

综述

多模态磁共振成像评价
宫颈癌宫旁浸润的研究
进展*吴星臣^{1,2} 张晓燕^{2,3} 徐 晨^{2,4}
董桂青⁵ 曲倩倩² 邓 凯^{2,*}

1.山东第二医科大学医学影像学院

(山东 潍坊 261053)

2.山东第一医科大学第一附属医院(山东省
千佛山医院)放射科 (山东 济南 250014)3.山东第一医科大学(山东省医学科学院)
(山东 济南 250117)

4.济宁医学院临床医学院 (山东 济宁 272067)

5.山东第一医科大学第一附属医院(山东省
千佛山医院)医学工程部 (山东 济南 250014)

【摘要】宫颈癌是一种发生在女性生殖系统中的常见恶性肿瘤，它在发展中国家的发病率特别高。宫旁浸润(PMI)是宫颈癌复发的危险因素，其与治疗 and 预后的相关性已受到广泛的临床关注。多模态磁共振成像结合了多种成像模式，能够获取多种不同的成像参数，提供更全面、更准确的诊断信息，这些不同的成像模式也可以提供关于组织结构、代谢状态、血流情况等多方面的信息，对准确评估患者的病情具有重要意义。磁共振的广泛应用与影像组学的发展，对宫旁浸润的诊断表现出明显的优势。本文将对多模态磁共振成像技术在宫颈癌宫旁浸润的研究现状及进展进行综述，以提高对宫颈癌宫旁浸润的诊断准确性。

【关键词】磁共振成像；宫颈癌；
宫旁浸润；影像组学

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】山东省医药卫生科技发展
计划项目(2016WS0505)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.067

Research Progress of Multimodal Magnetic
Resonance Imaging to Evaluate Parametrial
Invasion of Cervical Cancer*WU Xing-chen^{1,2}, ZHANG Xiao-yan^{2,3}, XU Chen^{2,4}, DONG Gui-qing⁵, QU Qian-qian², DENG Kai^{2,*}.1.School of Medical Imaging, Shandong Second Medical University, Weifang 261053, Shandong
Province, China2.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical
University(Shandong Provincial Qianfoshan Hospital), Jinan 250014, Shandong Province, China3.Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Jinan 250117,
Shandong Province, China

4.School of Clinical Medicine, Jining Medical University, Jining 272067, Shandong Province, China

5.Department of Medical Engineering, The First Affiliated Hospital of Shandong First Medical
University (Shandong Provincial Qianfoshan Hospital), Jinan 250014, Shandong Province, China

ABSTRACT

Cervical cancer is a common malignant tumor that occurs in female reproductive system. Its incidence is particularly high in developing countries. Parametrial invasion is a risk factor for recurrence of cervical cancer, and its correlation with treatment and prognosis has received extensive clinical attention. Multimodal magnetic resonance imaging combines a variety of imaging modalities to obtain a number of different imaging parameters, providing more comprehensive and accurate diagnostic information. These different imaging modalities can provide information about tissue structure, metabolic status, blood flow conditions and other aspects, which can help clinics accurately assess patients' conditions. The wide application of magnetic resonance and the development of radiomics have shown obvious advantages for the diagnosis of parametrial invasion. In this paper, we will review the current status and progress of multimodal magnetic resonance imaging in the study of parametrial invasion in cervical cancer, in order to improve the diagnostic accuracy of parametrial invasion in cervical cancer.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Cervical Cancer; Parametrial Invasion; Radiomics

宫颈癌是一种发生在女性生殖系统中的常见恶性肿瘤，占生殖道肿瘤的第一位，常常在癌症较晚期才被诊断，是导致女性死亡的重要原因，尤其是低收入国家的女性。肿瘤的扩散是导致死亡的重要因素，肿瘤向邻近组织的扩散和宫旁浸润(parametrial invasion, PMI)是分期和计划治疗的重要依据。如果肿瘤临床局限于子宫颈，建议进行根治性子宫颈切除术；如果肿瘤宫旁浸润^[1]，则主要选择化疗。鉴于化疗对卵巢的永久性损伤，术前对PMI的准确无创诊断^[2]对于确定患者是否可以接受手术具有重要作用。盆腔磁共振成像因其在测量肿瘤大小、检测参数、阴道侵犯和评估淋巴结转移方面的优势，于2018年被纳入修订后的国际妇产科学联合会(international federation of gynecology and obstetrics, FIGO)分期^[3-5]。在一项meta分析中，1024例宫颈癌患者磁共振对PMI检测的敏感性和特异性分别为0.76和0.94^[6]，但是磁共振对PMI评估是一个主观的过程，容易出现伪影、肿瘤周围水肿和炎症^[7]。最近，一些基于放射组学的半自动或自动分期和预后的预测方法研究^[8-9]被认为是提供肿瘤特征的很有前景的工具，利用磁共振图像特征的放射组学模型已被开发用于预测宫颈癌患者的淋巴结转移和PMI。多模态磁共振成像技术在宫颈癌的诊断中发挥着重要作用，显示出较高的诊断价值。此外，多模态磁共振成像与病理分期的一致性较好^[10]，使其成为确诊子宫颈癌及其周围组织浸润的有效工具。本综述将探讨磁共振成像中的扩散加权成像、动态增强成像、体素内不相干运动扩散成像、酰胺质子转移成像和影像组学在PMI诊断中的应用，旨在提高磁共振成像在PMI诊断中的精确度。

