

MRI新技术在子宫内膜癌诊疗中的应用新进展

吴彦霓, 孟 姮*

北华大学附属医院(三甲)急诊一楼CT科, 吉林 吉林

收稿日期: 2025年7月22日; 录用日期: 2025年8月16日; 发布日期: 2025年8月26日

摘 要

子宫内膜癌(EC)是一种最常见的妇科肿瘤, 其发生率逐年升高, 对妇女的身体和生命品质造成了极大的危害。肿瘤的精确性与分期, 并对其相关的病理风险因子与分型进行评估, 对于指导临床诊疗, 提高患者的预后具有重要意义。磁共振成像(MRI)因其具有多角度成像和高软组织分辨率等优点, 已经成为癌症诊断的一种主要手段。传统磁共振影像学诊断精度不高, 不能适应不断精确诊断和治疗要求。最近几年, 磁共振成像有了长足的发展, 出现了许多新的影像技术, 如功能性影像和定量影像。随着人工智能的快速发展, 磁共振图像数据的深度分析成为可能, 这将极大地促进磁共振成像新技术的推广。文章主要介绍MRI新技术及其在子宫内膜癌诊疗中的应用新进展, 希望为临床提供参考。

关键词

MRI新技术, 子宫内膜癌, 诊疗, 应用进展

New Progress in the Application of MRI New Technology in the Diagnosis and Treatment of Endometrial Cancer

Yanni Wu, Heng Meng*

Department of CT, First Floor Emergency Department, Beihua University Affiliated Hospital (Grade III), Jilin Jilin

Received: Jul. 22nd, 2025; accepted: Aug. 16th, 2025; published: Aug. 26th, 2025

Abstract

Endometrial cancer (EC) is the most common gynecological tumor, and its incidence is increasing

*通讯作者。

文章引用: 吴彦霓, 孟姮. MRI 新技术在子宫内膜癌诊疗中的应用新进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(8): 1718-1722.
DOI: 10.12677/acm.2025.1582418

year by year, causing great harm to women's bodies and quality of life. The accurate characterization and staging of tumors, as well as the evaluation of their related pathological risk factors and subtypes, are of great significance for guiding clinical diagnosis and improving patient prognosis. Magnetic resonance imaging (MRI) has become a major tool for cancer diagnosis due to its advantages of multi angle imaging and high soft tissue resolution. Traditional magnetic resonance imaging has low diagnostic accuracy and cannot meet the constantly improving requirements for precise diagnosis and treatment. In recent years, magnetic resonance imaging has made significant progress and many new imaging techniques have emerged, such as functional imaging and quantitative imaging. With the rapid development of artificial intelligence, deep analysis of magnetic resonance imaging data has become possible, which will greatly promote the promotion of new magnetic resonance imaging technologies. The article mainly introduces the new technology of MRI and its application in the diagnosis and treatment of endometrial cancer, hoping to provide reference for clinical practice.

Keywords

MRI New Technology, Endometrial Cancer, Diagnosis and Treatment, Application Progress

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近几年, 由于社会对生殖健康的要求越来越高, 以肿瘤为靶点的新型疗法的普及, 对于子宫内膜癌患者早期诊断的准确性也越来越高。目前, 由于子宫内膜癌患者对生育能力保持的日益迫切和新型药物的广泛应用, 使得子宫内膜癌早期诊断的准确性受到了极大的挑战[1]。近几年, 磁共振成像取得了重大突破, 磁共振弥散加权成像可以从血流灌注、细胞密度和代谢等多个层次上反映出肿瘤的生物特性, 从而达到从形态学到功能性定量的飞跃。同时, 将人工智能和图像组学相结合, 实现对大量图像信息的智能化处理, 为临床疗效评价和预后判断提供新的思路和方法。

2. MRI 新技术出现的意义

在影像学方面, 利用动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI)、弥散加权成像(DWI)和磁敏感加权成像(SWI)等新型磁共振成像方法, 可从血流动力学、水分子扩散运动、组织磁敏感特征等方面获得更多的信息[2]。DCE-MRI 是一种能实时检测造影剂在体内的血流动力学特性, 能较好地反映肿瘤新生血管的形成, 从而帮助判断病变的性质和程度; DWI 及其衍生的系列成像技术可以灵敏地探测到组织内部的水分弥散限值, 从而反映了肿瘤的密度和周围微环境的改变, 对于早期微小病变的发现和癌症的定性诊断有着非常大的意义。而 SWI 检查能观察到微出血和铁沉积, 有助于对病变的分型和分期作出诊断, 极大地提升内膜癌的诊断精度和特异度, 为临床上早期诊断和早期干预提供重要支撑[3]。

