

· 腹部影像学 ·

多期增强联合 iShim-DWI 与 T₂WI 对 T1 和 T2 期直肠癌术前分期的对照研究

张风光, 杨开兰, 张宏凯, 赵可可, 高朋瑞, 杜峰, 白冰妹, 黎海亮, 曲金荣

【摘要】 目的:比较磁共振多期增强联合 iShim-DWI 与 T₂WI 对 T1 和 T2 期直肠癌术前分期的价值。**方法:**回顾性分析本院 2020 年 1 月—2021 年 12 月经病理证实的 122 例 T1 和 T2 期直肠癌患者的 MRI 表现。由两名具有 10 年以上腹盆部 MRI 诊断经验的医师分别采用多期增强联合 iShim-DWI 与 T₂WI 进行 MRI 的 T 分期评价, 并进行一致性分析。对直肠癌 MRI T 分期结果与术后病理 T 分期结果进行 χ^2 检验对照分析, 并结合受试者操作特征(ROC)曲线分析两种方式对直肠癌 T 分期的诊断效能(诊断符合率、敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值)。**结果:**动态增强联合 iShim-DWI 与单独 T₂WI 对 T1、T2 期直肠癌诊断符合率对比分别为 87.7% vs. 62.3%、85.2% vs. 46.7%, 差异具有统计学意义($P < 0.05$)。多期增强联合 iShim-DWI 与单独 T₂WI 对 T1 期直肠癌敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 77.3% vs. 13.2%、95.7% vs. 100%、93.1% vs. 100%、84.6% vs. 60.0%; 而对 T2 期直肠癌敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 85.5% vs. 58.0%、84.9% vs. 67.9%、88.1% vs. 52.6%、81.8% vs. 37.0%。多期增强联合 iShim-DWI 与单独 T₂WI 对 T1、T2 期直肠癌术前诊断的曲线下面积分别为 0.865 vs. 0.566、0.852 vs. 0.450。**结论:**磁共振多期增强联合 iShim-DWI 对直肠癌 T1 和 T2 期的诊断效能高于 T₂WI, 对直肠癌手术方式的选择有重要指导意义。

【关键词】 直肠肿瘤; 磁共振成像; 对比研究; T 分期

【中图分类号】 R445.2; R735.37 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)11-1423-06

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.11.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Comparative study of dynamic contrast-enhanced MRI with iShim-DWI and T₂WI for preoperative staging of T1 and T2 rectal cancer ZHANG Feng-guang, YANG Kai-lan, ZHANG Hong-kai, et al. Department of Radiology, the Affiliated Cancer Hospital of Zhengzhou University & Henan Cancer Hospital, Zhengzhou 450008, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of dynamic contrast-enhanced (DCE) MRI with iShim-DWI and T₂WI for preoperative staging of rectal cancer patients with T1 and T2 stage. **Methods:** All 122 cases of pathologically confirmed T1 and T2 stage rectal cancer were retrospectively analyzed with MRI features between January 2020 and December 2021. Two radiologists with more than 10 years experience of abdominal and pelvic MRI image interpretation performed MRI T staging using multi-phase enhanced MRI with iShim-DWI and T₂WI, respectively, and consistency analysis was performed. The results of MRI T staging and postoperative pathological T staging were analyzed by χ^2 test, and the diagnostic accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) of the two methods for T staging were analyzed by using ROC curves analysis. **Results:** The diagnostic accuracy of DCE MRI combined with iShim-DWI and T₂WI for T1 and T2 rectal cancer were 87.7% vs. 62.3%、85.2% vs. 46.7%, with significant difference ($P < 0.05$). The sensitivity, specificity, PPV and NPV of DCE MRI+iShim-DWI and conventional T₂WI alone were 77.3% vs. 13.2%、95.7% vs. 100%、93.1% vs. 100%、84.6% vs. 60.0% for T1 stage, and 85.5% vs. 58.0%、84.9% vs. 67.9%、88.1% vs. 52.6%、81.8% vs. 37.0% for T2 stage, respectively. Additionally, the area

