

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.09.008  
文章编号: 1005-8982 (2026) 09-0049-08

综述

## 腹膜假黏液瘤的多模态磁共振表现与临床价值\*

李梓萌, 龙学颖, 吴畏

(中南大学湘雅医院, 湖南 长沙 410008)

**摘要:** 腹膜假黏液瘤(PMP)是一种以腹腔内黏液积聚和再分布为特征的恶性肿瘤。术前准确判断病变分布、腹膜癌指数及完全减瘤可行性,对治疗决策和预后评估至关重要。尽管增强CT仍为当前首选影像学检查,但在微小病灶、复杂解剖区评估方面存在局限。磁共振成像(MRI)凭借其多参数成像和卓越的软组织分辨力,可通过T1加权成像、T2加权成像、弥散加权成像、动态增强扫描与5~10 min延迟增强扫描等序列,可更好地显示病变特征,并在原发灶追溯、病理分级预测、腹膜癌指数评估、可切除性判断及术后复发监测中展现出重要价值。该综述旨在系统阐述PMP的多模态MRI的技术要点、影像学表现,探讨其在诊断、术前分期、治疗决策及随访监测中的临床应用价值,同时指出,当前MRI在PMP中的应用仍面临扫描流程尚未标准化、高质量证据有限等问题。未来,随着结构化阅片、多中心前瞻性研究、影像组学和人工智能的发展,MRI有望进一步由定性描述走向定量评估与决策支持,为PMP精准诊疗提供更坚实的影像学基础。

**关键词:** 腹膜假黏液瘤; 阑尾黏液性肿瘤; 磁共振成像

**中图分类号:** R735;R445

**文献标识码:** A

## Multimodal MRI features and clinical value in pseudomyxoma peritonei\*

Li Zi-meng, Long Xue-ying, Wu Wei

(Xiangya Hospital, Central South University, Changsha, Hunan 410008, China)

**Abstract:** Pseudomyxoma peritonei (PMP) is a neoplastic disease characterized by intraperitoneal mucin accumulation and redistribution. Accurate preoperative assessment of disease distribution, the peritoneal cancer index (PCI), and the feasibility of complete cytoreduction is crucial for treatment planning and prognostic evaluation. Although contrast-enhanced CT remains the current first-line imaging modality, it has limitations in detecting small-volume lesions and evaluating lesions in anatomically complex regions. Owing to its multiparametric imaging capability and excellent soft-tissue contrast, magnetic resonance imaging (MRI) can better characterize lesions through T1-weighted imaging, T2-weighted imaging, diffusion-weighted imaging, dynamic contrast-enhanced imaging, and 5 - 10 min delayed contrast-enhanced imaging. MRI has shown important value in identifying the primary tumor, predicting pathological grade, assessing PCI, evaluating resectability, and monitoring postoperative recurrence. This review systematically summarizes the technical essentials and imaging features of multimodal MRI in PMP and discusses its clinical value in diagnosis, preoperative staging, treatment decision-making, and follow-up monitoring. It also highlights that the current application of MRI in PMP still faces challenges, including the lack of standardized scanning protocols and limited high-quality evidence. In the future, with the development of structured reporting, multicenter prospective studies, radiomics, and artificial intelligence, MRI is expected to further evolve from qualitative description to quantitative assessment and decision support,

收稿日期: 2026-03-13

\* 基金项目: 国家自然科学基金(82370544)

[通信作者] 吴畏, E-mail: wwtw1972@126.com

providing a more solid imaging basis for precision diagnosis and treatment of PMP.

**Keywords:** pseudomyxoma peritonei; appendiceal mucinous neoplasms; magnetic resonance imaging

腹膜假黏液瘤(pseudomyxoma peritonei, PMP)是一种临床罕见的腹膜表面恶性肿瘤综合征,以腹腔内大量黏液积聚、再分布及继发性种植为特征,全球年发病率约为1~4例/百万人<sup>[1-2]</sup>。约70%~90%的PMP起源于阑尾黏液性肿瘤,而卵巢及其他消化道黏液性肿瘤来源相对少见<sup>[1,3]</sup>。2016年腹膜表面肿瘤国际联盟(PSOGI)共识将其划分为无细胞性黏液、腹膜低级别黏液癌、腹膜高级别黏液癌及腹膜高级别黏液癌伴印戒细胞;该分型体系是当前风险分层与预后评估的核心依据<sup>[3]</sup>。PMP具有腹腔受累广泛(常累及大网膜、膈下、盆腔)、易残留复发、病程迁延等特点,常需长期的临床管理及科学的外科决策<sup>[1,4]</sup>。PMP的临床管理充满挑战,核心在于早期准确诊断、术前精准评估及术后有效监测。PMP早期症状(如腹胀、卵巢囊肿)无特异性,常导致诊断延迟或误诊<sup>[3,5]</sup>。目前,肿瘤细胞减灭术(cytoreductive surgery, CRS)联合腹腔热灌注化疗(hyperthermic intraperitoneal chemotherapy, HIPEC)已成为改善预后的金标准疗法<sup>[1,6-7]</sup>,可显著延长患者生存期<sup>[8]</sup>,其疗效直接取决于手术的彻底性<sup>[4,6]</sup>。然而,即使规范治疗,术后2年内复发率仍高达约40%<sup>[2,6,9]</sup>。因此,术前全面、精准的影像学评估是决定CRS/HIPEC疗效、影响患者长期生存的基石。其核心价值在于确定原发灶、量化腹膜癌指数(peritoneal cancer index, PCI)、预测完全减瘤可行性、协助制订个体化的手术入路和切除范围<sup>[2,4-5,10]</sup>。