1 扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)在PMI诊断中的应用

扩散加权成像是一种众所周知的反映水分子在体内随机扩散的功能磁共振技术。DWI技术通过检测水分子在微观层面的运动来分析水质子的扩散情况。在恶性肿瘤中，水分子的扩散受到限制，这会导致DWI信号的相应变化。表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)作为一种可以量化水分子扩散程度的序列^[11]，展现出比传统磁共振序列更高的诊断精确度。目前，DWI已成为评估宫颈癌的关键工具，尤其在评估深层间质浸润和淋巴血管间隙浸润方面，显著提升了对宫旁浸润诊断的准确性。

肿瘤的信号强度高于正常的宫颈组织，ADC上则表现为弥散受限^[12]。Qu等^[13]研究表明:与单纯T2加权成像相比，T2加权成像与DWI联合分析可提高宫颈癌患者PMI诊断的准确性。许等^[14]关于ADC值和DCE-MRI定量参数对宫颈癌的宫旁浸润的判定价值的研究中，也证实了T2结合ADC和动态增强磁共振成像(dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)能够在一定程度上提高宫颈癌的宫旁浸润的诊断准确

【第一作者】吴星臣，男，住院医师，主要研究方向：妇科肿瘤影像。E-mail: 646030975@qq.com

【通讯作者】邓 凯，男，主任医师，主要研究方向：胸腹部影像学。E-mail: 289954749@qq.com

率,为临床医生选择恰当且有效的治疗策略提供了关键的参考信息。然而,由于DWI的空间分辨率较低,解剖细节较差,对肿瘤浸润的准确评估可能受到限制,因此通过减少FOV, DWI可以显著改善图像质量,减少伪影,有研究表明:rFOV-DWI (reduced field of view diffusion weighted imaging, rFOV-DWI)对PMI的诊断效能远优于cFOV-DWI(conventional field of view diffusion weighted imaging, cFOV-DWI)^[15], rFOV-DWI有利于准确诊断PMI微小病变^[16]。

在以前的研究中Park等^[17]认为肿瘤ADC值是PMI的独立预测因子,Woo等^[6]发现PMI的ADC值和基于T2WI的Likert评分与PMI显著相关,但是可能是因为不同的纳入标准,以及肿瘤大小,病理分级高低等原因,Song等^[18]研究显示了相反的结果:宫颈间质环局灶性破坏宫颈癌的ADC值不能区分PMI。总的来说,虽然有争议,但ADC值在宫颈癌PMI中具有积极意义,在未来随着研究的深入和标准的统一,ADC值在PMI中的作用将会更清晰地展现出来。

2 动态增强磁共振成像 (dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)在PMI诊断中的应用

动态对比增强磁共振作为一种无创的功能成像技术,可以在建立药代动力学模型后评估组织微血管的特性,包括组织灌注、血管通透性和血管外-细胞外空间容积^[19]。这些特性可以作为评估肿瘤血管生成的潜在替代方法,而血管生成在宫颈癌PMI诊断中具有重要作用,并与预后相关^[20]。