作者单位: 450008 郑州, 郑州大学附属肿瘤医院, 河南省肿瘤医院放射科

作者简介: 张风光(1978—), 男, 河南省郸城县人, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者: 曲金荣, E-mail: qjryq@126.com

基金项目: 河南省中青年卫生健康科技创新人才培养项目(YXKC2020011); 河南省医学科技攻关计划省部共建重点项目(SB-GJ202002021)

under the ROC were 0.865 vs. 0.566, 0.852 vs. 0.450 for T1 and T2 stage, respectively. **Conclusion:** The diagnostic efficacy of DCE MRI combined with iShim-DWI for T1 and T2 staging of rectal cancer is higher than that of conventional T₂WI alone, providing important information of surgical planning.

【Key words】 Rectal neoplasmas; Magnetic resonance imaging; Comparative study; T staging

目前,全直肠系膜切除术(total mesorectal excision, TME)仍是治疗直肠癌的标准术式,辅以放化疗可显著降低肿瘤复发率^[1]。临床上 T 分期为 T2 期的直肠癌患者,首选治疗方式是直接行手术切除;而部分 T1 期患者可选择内镜下粘膜切除术或经肛门内镜显微术,从而保留患者肠道功能,降低手术带来的损伤^[2]。因此直肠癌术前 T1 和 T2 期准确分期对手术治疗方式的选择有重要的指导意义。MRI 是对直肠癌原发肿瘤进行术前分期的重要影像学检查^[3-4],主要采用小视野(FOV)不压脂 T₂WI 作为分期的主要依据,而多期增强扫描及 DWI 通常仅为参考序列。因为目前的影像检查无论是 MRI 还是腔内超声均不能提供完全准确的分期,如腔内超声仅对于 T2 期以内小肿瘤有优势,而 MRI 判读 T3 分期存在过分期的可能^[5]。最近 Wan 等^[6]研究发现由于直肠粘膜下层有丰富的血管结构,增强扫描后可见强化的血管主干,只要其存在,至少说明肿瘤没有侵透粘膜下层,有助于 T1 期诊断,对 T0~T1、T2 期总的准确率可提高到 87%。DWI 通过探测水分子的运动情况反映其在人体内的扩散程度,细胞间水分子的扩散程度是否受限反映了组织结构的致密性,目前已广泛应用于肿瘤的术前检测及疗效评估等^[7]。但传统 DWI 易受肠蠕动伪影和磁敏感伪影的干扰,应用于肠道检查时价值有限。近年来研究表明,单层动态匀场技术(integrated slice-specific dynamic shimming, iShim)在扫描过程中可实时优化每层图像的磁场均匀性,能够有效提高图像分辨率及改善图像变形。因此,本研究进一步探讨动态增强联合 iShim-DWI 在鉴别 T1 和 T2 期直肠癌中的诊断价值,并与单独使用 T₂WI 的评价结果进行对照研究,进一步提高直肠癌术前 T1 与 T2 期分期的准确性,有利于手术方式的选择。

材料与方法

1. 入组资料

回顾性筛选 2020 年 1 月—2021 年 12 月本院经术前肠镜活检病理证实的直肠癌患者,本研究经本院伦理委员会批准,知情同意书可以免除。入组标准为:①患者行磁共振 T₂WI、iShim-DWI、多期增强检查,各序列图像满足诊断需求;②临床资料及术后病理完整;③术前未做相关治疗;④MRI 检查前 2 天内未做肠镜下活检;⑤术前肠镜活检病理证实的直肠癌。

排除不能在 MRI 检查后 2 周内行手术治疗的患者 and 所有术后大体病理证实为非直肠癌患者。本研究最终纳入患者 122 例,男 75 例,女 47 例;年龄 34~77 岁,平均(48.5±9.0)岁;术后大体病理结果为绒毛状/管状腺瘤伴高级别上皮内瘤变,局灶癌变 8 例,隆起型腺癌 83 例,溃疡型腺癌 31 例;病理分期 T1 期 53 例, T2 期 69 例,其中侵犯浅肌层 39 例,侵犯深肌层 30 例。