在影像学评估上,超声的诊断效能有限,仅用于初筛或术后随访<sup>[11-13]</sup>。计算机体层成像(computed tomography, CT)凭借其扫描速度快、覆盖范围广、空间分辨率高等优点,已成为PMP术前分期的首选和常规检查手段<sup>[5,12-14]</sup>。然而,CT在微小病灶及复杂解剖区的评估上存在不足,尤其易低估小肠区病变和PCI<sup>[15]</sup>。同时难以区分单纯黏液与含肿瘤细胞黏液病灶,对病理分级的预测效能亦有限<sup>[16]</sup>。磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)凭借卓越的软组织分辨率与多参数成像优势,已成为PMP评估的重要补充。MRI对小肠区病灶检出准确率达92%,显著优于CT;对肝门区侵犯及小肠系膜受累等不可切除征象的敏感性高达87%~

88%<sup>[17]</sup>。目前,MRI在PMP诊疗中尚未广泛开展,技术方案尚未标准化,有关研究较CT少,多为针对某一临床问题的小样本研究,缺乏对PMP的多模态MRI应用及征象的系统性阐述,临床上对其影像特征的认识亦不如CT深刻。

本文旨在系统综述MRI在PMP诊疗中的应用现状,重点阐述PMP的MRI技术要点、主要影像学表现及其与病理分型、病变分布和生物学行为的关联,探讨其在术前评估与个体化治疗决策中的临床价值,以提高对PMP的MRI影像学评估的认识。

## 1 PMP的疾病进程

PMP的病程呈阶段性演变,是影像学分期与随访的病理基础,可分为原发灶形成期、腹腔播散与再分布期、多器官受累进展期及终末期,术后复发构成其重要延伸<sup>[1,4-6]</sup>。形成期以阑尾黏液性肿瘤致腔内梗阻、囊肿形成及破裂播散为特征,临床隐匿,识别不足可致术中种植扩散<sup>[1,6,18-20]</sup>。播散与再分布期是PMP的核心阶段,也是关键干预窗口<sup>[4,6,12]</sup>;高黏滞系数的黏液在重力及腹水循环等多种因素影响下,易于在腹腔两侧、双侧膈下、网膜囊、肝脾表面及盆腔等部位沉积,而小肠表面因器官活动性较大而受累相对较轻<sup>[4-5,21]</sup>。进展期的演变速度与病理分级相关:低级别多呈压迫性生长<sup>[1,22]</sup>;高级别则可呈侵袭性生长,可侵犯腹膜下结构,多器官受累风险显著升高<sup>[4]</sup>,甚至可累及胰腺或输尿管等腹膜后器官<sup>[2,12]</sup>。终末期表现为全腹广泛性受累,系膜挛缩、肠管聚拢、大范围胃肠道包裹、肝门侵犯,可致胃肠穿孔与梗阻,最终进展为恶病质<sup>[1,5,16]</sup>。

## 2 PMP的多模态MRI成像技术要点

PMP的MRI评估需基于最优化的成像方案,以保证图像质量、诊断一致性及跨中心可重复性<sup>[23]</sup>。其技术应综合考虑检查前准备、成像序列选择及参数优化,以全面反映病变的形态学与功能学特征<sup>[17,24]</sup>。检查前准备主要关注胃肠道充盈与运动伪影控制。受检者应在检查前禁食4~6h,以减少胃肠内容物干扰<sup>[22,24]</sup>。推荐联合口服与直肠灌肠双途径给予胃肠内对比剂:检查前口服稀释钡剂或甘露

醇溶液,可在T1加权成像(T1-weighted imaging, T1WI)中作为胃肠道阴性对比剂,利于显示腹膜与肠壁/系膜界面<sup>[17,22,25]</sup>;经肛管注入500~1 000mL温水可适度充盈结肠,改善盆腔显示并降低局部伪影<sup>[24]</sup>。检查前静脉注射低张药物(如胰高血糖素或山莨菪碱),可减少胃肠蠕动伪影,尤其有助于小肠系膜区域病变的可靠显示<sup>[24,26-27]</sup>。

磁场强度推荐1.5T系统,以在信噪比、磁场均匀性与伪影控制间取得最佳平衡,扫描范围应从膈顶至耻骨联合下缘,涵盖膈下、肝脾包膜、肠系膜及盆腔等PMP常见累及区域<sup>[17,24]</sup>。对拟行CRS的患者可适当扩展范围,以全面评估可能影响完全减瘤的

腹膜反折与腹股沟受累<sup>[18,24]</sup>。

MRI序列选择上推荐采用多模态成像策略(见表1),即在形态学成像基础上联合功能成像与动态对比增强成像,以同时获取形态、组织成分与功能信息<sup>[24,28]</sup>。形态学模态包括T1WI与T2加权成像(T2-weighted imaging, T2WI)。成像基本方位包括横轴位与冠状位,并可补充盆腔矢状位以提高盆腔深部结构的评估,常规采用脂肪抑制技术,以提高病灶与背景组织之间对比度<sup>[19,24]</sup>。T2WI抑脂序列对黏液高信号及分隔结构的显示尤为敏感,是PMP评估的核心序列之一<sup>[19,22,25,29]</sup>。