据我们所知,以前DCE-MRI在宫颈癌PMI鉴别中的作用尚未得到很好的确定^[6]。DCE参数只与宫颈癌的放疗反应^[21]、宫颈良恶性病变的鉴别^[22]、病理血管生成活性^[23]、肿瘤血管和血管通透性评价^[24]有关。侵袭性越强的肿瘤通常表现出更迅速、更明显的强化和冲洗,这可能代表着更高的血管密度、通透性和更大的间隙^[25]。刘等^[26]最新的研究表明术前盆腔小视野矢状位DCE-MRI和双能扫描CT均能有效地对II期宫颈癌患者是否发生PMI进行诊断,该研究采用了盆腔小视野矢状位,使空间分辨率得到了显著提升。Song等^[18]纳入了术前磁共振和根治性子宫切除术的PMI阴性患者(n=46),分析比较术前临床变量和MRI变量,证实了DCE参数可能是宫颈间质环局灶性破坏宫颈癌PMI的预后指标,并建议联合使用DCE参数帮助准确评估PMI和手术计划和风险分层。许等^[15]研究也指出DCE-MRI定量参数能在一定程度提高PMI的诊断准确率。闵等^[27]的研究同样也证实了这一观点。这些研究表明DCE-MRI能显著提高宫颈癌的PMI的诊断准确率,并可以作为诊断宫旁浸润重要手段。

3 体素不相干运动扩散加权成像(intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging, IVIM-DWI)在PMI诊断中的应用

IVIM-DWI采用双指数模型,可以准确地反映组织的细胞密度和微循环状态。

IVIM衍生参数包括标准ADC (ADC),慢ADC (D),快ADC (D*)和灌注分数(f)。ADC值量化纯水分子扩散(用D表示)和微循环灌注(用D*表示)。所有参数均可同时测量,能更好地揭示肿瘤微观结构及生物学问题,已被用于宫颈癌的诊断、病理亚型及组织学分级的鉴别、治疗效果的评价^[28]。

Lin等^[29]通过研究接受了IVIM和扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)预处理的患者,记录IVIM的参数和DTI,通过检验所有参数差异,生成受试者工作特征(ROC)曲线,用来估计显著指标及其组合的诊断性能。研究发现在诊断PMI方面,IVIM和DTI都是诊断宫颈癌PMI的有效方法。然而,IVIM和DTI联合使用比单独使用任何一种方法都更有价值,因为联合使用明显提高了诊断性能,导致更高的(area under the ROC curve, AUC),更高的诊断敏感性和特异性。杨^[30]等和李^[31]等的研究证实了相同的观点,即IVIM-DWI可用于PMI的诊断,但是李^[31]的研究中表明DCE-MRI的统计学意义参数比IVIM-DWI高。

4 酰胺质子转移(amide proton transfer, APT)在PMI诊断中的应用

APT成像是通过化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer, CEST)对散装水质子与内源性移动蛋白和多肽的酰胺质子(-NH)之间的交换进行的无创成像。该技术最早由Zhou等人开发,近年来随着3D图像采集的发展而变得更加成熟^[32]。

Li等^[33]的研究表明APT成像可能是一种有用的技术,可以提供有价值的信息,以协助宫颈癌鳞状细胞癌的诊断和鉴别,其诊断准确性与IVIM得出的参数相当。到目前为止,APT已被用于评估宫颈癌中鳞状细胞癌与腺癌的分化和肿瘤分级^[34-35]。Song等^[36]的研究提出了APT和DCE-MRI定量参数有助于术前预测宫颈癌的深间质浸润或/和淋巴管间隙浸润的发生。目前关于APT在PMI的可行性的报道较少。

最新的研究中,张等^[37]把患者分为PMI组和非PMI组进行研究,在PMI组中,肿瘤的APT_w值平均为3.80%,标准差为0.33%,这一数值高于Non-PMI组的平均值3.43%,标准差为0.28%,并且这种差异在统计上是显著的(P值小于0.001)。同样地,PMI组癌旁组织的APT_w值平均为2.73%,标准差为0.09%,也高于Non-PMI组的平均值2.13%,标准差为0.40%,差异同样在统计上显著(P值小于0.001)。这些发现表明,APT_w成像技术在评估和诊断宫颈癌的分级及PMI方面可能具有潜在的应用价值。在常规的磁共振平扫和增强序列之外,加入APT_w序列可能在不同程度上提高对宫颈癌分级和PMI的诊断精确度。这为临床提供了重要的无创性影像学信息,有助于术前预测分级和PMI,从而辅助临床决策,可能对改善患者预后有积极影响。但是仍具有实验病例少、纳入非PMI组的病例较多和对微小病变显示不清的局限性,可能会造成偏倚。

5 影像组学在PMI诊断中的应用

影像组学是一种新兴的生物学研究领域,它结合了空间信息和分子特征,旨在同时测量组织的物理结构和分子特性^[38]。这一领域涵盖了一系列技术,包括免疫组化、原位杂交、质谱成像、多重离子束成像等。影像组学的目标是在细胞的原始三维环境中测量细胞的分子特征,以更好地理解生物学过程。尽管影像组学领域仍在发展阶段,但它已经为动物发育、脑结构以及肿瘤微环境等领域提供了重要的参考^[39]。