3. MRI 新技术在子宫内膜癌诊疗中的应用进展

(一) MRI 功能成像技术在子宫内膜癌诊疗中的应用

传统的磁共振成像技术对子宫内膜癌的诊断和治疗有一定的局限性, 很难达到精确评价的要求。然而, MRI 新技术对血液流动和代谢等微观特性的捕获, 使得子宫内膜癌影像学诊断更为精准。

1. 动态对比增强 MRI (DE-ICER)技术的应用

DE-ICER 通过人体静脉注射顺磁造影剂, 实时监测肿瘤组织不同部位的信号变化, 并结合药物代谢动力学建模, 计算出能够反映肿瘤血管渗透性和血流灌注特性的量化指标。关键是捕获造影剂的“首过”效应到“稳态”分配的整个过程, 从而达到从“宏观形貌”到微观血流动力学的转变[4]。DE-ICER 通过对药代动力学模型生成容积转运常数的不同检测, 可以准确区分不同类型的内膜癌和正常的内膜组织, 容积转运常数增高表明肿瘤组织有丰富的血管生成和侵袭能力[5]。在肌层侵犯评价方面, DE-ICER 可以清楚地反映肿瘤与肌层之间的增强差异, 如果增强比肌层更早, 则速率常数明显增高, 可以使子宫肌瘤 I、II 期区分的准确性提升 15%~20%。在评价新生血管和预后时, 高 K trans 与微血管密度(MVD)密切相关, 可以作为血管内皮生长因子的成像标记。研究发现, K trans > 0.8 min⁻¹ (K trans)的患者比低 K trans 的患者更易发生复发, 这将为临床上针对肿瘤的靶向药物的临床应用提供定量的证据。

DE-ICER 方法有其自身的局限。对仪器和手术的要求较高, 在初级医疗机构中很难推广应用。对比剂存在一定的毒副作用, 如对比剂的敏感性, 在肾脏损害病人中的应用受到限制。在成像过程中, 由于人体的呼吸和心跳等生理因素的作用, 容易形成伪像, 从而对影像的解读造成一定的影响。由于每个人的血液动力学都有一定的差别, 所以对一些比较复杂的病人, TIC 的诊断很容易出现误诊和漏诊, 需要与其它磁共振成像技术相结合, 并与患者的实际情况进行比较。

2. 弥散加权成像(DWI)与其派生的系列

DWI 利用水分子布朗移动的基本规律, 利用弥散灵敏度的梯度电场, 在稠密的肿瘤组织中形成高信号。临床上, 正常子宫内膜的 ADC 一般大于 $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, 而肿瘤的 ADC 通常小于 $1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。弥散张量影像(DTI)能以各向异性评分(FA)反映肿瘤的方向, 为评估肌肉侵犯程度提供了新的思路。在发现肿瘤时, 对小侵犯灶的灵敏度明显高于 T2WI, 对于 5 mm 以下肿瘤的检出率高达 92%, 能有效地防止早期肿瘤的遗漏。在评估恶性程度时, ADC ($< 0.9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)是高度恶性的标志, 且其 Ki-67 水平明显增高[6]。在临床上, ADC 的联合检测可以准确地鉴别出有子宫内浸润(II 期)和子宫旁浸润(III), 且宫颈间质 ADC 低于肌层(30%)为子宫内膜病变, 其确诊准确率为 89%。

尽管 DWI 具有明显的优点, 但仍然存在很多问题。它容易受到磁场的影响, 特别是在大气-生物交界面上, 对成像的质量和解释产生很大的影响。DWI 的特异性较差, 在良、恶性病灶中, 弥散受到限制, 难以区分。病人在检测过程中, 由于病人自身的活动而导致的伪像, 需要对影像参数进行精确的调整, 从而加大了手术的难度。

3. 磁敏感加权磁共振(SWI)

SWI 通过对含铁血黄素等顺磁材料(含铁蛋白、钙盐等)的高灵敏检测, 通过对不同部位的磁共振图像进行相位和幅度的提取, 能够突出病灶内细小出血和钙化病灶的弱信号特点[7]。该方法的优点是能够在不使用对比剂的情况下, 实现对磁性材料的高灵敏检测。在诊断和治疗中, 可发现传统方法无法鉴别的微小出血灶, 呈斑点状或斑片状, 与病变级别和病理等级成正比。对于浆液性肿瘤, 可发现 50~200 μm 的特征性微小钙化, 且与 p53 基因的突变密切相关。

目前, SWI 诊断和治疗子宫内膜癌的方法仍有局限性。它容易受到植入物和病人的移动等因素的干扰而出现伪像, 从而降低了影像的解读精度。造影耗时较长, 病人对影像有较高的耐受性。另外, 由于存在着较弱的软组织细节, 以及由于每个人的磁场灵敏度存在着一定的差别, 使得影像的解析变得更加复杂, 有些情况下很难得到精确的评价, 需要和其它的磁共振成像技术相结合。