表1 腹膜假黏液瘤多模态MRI成像序列及其主要临床价值

模态	序列	技术要点	主要临床价值	参考文献
形态学模态	T1WI	采用快速成像技术,可行DIXON技术	评估腹腔解剖背景,并结合肠道阴性对比显示腹膜与肠壁、系膜界面	[17,22,24-25]
	T2WI	推荐采用二维抑脂T2WI	对黏液高信号及内部分隔显示敏感,是PMP评估的核心序列之一	[19,22,25,29]
功能模态	DWI	至少采用2组b值,同时获取ADC	高b值DWI可敏感识别弥散受限的微小腹膜种植灶,提高小病灶检出率;低b值DWI有助于显示黏液性肿块内部的分隔等结构,可提供补充信息;ADC图可反映扩散特征,与DWI联合分析可为组织成分分析及病变活性评估提供补充信息	[24,27-28,30]
增强模态	DCE-MRI	注射钆对比剂后180s内获取多时相图像	定量反映微血管通透性,对小肠系膜及浆膜下浸润病灶更敏感	[5,26]
	延迟增强成像	对比剂注射后5~10min采集	识别缓慢强化肿瘤组织,并与无强化黏液成分相鉴别	[17,22,25]

功能成像模态主要为扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)及其表观扩散系数(apparent diffusion coefficients, ADC)图。高b值DWI可敏感识别弥散受限的微小腹膜种植灶<sup>[27-28]</sup>,低b值DWI可显示黏液性肿块内的分隔等结构以提供补充信息<sup>[30]</sup>。对比增强模态包括动态对比增强MRI(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)与延迟钆增强成像。DCE-MRI通常在注射钆对比剂后180s内获取多时相图像,可定量反映微血管通透性,对小肠系膜及浆膜下浸润病灶敏感性显著高于常规MRI<sup>[5,26]</sup>。延迟增强序列一般在注射后5~10min采集,可识别缓慢强化的肿瘤组织并与无强化黏液成分相鉴别<sup>[17,22,25]</sup>。研究表明,DWI联合钆增强MRI可显著提高术前PCI评估的准确性与一致性<sup>[27]</sup>。

为减少呼吸运动伪影,T1WI、DWI及增强序列可采用屏气下图像采集,T2WI可选用呼吸触发或呼吸

导航技术。综上,PMP多模态MRI方案通过整合形态学序列、功能成像与对比增强,在病灶检出、PCI评估与关键区域受累评估方面具有重要临床价值<sup>[24]</sup>。

### 3 PMP的多模态MRI影像学表现

#### 3.1 阑尾黏液性肿瘤的MRI表现

阑尾黏液性肿瘤,尤其是低级别阑尾黏液性肿瘤(low-grade appendiceal mucinous neoplasm, LAMN),是PMP最主要的病因。准确识别其MRI特征,有助于追溯原发灶、评估生物学行为并指导治疗策略<sup>[5,31]</sup>。未破裂的LAMN典型MRI表现为阑尾管腔弥漫性或节段性囊状扩张,冠状位T2WI可显示其与盲肠基底部的解剖连续性,有助于与卵巢或肠系膜来源的囊性病变相鉴别<sup>[11,31-32]</sup>。腔内内容物多为富含水分和黏蛋白的黏液,在脂肪抑制T2WI上常呈均匀高信号,T1WI多为低至等信号,当黏液浓缩或

成分复杂时,可出现局灶性 T1WI 轻度高信号<sup>[19,32]</sup>。增强扫描常表现为薄而规则的阑尾壁轻至中度延迟强化,腔内黏液则无明显强化,可与壁厚而不规则的阑尾腺癌或阑尾壁明显强化的急性阑尾炎相鉴别<sup>[11,19,31]</sup>。脂肪抑制 T2WI 联合增强序列可更清晰地显示阑尾壁及周围脂肪间隙,为术前判断浆膜完整性及播散风险提供依据,这对于选择单纯阑尾切除还是更广泛的 CRS 至关重要<sup>[5,11,31]</sup>。DWI 有助于无创评估肿瘤细胞密度与病理分级。低级别肿瘤因以黏液成分为主、细胞密度低,高 b 值(通常 800 ~ 1 000 s/mm<sup>2</sup>) DWI 多呈等或轻度高信号,ADC 值较高;而高级别病变因实性细胞成分增多、扩散受限,高 b 值 DWI 上呈相对高信号伴 ADC 值降低<sup>[24,28,31]</sup>。值得注意的是,ADC 绝对值受设备型号、扫描参数与后处理方式影响显著,难以制定统一标准<sup>[28]</sup>。部分患者可见阑尾壁分层征及 T2WI 高信号黏液背景内散在低信号黏液球,对 LAMN 诊断具有提示意义,对于微小或表现不典型的病灶,多序列薄层扫描联合三维重建有助于提高原发灶检出率<sup>[29,33]</sup>。

对于已破裂阑尾,MRI 除显示局部壁连续性中断或阑尾形态不规则外,还可见阑尾周围或右下腹局限性黏液积聚、脂肪间隙模糊及邻近腹膜或网膜表面条片状、结节状高 T2 信号沉积,提示黏液外逸与早期种植<sup>[5,11,31]</sup>。若伴延迟强化分隔、壁结节或 DWI 高信号成分,则更支持含肿瘤细胞黏液外漏而非单纯炎性积液<sup>[19,24,28]</sup>。因此,MRI 对阑尾壁完整性、破裂征象及腹膜早期受累的综合评估,为术前风险分层及手术范围制定提供了关键依据<sup>[5,25,31,33]</sup>。

### 3.2 PMP 的基本病变

PMP 基本病变的 MRI 征象主要由黏液性腹水与黏液性肿块及腹膜种植灶构成,其多序列信号特征与黏液成分、细胞密度及纤维间质结构对应<sup>[34]</sup>。这些表现不仅是 PMP 诊断的关键线索,也为术前评估病变分布、制订 CRS 方案及随访监测提供参考<sup>[24,33,35]</sup>。