近年来,影像组学在医学中的应用越来越广泛,对肿瘤诊断和治疗反应评估的准确性大大提高^[40]。Li等^[41]研究通过比较宫颈癌患者的术后病理结果,将PMI作为变量,并分析了T2WI纹理特征的差异。研究结果显示,宫旁浸润组的熵值高于非浸润组。高熵值代表高肿瘤的异质性,而且可以在微观水平上使用更精确的定量参数来评估宫旁浸润,而不是进行具有较大误差的主观诊断。定量参数可为建立具有宫旁浸润的宫颈癌人工智能预测模型提供参考,同时对宫颈癌PMI的纹理分析仍需要进行大样本进行前瞻性研究以进一步探索和规范。Wang等^[42]用从T2WI和DWI中提取的影像组学特征计算影像组学信号进行选择,分别使用T2WI和DWI的影像组学特征建立了支持向量机(SVM)模型,以评估影像组学信号在区分PMI患者方面的性能,基于具有更好性能、患者年龄和病理等级的影像组学特征绘制影像组学列线图,对其判别性能和标定性能进行了评价。研究表明,影像组学列线图在早期宫颈癌患者术前预测PMI方面表现良好,在早期宫颈癌患者临床治疗中发挥着越来越重要的作用。何等^[43]利用Mazda软件分析宫颈癌的纹理特征,并对比了宫旁浸润与非宫旁浸润组在磁共振成像中的纹理参数差异。通过选取具有统计学意义的差异参数,进行了多因素Logistic回归分析,并构建了诊断模型。研究结果显示,基于独立预测因子的ROC曲线下面积达到0.939,敏感性和特异性分别为91.1%和86.7%,这表明磁共振图像纹理特征结合Logistic回归分析在预测FIGO II期宫颈癌宫旁浸润方面具有一定价值。何等还运用SPSS软件进行决策树分类,模型的诊断效果则通过ROC曲线表现出来,成功构建了四种决策树模型,为宫颈癌宫旁浸润提供了有力的证据。

6 小结与展望

多模态磁共振成像提供了互补和全面的信息数据,有助于更全面地了解结构和功能。宫颈癌的宫旁浸润对疾病具有重要的指导意义。目前看来,虽然在这个领域研究较少,但发展日新月异,只有利用好每种成像序列独特的功能,才能更好的发挥其优势。影像组学虽然面临着很大的挑战,但在对宫颈癌PMI的应用中取得了很大的进展。综合来看,多模态磁共振成像在宫颈癌宫旁浸润研究中发挥着重要作用,其在技术和临床应用方面的不断改进将进一步推动相关领域的发展。但是基于目前所作研究仍存在一些共同的局限性:(1)多为单中心回顾性研究,实验研究的病例不多;(2)研究比较宽泛,对罕见的病理类型和小病灶并未涉及,结果可能存在偏倚;(3)影像研究的主观性不同,不同放射科医生对多模态磁共振图像的解读有所差异,可能导致结果的不一致性。未来,更多的研究和临床实践将进一步完善多模态磁共振成像在宫颈癌宫旁浸润研究中的应用,对宫颈癌的治疗和预后具有重要意义。

