 血清 PDK1、PKM2 检测技术更成熟、成本更低、易于在基层实验室推广, 更适用于大规模人群的初步

筛查和高危人群的定期监测。

综上所述, MRI 联合血清 PDK1、PKM2 检测与子宫内膜癌宫颈活检结果具有较高一致性, 且联合筛查的 AUC 和准确度显著升高, 误诊率和漏诊率降低, 显示出良好的临床应用潜力。然而, 本研究样本量有限, 可能影响对国际妇产科联盟(FIGO)分期、病理分级等亚组的统计效力, 并增加了模型过拟合的风险。此外, 本研究对照组仅纳入子宫内膜增生患者, 虽有利于恶性与癌前病变的鉴别, 但限制了本研究结果在更广泛良性病变或健康人群中的泛化性。未来研究将通过更大规模、多中心的前瞻性队列进一步验证本结果, 并扩大对照范围, 以全面评估联合指标在临床实践中的筛查与鉴别诊断效能, 为推进子宫内膜癌的精准治疗提供依据。

参考文献

[1] Buchynska L G, Borykun T V, Iurchenko N P, et al. Expression of microRNA in tumor cells of endometrioid carcinoma of endometrium[J]. Exp Oncol, 2020, 42(4): 289-294.

[2] 赵湘铃, 段朝晖, 张敏, 等. 中国子宫内膜癌疾病负担状况及流行趋势预测[J]. 中国慢性病预防与控制, 2023, 31(8): 568-573.

[3] Wang X, Glubb D M, O' Mara T A. Dietary factors and endometrial cancer risk: a Mendelian randomization study [J]. Nutrients, 2023, 15(3): 603.

[4] 陈晓军, 张剑峰, 陆雯, 等. 子宫内膜癌手术治疗质量控制与评价标准中国专家共识(2024 年版)[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2024, 40(6): 626-637.

[5] van den Heerik A S V M, Horeweg N, de Boer S M, et al. Adjuvant therapy for endometrial cancer in the era of molecular classification: radiotherapy, chemoradiation and novel targets for therapy[J]. Int J Gynecol Cancer, 2021, 31(4): 594-604.

[6] Shen Y, Yang W, Liu J, et al. Minimally invasive approaches for the early detection of endometrial cancer[J]. Mol Cancer, 2023, 22(1): 53.

[7] Kitajima K, Kihara T, Kawanaka Y, et al. Characteristics of MR imaging for staging and survival analysis of neuroendocrine carcinoma of the endometrium: a multicenter study in Japan[J]. Magn Reson Med Sci, 2021, 20(3): 236-244.

[8] Zheng N, Wei J, Wu D, et al. Master kinase PDK1 in tumorigenesis[J]. Biochim Biophys Acta Rev Cancer, 2023, 1878(6): 188971.

[9] 何建清, 杨立芬, 陈莹, 等. 子宫内膜癌血清 PDK1、Lin28B、HMGA2 变化及意义[J]. 山东医药, 2024, 64(4): 73-76.

[10] Zhu S, Guo Y, Zhang X, et al. Pyruvate kinase M2 (PKM2) in cancer and cancer therapeutics[J]. Cancer Lett, 2021, 503: 240-248.