黏液性腹水是 PMP 的最早且最具特征性的表现。T1WI 多呈低信号,蛋白或细胞成分增多时可表现为等或轻度高信号;T2WI 呈明显高信号,但信号强度常略低于纯水<sup>[14,34,36]</sup>。增强序列上,单纯黏液无强化,其内分隔或纤维组织可呈渐进性延迟强化<sup>[30]</sup>。DWI 上黏液性腹水常因 T2 穿透效应呈轻度高信号,但 ADC 值通常较高,符合其低细胞密度与

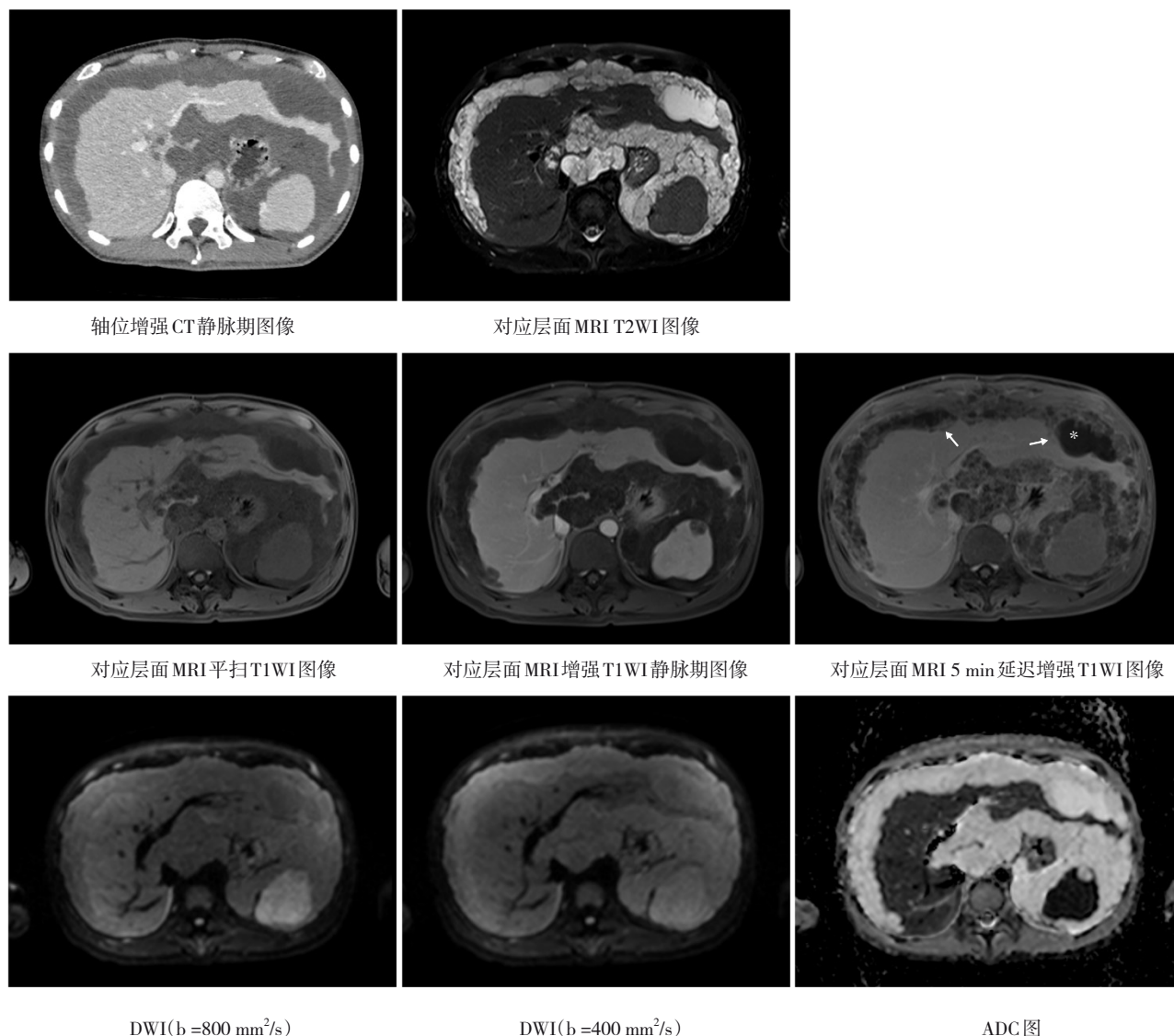
高水分含量的病理特征<sup>[28]</sup>。

黏液性肿块/种植灶多呈多房分隔性或囊实性病灶。T1WI 上黏液成分为低信号,实性成分可为等或略高信号;T2WI 可清晰地显示黏液高信号与分隔/实性成分的对比,从而呈现典型的多房结构<sup>[11,34,37]</sup>。增强成像常见囊壁与分隔轻度强化并在延迟期更清晰,而黏液池多无强化,对应无血管黏液中心与富血管纤维壁的组织学特征<sup>[34,38]</sup>。当实性成分增加时,DWI 高 b 值图像可呈更明显高信号伴 ADC 降低,提示细胞密度相对升高<sup>[28]</sup>(见图 1)。上述特征与其他腹膜疾病的影像表现存在差异,可作为鉴别的重要依据<sup>[5,19,38]</sup>。