(二) MRI 定量成像技术在子宫内膜癌诊疗中的应用

与注重血流动力学和组织微结构特征的功能性影像相比, 定量影像可以对组织代谢、松弛特性、弹性模量等进行定量分析, 从而为临床诊断和治疗子宫内膜癌提供更加准确的量化证据。此类方法可以打

破传统方法中的主观解读限制,精确捕获微小的肿瘤生物特性,是进一步提高病灶评价水平的重要方法。

1. 磁共振光谱

磁共振波谱(MRS)是一种非侵入式的成像方法,其主要依据是:在生物体内,由于外界的磁场,导致的共振频率发生了变化,这种变化被称为“化学移位”。在此基础上,通过对光谱数据的分析与处理,得到能够表征特定代谢产物浓度的光谱曲线,进而达到对癌症中代谢产物进行定量分析的目的[8]。MRS测定的指标有:胆碱酯酶(Cho)、肌酸(Cr)、脂质(Lip)、乳酸(Lac)等。磁共振波谱技术在诊断子宫内膜癌分型中具有特殊的应用价值。已有研究显示,在不同的病变类型中,其代谢物的表达水平有明显的差别。如:内膜样腺癌常呈高 Cho/Cr 比例(>1.5),提示其增殖活跃,细胞膜自我更新能力强;然而,浆细胞癌因其脂质代谢紊乱,其光谱具有显著的脂质峰(1.3 ppm),能较好地两者区别开来,其识别率约 86%。

然而,虽然核磁共振波谱能够为机体的重要代谢过程提供重要的信息,但仍存在诸多问题。由于医疗器械费用高、维修费用高,在初级医疗机构中推广受到很大的制约。其对磁场分布的均匀度有严格的需求,且容易受到植入材料、骨组织等的影响,导致光谱品质下降。由于其空间分辨率不高,很难对微小病灶进行精确的定位,并且对微量代谢产物的探测能力也受到限制,从而降低了对疾病的诊断精度。

2. 酰胺质子传递权重成像(APTWI)

酰胺质子传递成像是基于蛋白质或多肽中酰胺质子与自由水质子发生化学反应而实现的一种新的检测方法。利用氨基酸质子饱和特性,对水体中游离水分子进行选择性地饱和,从而实现游离水分子的检测[9]。通过调节细胞表面的 pH,实现对细胞和动物模型的检测。APTWI 在子宫内膜癌的临床诊断和分类方面已有较大发展。APTWI 对 I 期内膜癌的诊断敏感性可达到 91%,优于传统 MRI,其优势在于可以灵敏地探测到不同部位的蛋白含量。在分期上, G3 等级的内膜癌 APT (4.2% ± 0.5%)明显高于等级 G1 (2.1% ± 0.3%),若将 APT > 3.0%确定为恶性程度的标准,则其特异度达到 89%,可以为内膜癌的手术前无创评价奠定基础。

APTWI 的局限性很大。它容易受到非均匀的磁场和运动伪迹的干扰,从而使影像的信噪比下降。但由于其持续的扫描过程(一般超过 10 余分钟),使病人感到不舒服,同时也容易降低手术效果。目前针对酰胺-质子特异性的分子识别方法容易受到其它质子体的影响,且在某些情况下会出现与正常组织相叠加的现象,导致检测效果不佳,需要联合多个基因进行验证。

(三) 人工智能结合 MRI 新技术在子宫内膜癌诊疗中的应用

采用人工智能和磁共振成像等新技术相结合的方法,实现对子宫内膜癌的诊断和治疗的智能化。成像组学技术能够从磁共振成像中高效地抽取海量的量化特征,并将其转换成能够被发掘的特征空间,从而帮助临床诊断和治疗[10]。该方法的主要步骤为:第一步,进行影像的获取和重构,以保证影像的高品质,并降低伪迹的影响。然后对感兴趣区(ROI)进行人工、半自动或全自动的分割,其精确程度直接关系到随后的特征抽取。通过提取肿瘤大小、形状、直方图均值、熵、灰度共生矩阵对比度、相关性等多种参数,综合体现肿瘤的异质性。通过特征约简及过滤,剔除冗余或无关的特征,利用主成分分析、最小绝对缩减及选取算子等手段,提升算法的计算效率及稳定性。在此基础上,利用 logistic 回归和随机森林等方法,对模型进行融合和验证,并通过交叉验证和独立数据集对模型进行验证。应用成像技术可以帮助对子宫内膜癌进行鉴别和鉴别;对肿瘤的病理分级及分期进行预测,包括对肌层浸润深度和淋巴结转移的判定;对患者的预后及术后复发的危险进行评价。