[11] 汪佳玲, 张静娟, 陈舒月, 等. 血清睾酮、PON-1、PKM2 与

- 子宫内膜癌患者临床病理特征和预后的关系[J]. 现代生物医学进展, 2024, 24(22): 4308-4310.
- [12] 子宫内膜癌筛查专家委员会. 子宫内膜癌筛查和早期诊断专家共识(草案)[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2017, 33(10): 1050-1052.
- [13] Paleari L. New strategies for endometrial cancer detection and management[J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(7): 6462.
- [14] Maheshwari E, Nougaret S, Stein E B, et al. Update on MRI in evaluation and treatment of endometrial cancer[J]. RadioGraphics, 2022, 42(7): 2112-2130.
- [15] 周玉, 郑轶, 王才智, 等. 术前 MRI 放射组学特征联合血清 CA125、CA153、CEA 对非雌激素依赖型子宫内膜癌的预测价值[J]. 中国妇产科临床杂志, 2024, 25(5): 408-411.
- [16] Yang X, Cheng Y, Zhou J, et al. Targeting cancer metabolism plasticity with JX06 nanoparticles via inhibiting PDK1 combined with metformin for endometrial cancer patients with diabetes[J]. Adv Sci (Weinh), 2022, 9(8): e2104472.
- [17] Glaviano A, Foo A S C, Lam H Y, et al. PI3K/AKT/mTOR signaling transduction pathway and targeted therapies in cancer[J]. Mol Cancer, 2023, 22(1): 138.
- [18] Ding L, Ren C, Yang L, et al. OSU-03012 disrupts AKT signaling and prevents endometrial carcinoma progression in vitro and in vivo[J]. Drug Des Devel Ther, 2021, 15: 1797-1810.
- [19] Wei Y, Zhang D, Shi H, et al. PDK1 promotes breast cancer progression by enhancing the stability and transcriptional activity of HIF-1 α [J]. Genes Dis, 2024, 11(4): 101041.
- [20] Zhang L, Yan L, Fu X, et al. PDK1 promotes epithelial ovarian cancer progression by upregulating BGN[J]. Acta Biochim Biophys Sin, 2024, 57(5): 712-726.
- [21] Wang N, Fu J, Li Z, et al. The landscape of PDK1 in breast cancer[J]. Cancers, 2022, 14(3): 811.
- [22] Shi Y, Min X, Li Y, et al. Yinjia pills inhibits the malignant biological behavior of HeLa cells through PKM2-mediated inhibition of JAK/STAT3 pathway[J]. Cytotechnology, 2024, 77(1): 5.
- [23] 周闯, 陆旭, 宋盛平, 等. PKM2 对肝内胆管癌细胞增殖及上皮间质化的影响[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2021, 42(1): 25-29.
- [24] Wang J Z, Zhu W, Han J, et al. The role of the HIF-1 α /ALYREF/PKM2 axis in glycolysis and tumorigenesis of bladder cancer[J]. Cancer Commun (Lond), 2021, 41(7): 560-575.
- [25] Zhang Q, Zhang J, Yao A, et al. OTUB2 promotes the progression of endometrial cancer by regulating the PKM2-mediated PI3K/AKT signaling pathway[J]. Cell Biol Int, 2023, 47(2): 428-438.

(收稿日期: 2025-10-16 修回日期: 2026-03-01)

• 短篇论著 •

基于宏基因组二代测序的肾移植术后长期患者并发耶氏肺孢子菌肺炎的临床特征分析^{*}

吴欣媛¹, 杨卫华¹, 李上根¹, 闵 敏², 周运恒^{1△}

上海市静安区闸北中心医院: 1. 检验科; 2. 肾移植康复科, 上海 200070

摘要:目的 探讨宏基因组二代测序(mNGS)对肾移植术后长期患者并发耶氏肺孢子菌肺炎(PJP)的诊断价值, 并分析 mNGS 确诊的 PJP 患者与非 PJP 患者的临床特征差异。方法 选取 2022 年 10 月 1 日至 2025 年 6 月 30 日在该院确诊的 32 例肾移植术后长期并发 PJP 的患者作为 PJP 组, 29 例肾移植术后长期未发生 PJP 的患者作为非 PJP 组。对两组样本均进行微生物学常规培养, 采用 mNGS 技术检测两组患者的外周血及痰液样本。收集两组患者肾功能、炎症相关指标等常规实验室检测指标。结果 PJP 组血尿素氮(BUN)、肌酐(Cr)、胱抑素 C(Cys-C)和尿微量白蛋白(U-mALB)水平高于非 PJP 组($P < 0.05$)。PJP 组肾小球滤过率(EGFR)低于非 PJP 组($P < 0.05$)。PJP 组患者中, 混合感染多种病毒的占比较高。结论 mNGS 可为肾移植术后长期患者并发 PJP 的诊断及抗感染治疗提供有价值的信息。肾功能指标可为临床筛查 PJP 高危人群、制订个性化监测策略提供参考。

关键词: 耶氏肺孢子菌肺炎; 肾移植; 宏基因组二代测序; 肾功能

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4130.2026.15.023

中图法分类号: R446.5; R699.2

文章编号: 1673-4130(2026)15-1915-06

文献标识码: A

肾移植受者(KTRs)长期使用免疫抑制剂, 会削弱体液免疫和细胞免疫功能, 因此感染是其常见的并

* 基金项目: 上海市静安区科技委员会/卫生健康委员会面上项目(2025MS08)。

△ 通信作者, E-mail: Hongniwan@aliyun.com。