### 3.3 PMP 的器官受累表现

**3.3.1 腹膜及网膜受累表现** PMP 的腹膜受累多呈弥漫分布,可累及壁层/脏层腹膜及网膜。腹膜增厚或结节在 T1WI 多为低至等信号;高级别 PMP 因细胞密度较高,可表现为更多等或不均质信号,具有预测病理分级潜在价值<sup>[3,20]</sup>。T2WI 上黏液沉积呈高信号,内部常伴细线状或网格状低信号分隔,对应纤维间质与分隔结构,且分隔密度与肿瘤负荷呈正相关<sup>[3,20]</sup>。大网膜受累典型表现为“网膜饼征”,即网膜脂肪信号被黏液性肿块取代并夹杂低信号分隔<sup>[17,19,24]</sup>。增强 T1WI 上,分隔与实性结节呈渐进性强化,提示富血供间质或活性肿瘤组织<sup>[24,26]</sup>。延迟增强对腹膜病变检测的敏感性最高,延迟期实性成分及分隔强化更加均匀清晰,尤其有助于显示膈下、盆腔及侧腹壁等运动伪影影响大的区域<sup>[12,24]</sup>,能显著提高腹膜病变检出率和定位精度,对于 CRS 术前评估至关重要<sup>[17-18]</sup>。高 b 值 DWI 上腹膜结节可表现为高信号并伴 ADC 降低,有助于微小病灶的检出<sup>[28,35]</sup>。

**3.3.2 实性脏器受累表现** PMP 累及实性脏器多表现为表面沉积与压迫,而非直接实质浸润<sup>[5,24]</sup>。常见部位包括肝及脾表面<sup>[17,24]</sup>,黏液沿肝或脾表面堆积,压迫脏器形成多发浅表凹陷或较深的压迹,典型表现为“扇贝征”,提示病变长期存在<sup>[3,20]</sup>;T2WI 通常最利于显示该征象<sup>[19,30]</sup>。增强序列中脏器包膜可轻度强化,而黏液区多无强化<sup>[24-25]</sup>。DWI 上脏器表面黏液沉积常表现为相对高 ADC,支持其以黏液为主、非浸润性改变的特征<sup>[28,35]</sup>。对于肝门等解剖复杂区域,病灶识别与范围判断对术前评估具有重要意义,需结合强化与弥散特征进行综合判读<sup>[24,26]</sup>。



增强CT示腹腔内广泛分布的低密度黏液性病变,对应层面MRI 5 min延迟增强T1WI图像示其内细微分隔样改变,肝脾表面可见典型扇贝征(箭头所示)。病灶于T2WI呈明显高信号,T1WI呈低信号,DWI呈相对高信号,ADC值相对降低;增强后分隔及实性成分可见轻度进行性强化,5 min延迟期更清晰,而单纯黏液无强化(\*所示)。术后病理证实为腹膜低级别黏液瘤。

图1 PMP患者多模态影像学表现

**3.3.3 空腔脏器与腹膜后脏器受累表现** PMP对空腔脏器的累及以浆膜面黏液沉积、包绕与压迫为主,而非穿透性浸润<sup>[2,5,24]</sup>。应着重关注小肠、胃及肠系膜。T2WI对肠系膜病变最为敏感,可见肠袢间及系膜根部高信号黏液包绕,形似“珍珠串”,严重时可见“冻结腹征”<sup>[2,5,19,24]</sup>。胃或结肠受压可表现为外形僵直、管腔变形,但壁层连续性完整,提示压迫性变形而非浸润<sup>[5,30]</sup>。腹膜后脏器直接侵犯相对少见,但可发生输尿管外压性狭窄或肾周包裹<sup>[3,20,24]</sup>。

### 3.4 CRS术后复发PMP患者的MRI表现

CRS联合HIPEC是PMP的标准治疗策略,但术后复发率仍达20%~40%<sup>[6,20]</sup>。MRI在随访中可用于识别复发灶并区分病灶活性<sup>[24]</sup>。惰性黏液灶在T2WI呈均匀高信号、边界清楚,而活性复发灶则信号不均并伴分隔或壁成分改变<sup>[19,24]</sup>,增强后强化明显且延迟期持续存在<sup>[19,24]</sup>。DWI高信号伴ADC降低更支持活性肿瘤成分<sup>[28,33,35]</sup>;联合延迟增强与DWI可判断再次CRS的可行性<sup>[6,20,24]</sup>。MRI通常可早于血清标志物提示复发,从而为再干预决策争取窗口期<sup>[39]</sup>。动态监测中,ADC上升或强化减弱提示病灶

稳定化,持续低 ADC 或强化增强则提示潜在复发<sup>[24,26,28]</sup>。

## 4 MRI在临床决策中的作用与价值

### 4.1 诊断与鉴别诊断

MRI 凭借其更高的敏感性与特异性已成为 PMP 的诊断的重要工具以弥补 CT 在判读不典型病灶、发现低负荷腹膜种植及区分病灶成分等方面的不足<sup>[5,11,19,24]</sup>。T2WI 高信号黏液区、扇贝征及分隔结构的同时存在,是区别于其他腹膜病变的典型组合征象<sup>[5,24-25]</sup>。与 CT 相比,MRI 在识别低密度黏液、细微分隔及浅表腹膜压迹方面更为敏感,可提高早期或低负荷病变检出率<sup>[15,17,27]</sup>。此外,DWI 和 ADC 图在识别细胞性成分及纤维化程度方面具有独到价值,可辅助区分低级别与高级别病变<sup>[19,28]</sup>。

鉴别诊断上,腹膜癌常表现为腹膜实性结节伴明显强化及脏器浸润,而 PMP 以黏液为主,渐进性强化;腹膜结核常见腹膜增厚伴腹水,但缺乏层状分隔与“扇贝征”;腹膜间皮瘤多表现为广泛腹膜增厚或实性肿块;卵巢来源病变则多局限于盆腔,且与阑尾无解剖连续性<sup>[31,33,38,40]</sup>。近年来,多模态 MRI 结合临床病史及肿瘤标志物分析已成为提高诊断准确率的关键策略<sup>[5,19]</sup>。