同时,基于深度学习的方法也被用于对子宫内膜癌的磁共振图像进行分析。在影像分类方面,利用卷积神经网络(CNN)可以从普通和恶性的子宫内膜组织中提取出影像的特点,精确鉴别病灶,帮助疾病的早期筛选。在靶点探测上,可以精确地对病灶进行精确的定位和边缘识别,从而指导外科治疗方案的制定。在图像的分割方面,基于 U-Net 等多种算法可以实现对病灶的精确划分、大小的度量以及疾病状态

的定量描述。同时, 利用深度学习技术进行癌症的分子分型研究, 为癌症的精确诊疗奠定基础。

然而, 人工智能与磁共振成像新方法在诊断和治疗上却遇到了普遍适用的问题。由于各医院的磁共振设备型号、扫描参数和成像协议等各方面的差别, 造成影像特征的空间分布不均, 从而影响了新的影像学建模能力。另外, 由于疾病类型繁多, 很难涵盖罕见的亚型和特殊病例, 且现有的模型无法有效地对罕见病例进行预测。另外, 由于数据的标记具有很强的主观性, 使得不同的标签使用者对肿瘤的边界和特征的判断也会产生差异, 从而降低了模型的精度和稳定性。针对上述问题, 需要进行多中心的研究, 采集不同类型的样本进行建模。通过对数据的加强, 增加了数据库的容量; 通过本项目的研究, 进一步完善图像标记过程, 增强图像标记的一致性, 增强人工智能算法对内膜癌磁共振图像的推广和应用。

4. 结束语

磁共振成像新技术的不断革新和运用, 为子宫内膜癌的诊断和治疗提供了强有力的动力, 促进子宫内膜癌从形态观测到功能代谢评价, 从定性到定量, 从经验判断到智能化。通过整合多种分子影像手段, 建立涵盖肿瘤新生血管生成、细胞增殖、代谢特性和组织刚度等多维度评价网络, 实现从宏观到微观的认识, 为个性化治疗方案的制订提供综合的影像学证据。该方法可大幅提高肿瘤的早期诊断和分级精度, 并在病理类型识别、疗效动态监测和预后评估等方面显示出其特有的应用价值, 为肿瘤患者个体化治疗方案筛选、靶向治疗疗效评估等难题的研究奠定基础。

参考文献

- [1] 赖家欣, 李煜晨, 刘伟, 闫锐. 子宫内膜癌淋巴脉管间隙浸润的预测: 基于多参数 MRI 影像组学结合临床及病理因素[J]. 分子影像学杂志, 2025, 48(7): 807-813.
- [2] 孙亚琳, 曹莹莹, 陈井亚, 王中秋. 基于 MRI 的子宫内膜癌瘤内、瘤周影像组学的研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2025, 44(7): 1358-1361.
- [3] 廖娟, 杨璐, 曹旭, 杨琳, 舒增怡, 余建群. 磁共振弥散加权成像 ADC 值与子宫内膜癌分化程度及 Ki-67 表达的关系[J]. 中国计划生育和妇产科, 2025, 17(6): 88-92.
- [4] 崔婷婷, 郭劲松, 任杰, 岳云龙. 基于早期动态增强 MRI 影像组学预测 p53abn 型子宫内膜癌[J]. 临床放射学杂志, 2025, 44(6): 1047-1051.
- [5] 丘芬芬, 张惠, 余玲娜, 陈晓惠, 杨日辉. 超声造影联合 MRI 预测子宫内膜癌分期的价值研究[J]. 婚育与健康, 2025, 31(9): 52-54.
- [6] 林霞, 栗周海, 商观锋, 王世黔, 黄贵. 术前 MRI 对早期子宫内膜癌的诊断价值[J]. 当代医药论丛, 2025, 23(9): 83-85.
- [7] 顾海磊, 唐文伟, 田忠甫, 张新露, 姚尧, 黄泽波. 合成 MRI 及复合灵敏度编码弥散加权成像定量参数预测子宫内膜癌病理特征[J]. 中国介入影像与治疗学, 2025, 22(3): 183-187.
- [8] 李立伟, 王建六. 子宫内膜癌诊疗已经进入分子时代[J]. 中国妇产科临床杂志, 2024, 25(2): 97-98.
- [9] 冉琳, 杨振, 郭蓓, 钟淑娟. MRI 不同序列在子宫内膜癌手术分期、肌层浸润诊断中的应用价值[J]. 临床医学研究与实践, 2022, 7(32): 98-102.
- [10] 李淑祎, 王青. 子宫内膜癌术前影像学检查及分期研究进展[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2021, 19(4): 402-404.