参考文献

- [1] Sklar C. Maintenance of ovarian function and risk of premature menopause related to cancer treatment[J]. Natl Cancer Inst Monogr, 2005, (34): 25-27.
- [2] Hsu WC, Chung NN, Chen YC, et al. Comparison of surgery or radiotherapy on complications and quality of life in patients with the stage IB and IIA uterine cervical cancer[J]. Gynecol Oncol, 2009, 115(1): 41-45.
- [3] Gomez E, Nguyen MT, Fursevich D, et al. MRI-based pictorial review of the FIGO classification system for uterine fibroids[J]. Abdom Radiol (NY), 2021, 46(5): 2146-2155.
- [4] Mitchell DG, Snyder B, Coakley F, et al. Early invasive cervical cancer: MRI and CT predictors of lymphatic metastases in the ACRIN 6651/GOG 183 intergroup study[J]. Gynecol Oncol, 2009, 112(1): 95-103.
- [5] Shin YR, Rha SE, Choi BG, et al. Uterine cervical carcinoma: a comparison of two- and three-dimensional T2-weighted turbo spin-echo MR imaging at 3.0 T for image quality and local-regional staging[J]. Eur Radiol, 2013, 23(4): 1150-1157.
- [6] Woo S, Suh CH, Kim SY, et al. Magnetic resonance imaging for detection of parametrial invasion in cervical cancer: an updated systematic review and meta-analysis of the literature between 2012 and 2016[J]. Eur Radiol, 2018, 28(2): 530-541.
- [7] Mitchell DG, Snyder B, Coakley F, et al. Early invasive cervical cancer: tumor delineation by magnetic resonance imaging, computed tomography, and clinical examination, verified by pathologic results, in the ACRIN 6651/GOG 183 Intergroup Study[J]. J Clin Oncol, 2006, 24(36): 5687-5694.
- [8] Xu X, Zhang HL, Liu QP, et al. Radiomic analysis of contrast-enhanced CT predicts microvascular invasion and outcome in hepatocellular carcinoma[J]. J Hepatol, 2019, 70(6): 1133-1144.
- [9] Huang YQ, Liang CH, He L, et al. Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer[J]. J Clin Oncol, 2016, 34(18): 2157-2164.
- [10] 余梁, 刘影, 李兵. 基于FIGO2018的多模态MRI在子宫颈癌诊断及分期中的应用[J]. 蚌埠医学院学报, 2023, 48(9): 1270-1273.
- [11] Kyriazi S, Collins DJ, Morgan VA, et al. Diffusion-weighted imaging of peritoneal disease for noninvasive staging of advanced ovarian cancer[J]. Radiographics, 2010, 30(5): 1269-1285.
- [12] Matani H, Patel AK, Horne ZD, et al. Utilization of functional MRI in the diagnosis and management of cervical cancer[J]. Front Oncol, 2022, 12: 1030967.
- [13] Qu JR, Qin L, Li X, et al. Predicting parametrial invasion in cervical carcinoma (Stages IB1, IB2, and IIA): diagnostic accuracy of T2-weighted imaging combined with DWI at 3 T[J]. AJR Am J Roentgenol, 2018, 210(3): 677-684.
- [14] 许敏, 何永胜, 戚轩, 等. ADC值和DCE-MRI定量参数对宫颈癌宫旁浸润的判定价值[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(3): 480-483.
- [15] 宋震宇, 胡华, 黄冰峰, 等. T2WI序列联合小视野扩散加权成像对宫颈癌宫旁浸润的诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(9): 1807-1811.
- [16] Chen M, Feng C, Wang Q, et al. Comparison of reduced field-of-view diffusion-weighted imaging (DWI) and conventional DWI techniques in the assessment of Cervical carcinoma at 3.0T: image quality and FIGO staging[J]. Eur J Radiol, 2021, 137: 109557.
- [17] Park JJ, Kim CK, Park SY, et al. Value of diffusion-weighted imaging in predicting parametrial invasion in stage IA2-IIA cervical cancer[J]. Eur Radiol, 2014, 24(5): 1081-1088.
- [18] Song J, Hu Q, Ma Z, et al. Value of diffusion-weighted and dynamic contrast-enhanced MR in predicting parametrial invasion in cervical stromal ring focally disrupted stage IB-IIA cervical cancers[J]. Abdom Radiol (NY), 2019, 44(9): 3166-3174.
- [19] Hylton N. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging as an imaging biomarker[J]. J Clin Oncol, 2006, 24(20): 3293-3298.
- [20] Marth C, Landoni F, Mahner S, et al. Cervical cancer: ESMO clinical practice guidelines for diagnosis, treatment and follow-up[J]. Ann Oncol, 2017, 28: iv72-iv83.
- [21] Andersen EK, Hole KH, Lund KV, et al. Pharmacokinetic parameters derived from dynamic contrast enhanced MRI of cervical cancers predict chemoradiotherapy outcome[J]. Radiother Oncol, 2013, 107(1): 117-122.