### 4.2 术前评估与分期

MRI 在 PMP 术前评估中的核心价值不仅在于 PCI 估计,更应被视为病灶范围评估、可切除性判断及分层管理的综合工具<sup>[17,24-25,27]</sup>。研究显示,其对 PCI 的预测准确性优于 CT,尤其在膈下、肝包膜及小肠系膜区更具优势<sup>[17,27,41]</sup>。DWI 联合延迟增强序列有助于判断病灶可切除性<sup>[18,24,28]</sup>,其定量参数 ADC 值亦可提示病理分级<sup>[19,27,32]</sup>,为个体化治疗策略提供依据<sup>[5,22]</sup>。

### 4.3 治疗反应监测与随访

MRI 亦是 PMP 术后随访的关键影像学手段。相比血清肿瘤标志物,MRI 在早期复发检测中具有更高敏感性和特异性<sup>[39]</sup>。延迟增强序列可敏感显示残余或复发性黏液沉积,DWI 有助于鉴别术后炎性渗出与活性病灶<sup>[24,27-28]</sup>。随访中的黏液信号、分隔结构及 ADC 值变化可作为疗效反应的影像学指标,使 MRI 能进一步承担起动态风险监测及复发模式识别的角色,为长期管理提供依据<sup>[24,39]</sup>。GOVAERTS 等<sup>[2]</sup>

和 JOHN 等<sup>[12]</sup>的研究进一步支持,将 MRI 纳入多模态影像评估体系可显著优化术后监测路径,减少不必要的再手术与 CT 辐射剂量。

## 5 挑战、前沿与未来方向

### 5.1 MRI 当前挑战与局限性

尽管 MRI 在 PMP 的病变识别、病理预测及术前评估中发挥了不可替代的作用,但仍存在多方面局限。首先技术层面,多参数 MRI 流程复杂且缺乏统一标准,限制了定量指标的跨机构可比性<sup>[17,24,28]</sup>。呼吸、胃肠蠕动等运动伪影可以降低 DWI 与增强序列信噪比,影响病灶边界及分隔显示<sup>[24,26,28]</sup>。此外,检查耗时长、费用高,且成像需要患者密切配合等因素,制约了其广泛推广<sup>[17,24-25]</sup>。研究层面,功能成像参数与组织学特征的定量关联尚缺大样本多中心验证,ADC 值及动态增强参数在术前预测和疗效评估中的价值仍有待前瞻性研究进一步确证<sup>[17,20,24,27]</sup>。

### 5.2 技术前沿与展望

近年来,PMP 的 MRI 应用由形态学征象识别逐步转向面向临床决策的定量评估与流程化管理。其中 MRI 结合 DWI 与增强等多参数信息,为关键区域受累判定与病灶活性评估提供更充分依据<sup>[12,24]</sup>。未来发展重要方向之一是在确保扫描流程标准化与结果可重复的基础上,推动 MRI 由形态学可视化向量化测量、预测性评估与自动化分析转变<sup>[24]</sup>。

影像组学与人工智能是当前具有潜力的发展方向。现已有基于 CT 的 PMP 放射组学及临床预测模型,但基于 MRI 的人工智能的预测模型仍相对有限<sup>[42-44]</sup>。尽管如此,腹膜转移领域的研究已表明,基于 MRI 的放射组学和人工智能模型可用于病灶检出、预后评估和决策支持<sup>[45]</sup>。此外,人工智能的应用不应局限于单次检查结果判读,MRI 可同时提供病灶空间分布、有关动态与功能信息,这为建立纵向复发监测和再干预决策模型提供了基础<sup>[24,26,28]</sup>。未来应开展以关键临床结局为终点的多中心前瞻性研究,系统验证多模态 MRI 与人工智能融合模型在真实世界中 PMP 术前决策与随访管理的临床增益<sup>[12,24,33,46-47]</sup>。

## 6 总结

MRI 在 PMP 的诊断、分期及术前评估中具有不

可替代的价值。通过多序列、多时相及功能成像的综合分析, MRI不仅能够准确显示病变范围,为术前PCI评估提供可靠依据,还可提示组织学特征,为病理分级预测提供参考。尽管当前仍存在推广应用不足与技术门槛较高等挑战,但随着影像组学、人工智能与影像-病理关联研究的持续发展, MRI有望在未来实现由定性描述向量化决策支持的跨越,为PMP的精准诊疗提供更为坚实的影像基础。