2. MRI 检查

采用 3.0T MR 扫描仪(MAGNETOM Skyra, Siemens Healthcare, Erlangen, Germany),使用腹部 8 通道相控线圈,所有患者在检查前 12 h 清肠准备,检查前 15~20 min 肌注 10 mg 盐酸山莨菪碱注射液,并确认患者无相关禁忌症。

先行常规 T₂WI 扫描,后行 iShim-DWI 扫描。具体扫描参数为:横轴面常规 T₂WI, TR 10000 ms, TE 123 ms, FOV 260 mm×260 mm, 体素 0.87 mm×0.68 mm×4.0 mm; iShim-DWI, TR 5200 ms, TE 68 ms, FOV 220 mm×220 mm, 体素 1.7 mm×1.7 mm×4.0 mm; T₁ VIBE 多期增强, TR 3.41 ms, TE 1.33 ms, FOV 380 mm×380 mm, 体素 1.1 mm×1.1 mm×2.4 mm, 层厚 2.4 mm, 期相为 8 期,注入对比剂后 20 s 开始连续扫描 2 个动脉期、间隔 20 s 后连续扫描 2 个静脉期、间隔 20 s、20 s、30 s 扫描 3 个延迟期,多期增强扫描时间约 192 s。增强扫描经肘静脉注入 Gd-DTPA 15 mL, 流率 2.5 mL/s。

3. MRI 图像分析

由具有 10 年以上腹盆部 MRI 影像诊断经验的影像科医师在不知病理分期结果的情况下独立分别对 T₂WI、动态增强联合 iShim-DWI 进行分析,每位医师先独立阅读 T₂WI 图像,至少间隔 7 天后阅读动态增强和 iShim-DWI 图像;然后,两位医师一起共同协商阅片,采集统一意见为最终分期结果,并将分期结果与术后病理分期进行对照分析,同时有一位病理医师进行病理图片解读。根据第 7 版美国癌症联合委员会(American Joint Committee on Cancer, AJCC)发布的直肠癌 TNM 分级系统来评价^[8]。T 分期:T1 期肿瘤侵犯黏膜下层, T2 期为肿瘤侵犯肌层但未突破肌层, T3 期为肿瘤突破肌层浸润直肠系膜但未侵犯直肠筋膜, T4 期为肿瘤侵犯直肠筋膜或周围器官。MRI 根据肿瘤信号侵犯肠壁深度及肌层外侵犯情况来分期。

具体图像评价指标包括:T₂WI 高信号的粘膜下

层是否完整, T₂WI 上固有肌层的低信号是否中断, 肠壁外缘是否光整; DWI 序列观察病变基底低信号主干是否存在及完整, 低信号粘膜下层是否完整, 直肠肌层是否完整连续; 多期增强图像选择延迟期图像为主进行评价, 评价欠满意时结合动脉期及门脉期图像。增强扫描序列评价包括病变粘膜下强化条纹是否存在及完整, 肌层信号是否完整。另外观察病变形态(隆起型及扁平型), 肿瘤在各序列所显示的信号特征。

4. 统计分析

所有数据采用 SPSS 17.0 统计软件进行分析, 使用 Kappa 一致性检验评估两位放射科医师对 T 分期的一致性(kappa 值为 0~0.20 一致性较差; 0.21~0.40 一致性一般; 0.41~0.60 一致性中等; 0.61~0.80 一致性较好; 0.81~1.00 一致性非常好)。直肠癌 MRI 的 T 分期结果与术后病理 T 分期结果进行对照, 分别计算动态增强联合 iShim-DWI, 单独 T₂WI 对直肠癌 T 分期诊断符合率以及诊断敏感度、特异度、阳性预测值(positive predictive value, PPV)、阴性预测值(negative predictive value, NPV)。采用 χ^2 检验比较两种技术诊断符合率差异, $P < 0.05$ 为检验标准。采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析比较 T₂WI 与多期增强联合 iShim-DWI 对 T 分期的准确性。