- [22] Kuang F, Yan Z, Li H, et al. Diagnostic accuracy of diffusion-weighted MRI for differentiation of cervical cancer and benign cervical lesions at 3.0T: comparison with routine MRI and dynamic contrast-enhanced MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2015, 42(4): 1094-1099.
- [23] Hawighorst H, Weikel W, Knapstein PG, et al. Angiogenic activity of cervical carcinoma: assessment by functional magnetic resonance imaging-based parameters and a histomorphological approach in correlation with disease outcome[J]. Clin Cancer Res, 1998, 4(10): 2305-2312.
- [24] Harry VN. Novel imaging techniques as response biomarkers in cervical cancer[J]. Gynecol Oncol, 2010, 116(2): 253-261.
- [25] Kim JH, Kim CK, Park BK, et al. Dynamic contrast-enhanced 3-T MR imaging in cervical cancer before and after concurrent chemoradiotherapy[J]. Eur Radiol, 2012, 22(11): 2533-2539.
- [26] 刘笑言, 马小贝, 徐峰. 盆腔小视野矢状位动态增强MRI联合双能扫描CT在II期宫颈癌患者宫旁浸润中的诊断价值[J]. 临床和实验医学杂志, 2023, 22(10): 1111-1114.
- [27] 闵智乾, 靳荣辉, 陈雨宏, 等. 多模态MRI评价I B1-II A2期宫颈癌宫旁浸润的应用研究[J]. 实用肿瘤学杂志, 2022, 36(05): 424-428.
- [28] 王雯智, 石建勇, 郑蕾, 等. IVIM-DWI参数联合血清肿瘤标志物检测在宫颈癌诊断及分化程度评估中的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(12): 129-131, 169.
- [29] Lin TT, Li XX, Lv WF, et al. Diagnostic value of combined intravoxel incoherent motion diffusion-weighted magnetic resonance imaging with diffusion tensor imaging in predicting parametrial infiltration in cervical cancer[J]. Contrast Media Mol Imaging, 2021, 2021: 6651070.
- [30] 杨杨. IVIM-DWI与纹理分析对宫颈癌宫旁浸润及组织分型的诊断及鉴别诊断价值[D]. 安徽医科大学, 2021.
- [31] 李信响, 韦超, 林婷婷, 等. IVIM-DWI和DCE-MRI对II期宫颈癌宫旁浸润的诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(4): 720-725.
- [32] Takayama Y, Nishie A, Togao O, et al. Amide proton transfer MR imaging of endometrioid endometrial adenocarcinoma: association with histologic grade[J]. Radiology, 2018, 286(3): 909-917.
- [33] Li B, Sun H, Zhang S, et al. The utility of APT and IVIM in the diagnosis and differentiation of squamous cell carcinoma of the cervix: a pilot study[J]. Magn Reson Imaging, 2019, 63: 105-113.
- [34] Meng N, Wang X, Sun J, et al. Application of the amide proton transfer-weighted imaging and diffusion kurtosis imaging in the study of cervical cancer[J]. Eur Radiol, 2020, 30: 5758-5767.
- [35] Meng N, Wang J, Sun J, et al. Using amide proton transfer to identify cervical squamous carcinoma/adenocarcinoma and evaluate its differentiation grade[J]. Magn Reson Imaging, 2019, 61: 9-15.
- [36] Song Q, Tian S, Ma C, et al. Amide proton transfer weighted imaging combined with dynamic contrast-enhanced MRI in predicting lymphovascular space invasion and deep stromal invasion of IB1-IIA1 cervical cancer[J]. Front Oncol, 2022, 12: 916846.
- [37] 张梦迪. 酰胺质子转移成像对宫颈癌分级及宫旁浸润诊断价值的应用研究[D]. 吉林大学, 2023.
- [38] 邹文涛, 陈艾琪, 赵以惠, 等. 基于3D MRI影像组学模型鉴别IA期宫颈癌与高级别鳞状上皮内瘤变的价值研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(12): 132-135.
- [39] Mayerhoefer ME, Materka A, Langs G, et al. Introduction to radiomics[J]. J Nucl Med, 2020, 61(4): 488-495.
- [40] Liu Z, Wang S, Dong D, et al. The Applications of radiomics in precision diagnosis and treatment of oncology: opportunities and challenges[J]. The ranostics, 2019, 9(5): 1303-1322.
- [41] Li XX, Lin TT, Liu B, et al. Diagnosis of cervical cancer with parametrial invasion on whole-tumor dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging combined with whole-lesion texture analysis based on T2-weighted images[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2020, 8: 590.
- [42] Wang T, Gao T, Guo H, et al. Preoperative prediction of parametrial invasion in early-stage cervical cancer with MRI-based radiomics nomogram[J]. Eur Radiol, 2020, 30(6): 3585-3593.
- [43] 何月明, 范良生, 罗锦文, 等. 基于MR-T2WI纹理特征的决策树分类分析在FIGO-II期宫颈癌宫旁浸润中的诊断价值[J]. 放射学实践, 2020, 35(12): 1560-1565.

(收稿日期: 2024-01-13)

(校对编辑: 韩敏求)