#### 参考文献:

- [1] 李雁,许洪斌,彭正,等. 肿瘤细胞减灭术加腹腔热灌注化疗治疗腹膜假黏液瘤专家共识[J]. 中华医学杂志, 2019, 99(20): 1527-1535.
- [2] GOVAERTS K, LURVINK R J, de HINGH I H J T, et al. Appendiceal tumours and pseudomyxoma peritonei: literature review with PSOGI/EURACAN clinical practice guidelines for diagnosis and treatment[J]. Eur J Surg Oncol, 2021, 47(1): 11-35.
- [3] CARR N J, CECIL T D, MOHAMED F, et al. A consensus for classification and pathologic reporting of pseudomyxoma peritonei and associated appendiceal neoplasia: the results of the peritoneal surface oncology group international (PSOGI) modified Delphi process[J]. Am J Surg Pathol, 2016, 40(1): 14-26.
- [4] DELHORME J B, VILLENEUVE L, BOUCHÉ O, et al. Appendiceal tumors and pseudomyxoma peritonei: French Intergroup Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatments and follow-up (RENAPE, RENAPATH, SNFGE, FFCO, GERCOR, UNICANCER, SFCO, SFED, SFRO, ACHBT, SFR)[J]. Dig Liver Dis, 2022, 54(1): 30-39.
- [5] JORGENSON L C, WANG S S, GROTZ T E, et al. Mucinous appendiceal neoplasms and pseudomyxoma peritonei: imaging features and current therapies[J]. Radiographics, 2025, 45(6): e240131.
- [6] AHMADI N, KOSTADINOV D, SAKATA S, et al. Managing recurrent pseudomyxoma peritonei in 430 patients after complete cytoreduction and HIPEC: a dilemma for patients and surgeons[J]. Ann Surg Oncol, 2021, 28(12): 7809-7820.
- [7] KUSAMURA S, BARRETTA F, YONEMURA Y, et al. The role of hyperthermic intraperitoneal chemotherapy in pseudomyxoma peritonei after cytoreductive surgery[J]. JAMA Surg, 2021, 156(3): e206363.
- [8] CHUA T C, MORAN B J, SUGARBAKER P H, et al. Early- and long-term outcome data of patients with pseudomyxoma peritonei from appendiceal origin treated by a strategy of cytoreductive surgery and hyperthermic intraperitoneal chemotherapy[J]. J Clin Oncol, 2012, 30(20): 2449-2456.
- [9] SINUKUMAR S, MEHTA S, AS R, et al. Analysis of clinical outcomes of pseudomyxoma peritonei from appendicular origin following cytoreductive surgery and hyperthermic intraperitoneal chemotherapy-a retrospective study from INDEPSO[J]. Indian J Surg Oncol, 2019, 10(S1): 65-70.
- [10] JACQUET P, SUGARBAKER P H. Clinical research methodologies in diagnosis and staging of patients with peritoneal carcinomatosis[J]. Cancer Treat Res, 1996, 82: 359-374.
- [11] van HOOSER A, WILLIAMS T R, MYERS D T. Mucinous appendiceal neoplasms: pathologic classification, clinical implications, imaging spectrum and mimics[J]. Abdom Radiol (NY), 2018, 43(11): 2913-2922.
- [12] JOHN V, MERCER J, KIM K, et al. The role of multimodality imaging in the selection and management of patients treated with cytoreductive surgery and HIPEC[J]. Abdom Radiol (NY), 2024, 49(12): 4352-4364.
- [13] 文益,廖锦堂,肖莹,等. 腹膜假性黏液瘤的超声表现与手术病理对照分析[J]. 临床超声医学杂志, 2012, 14(6): 395-397.
- [14] CHUA T C, AL-ZAHRANI A, SAXENA A, et al. Determining the association between preoperative computed tomography findings and postoperative outcomes after cytoreductive surgery and perioperative intraperitoneal chemotherapy for pseudomyxoma peritonei[J]. Ann Surg Oncol, 2011, 18(6): 1582-1589.
- [15] LAGHI A, BELLINI D, RENGO M, et al. Diagnostic performance of computed tomography and magnetic resonance imaging for detecting peritoneal metastases: systematic review and meta-analysis[J]. Radiol Med, 2017, 122(1): 1-15.
- [16] SUN P T, LI X B, WANG L L, et al. Enhanced computed tomography imaging features predict tumor grade in pseudomyxoma peritonei[J]. Quant Imaging Med Surg, 2022, 12(4): 2321-2331.
- [17] LOW R N, BARONE R M, LUCERO J. Comparison of MRI and CT for predicting the peritoneal cancer index (PCI) preoperatively in patients being considered for cytoreductive surgical procedures[J]. Ann Surg Oncol, 2015, 22(5): 1708-1715.
- [18] MENASSEL B, DUCLOS A, PASSOT G, et al. Preoperative CT and MRI prediction of non-resectability in patients treated for pseudomyxoma peritonei from mucinous appendiceal neoplasms[J]. Eur J Surg Oncol, 2016, 42(4): 558-566.
- [19] WEI P K, GUPTA M, TSAI L L, et al. Spectrum of MRI features of mucin-producing neoplasms in the abdomen and pelvis[J]. Radiographics, 2022, 42(2): 469-486.
- [20] LIN Y L, XU D Z, LI X B, et al. Consensuses and controversies on pseudomyxoma peritonei: a review of the published consensus statements and guidelines[J]. Orphanet J Rare Dis, 2021, 16(1): 85.
- [21] SOMMARIVA A, TONELLO M, RIGOTTO G, et al. Novel perspectives in pseudomyxoma peritonei treatment[J]. Cancers (Basel), 2021, 13(23): 5965.
- [22] LOW R N, BARONE R M, GURNEY J M, et al. Mucinous appendiceal neoplasms: preoperative MR staging and classification compared with surgical and histopathologic findings[J]. AJR Am J Roentgenol, 2008, 190(3): 656-665.
- [23] POLICI M, PALMERI F, GOLIA E, et al. CT and MR in peritoneal malignancies: pearls and pitfalls at preoperative

- examination[J]. *Insights Imaging*, 2025, 16(1): 171.
- [24] LOW R N, BARONE R M, ROUSSET P. Peritoneal MRI in patients undergoing cytoreductive surgery and HIPEC: history, clinical applications, and implementation[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2021, 47(1): 65-74.
- [25] LOW R N, BARONE R M, LACEY C, et al. Peritoneal tumor: MR imaging with dilute oral barium and intravenous gadolinium-containing contrast agents compared with unenhanced MR imaging and CT[J]. *Radiology*, 1997, 204(2): 513-520.
- [26] LOW R N, BARONE R M, DUGGAN B, et al. Detection of mesenteric tumor using dynamic contrast enhanced MRI[J]. *Ann Surg Oncol*, 2020, 27(7): 2525-2536.
- [27] LOW R N, BARONE R M. Combined diffusion-weighted and gadolinium-enhanced MRI can accurately predict the peritoneal cancer index preoperatively in patients being considered for cytoreductive surgical procedures[J]. *Ann Surg Oncol*, 2012, 19(5): 1394-1401.
- [28] LOW R N, SEBRECHTS C P, BARONE R M, et al. Diffusion-weighted MRI of peritoneal tumors: comparison with conventional MRI and surgical and histopathologic findings--a feasibility study[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2009, 193(2): 461-470.
- [29] RAPOSO RODRÍGUEZ L, FERNÁNDEZ GARCÍA N, TOVAR SALAZAR D J, et al. Imaging findings for mucinous tumors of the abdomen and pelvis[J]. *Radiologia (Engl Ed)*, 2019, 61(5): 370-387.
- [30] HIMOTO Y, KIDO A, FUJIMOTO K, et al. A case of pseudomyxoma peritonei: visualization of septa using diffusion-weighted images with low b values[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2016, 41(9): 1713-1717.
- [31] BARTLETT D J, THACKER P G J, GROTZ T E, et al. Mucinous appendiceal neoplasms: classification, imaging, and HIPEC[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(5): 1686-1702.
- [32] TIRUMANI S H, FRASER-HILL M, AUER R, et al. Mucinous neoplasms of the appendix: a current comprehensive clinicopathologic and imaging review[J]. *Cancer Imaging*, 2013, 13(1): 14-25.
- [33] ENGBERSEN M P, RIJSEMUS C J V, NEDEREND J, et al. Dedicated MRI staging versus surgical staging of peritoneal metastases in colorectal cancer patients considered for CRS-HIPEC; the DISCO randomized multicenter trial[J]. *BMC Cancer*, 2021, 21(1): 464.
- [34] BUY J N, MALBEC L, GHOSAIN M A, et al. Magnetic resonance imaging of pseudomyxoma peritonei[J]. *Eur J Radiol*, 1989, 9(2): 115-118.
- [35] ENGBERSEN M P, van' T SANT I, LOK C, et al. MRI with diffusion-weighted imaging to predict feasibility of complete cytoreduction with the peritoneal cancer index (PCI) in advanced stage ovarian cancer patients[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 114: 146-151.
- [36] 邢建明, 刘冬, 胡春洪, 等. 腹膜假性黏液瘤影像学特征及其与 EMA 关系的研究[J]. *临床放射学杂志*, 2019, 38(10): 1891-1894.
- [37] 于海涛, 胡智军, 董健. 腹膜假黏液瘤影像诊断价值(附 25 例分析)[J]. *医学影像学杂志*, 2011, 21(6): 877-880.
- [38] LEVY A D, SHAW J C, SOBIN L H. Secondary tumors and tumorlike lesions of the peritoneal cavity: imaging features with pathologic correlation[J]. *Radiographics*, 2009, 29(2): 347-373.
- [39] LOW R N, BARONE R M, LEE M J. Surveillance MR imaging is superior to serum tumor markers for detecting early tumor recurrence in patients with appendiceal cancer treated with surgical cytoreduction and HIPEC[J]. *Ann Surg Oncol*, 2013, 20(4): 1074-1081.
- [40] CAMPOS N M F, ALMEIDA V, CURVO SEMEDO L. Peritoneal disease: key imaging findings that help in the differential diagnosis[J]. *Br J Radiol*, 2022, 95(1130): 20210346.
- [41] CHIA C S, WONG L C K, HENNEDIGE T P, et al. Prospective comparison of the performance of MRI versus CT in the detection and evaluation of peritoneal surface malignancies[J]. *Cancers (Basel)*, 2022, 14(13): 317.
- [42] ZHOU N, DOU R X, ZHAI X C, et al. Radiomics analysis based on CT's greater omental caking for predicting pathological grading of pseudomyxoma peritonei[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 4401.
- [43] BAI D, SHI G J, LIANG Y Z, et al. A radiomics-based interpretable model integrating delayed-phase CT and clinical features for predicting the pathological grade of appendiceal pseudomyxoma peritonei[J]. *BMC Med Imaging*, 2025, 25(1): 300.
- [44] BAI M J, FENG J, LIU J, et al. Prediction of preoperative peritoneal cancer index for pseudomyxoma peritonei by multiple linear regression analysis[J]. *Front Mol Biosci*, 2024, 11: 1512937.
- [45] XU Z Y, LI X T, LIU Y, et al. Development and validation of a Site-Specific tumor burden score for predicting surgical outcomes in advanced ovarian cancer[J]. *Cancers (Basel)*, 2025, 17(22): 3649.
- [46] FLEURKENS-EWALS L J S, TOPS-WELTEN M, CLAESSENS C H B, et al. Artificial intelligence and radiomics models for the diagnosis and prognosis of peritoneal metastases on imaging: a systematic review and meta-analysis[J]. *Comput Biol Med*, 2025, 198(Pt B): 111188.
- [47] LIN Q F, CHEN C, LI K S, et al. A deep-learning model to predict the completeness of cytoreductive surgery in colorectal cancer with peritoneal metastasis[J]. *Eur J Surg Oncol*, 2025, 51(7): 109760.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 李梓萌, 龙学颖, 吴畏. 腹膜假黏液瘤的多模态磁共振表现与临床价值[J]. *中国现代医学杂志*, 2026, 36(9): 49-56.

Cite this article as: LI Z M, LONG X Y, WU W. Multimodal MRI features and clinical value in pseudomyxoma peritonei[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2026, 36(9): 49-56.