结果

两位放射科医师采用多期增强联合 iShim-DWI 评估直肠癌的 T 分期时一致性非常好(Kappa 值 = 0.852, $P < 0.001$), 在单独使用 T₂WI 进行 T 分期时, 两者放射科医师评估结果的一致性也非常好(Kappa 值 = 0.836, $P < 0.001$)。

122 例直肠癌病变在常规 T₂WI 呈稍高或稍低信号, 较粘膜下层信号低, 较粘膜层信号高, 在 DWI 序列呈中高信号, 在动态增强序列早期中度强化, 部分明显强化, 延迟期信号减低或呈等信号。122 例病例中, T1 期增强序列显示粘膜下强化条纹 37 例, DWI 序列显

示病变基底低信号主干存在 30 例。

T₂WI 术前诊断 T1 期直肠癌的诊断符合率为 62.3%, 其中 46 例过高分期; 增强联合 iShim-DWI 序列术前诊断 T1 期直肠癌的诊断符合率为 87.7%, 其中 12 例过高分期, 两者的诊断符合率差异有统计学意义($\chi^2 = 44.01, P < 0.05$, 表 1)。T₂WI 术前诊断 T2 期直肠癌的诊断符合率为 46.7%, 其中 29 例过高分期; 增强联合 iShim-DWI 序列术前诊断 T2 期直肠癌的诊断符合率为 85.2%, 其中 7 例过高分期, 3 例被低估, 两种技术的诊断符合率差异有统计学意义($\chi^2 = 12.90, P < 0.05$, 表 1)。

增强联合 iShim-DWI、T₂WI 对直肠癌 MRI 的 T1、T2 分期敏感度、特异度、PPV、NPV 见表 1, 动态增强联合 iShim-DWI 与常规 T₂WI 诊断 T1 分期的 ROC 曲线下面积分别为 0.865(95%CI: 0.792~0.939) 和 0.566(95%CI: 0.462~0.670), 诊断 T2 分期的 ROC 曲线下面积分别为 0.852(95%CI: 0.778~0.926) 和 0.450(95%CI: 0.347~0.553), 见图 3、4。增强联合 iShim-DWI 曲线下面积均大于 T₂WI。

讨论

直肠癌是临床上常见的恶性肿瘤之一, 患者的死亡率降低与早期筛查诊断、治疗方式完善有着直接联系^[9-10]。T 分期作为直肠癌预后的独立影响因素之一, 直接决定临床治疗方案的选择^[11]。MRI 具有极好的软组织分辨率及多序列、多参数、多平面成像的优势, 在判断肿瘤侵犯深度、淋巴结转移、系膜筋膜浸润情况及肠壁外血管侵犯等方面均优于其他检查。但 MRI 在肿瘤接近或是侵犯分期临界面时(粘膜下层与肌层、肌层与肠周脂肪)判断有一定难度^[12], MRI 直肠癌 T1 期与早期 T2 期的鉴别是 T 分期的难点之一。

目前直肠癌 MRI 分期主要采用小 FOV 不压脂 T₂WI 序列作为分期的主要依据^[13,14], 其图像显示低信号的粘膜、肌层与中高信号粘膜下层及周围高信号脂肪背景形成良好对比, 同时病变呈稍低信号; 粘膜下

表 1 多期增强联合 iShim-DWI 与 T₂WI 对直肠癌 T 分期的结果

MRI 分期	病理分期/例				敏感度 /%	特异度 /%	PPV /%	NPV /%	符合率 /%
	T1	T2	T3	T4					
多期增强联合 iShim-DWI									
T1	41	3	0	0	77.3	95.7	93.1	84.6	87.7
T2	8	59	0	0	85.5	84.9	88.1	81.8	85.2
T3	4	7	0	0					
T4	0	0	0	0					
T ₂ WI									
T1	7	0	0	0	13.2	100.0	100.0	60.0	62.3
T2	36	40	0	0	58.0	67.9	52.6	37.0	46.7
T3	10	26	0	0					
T4	0	3	0	0					

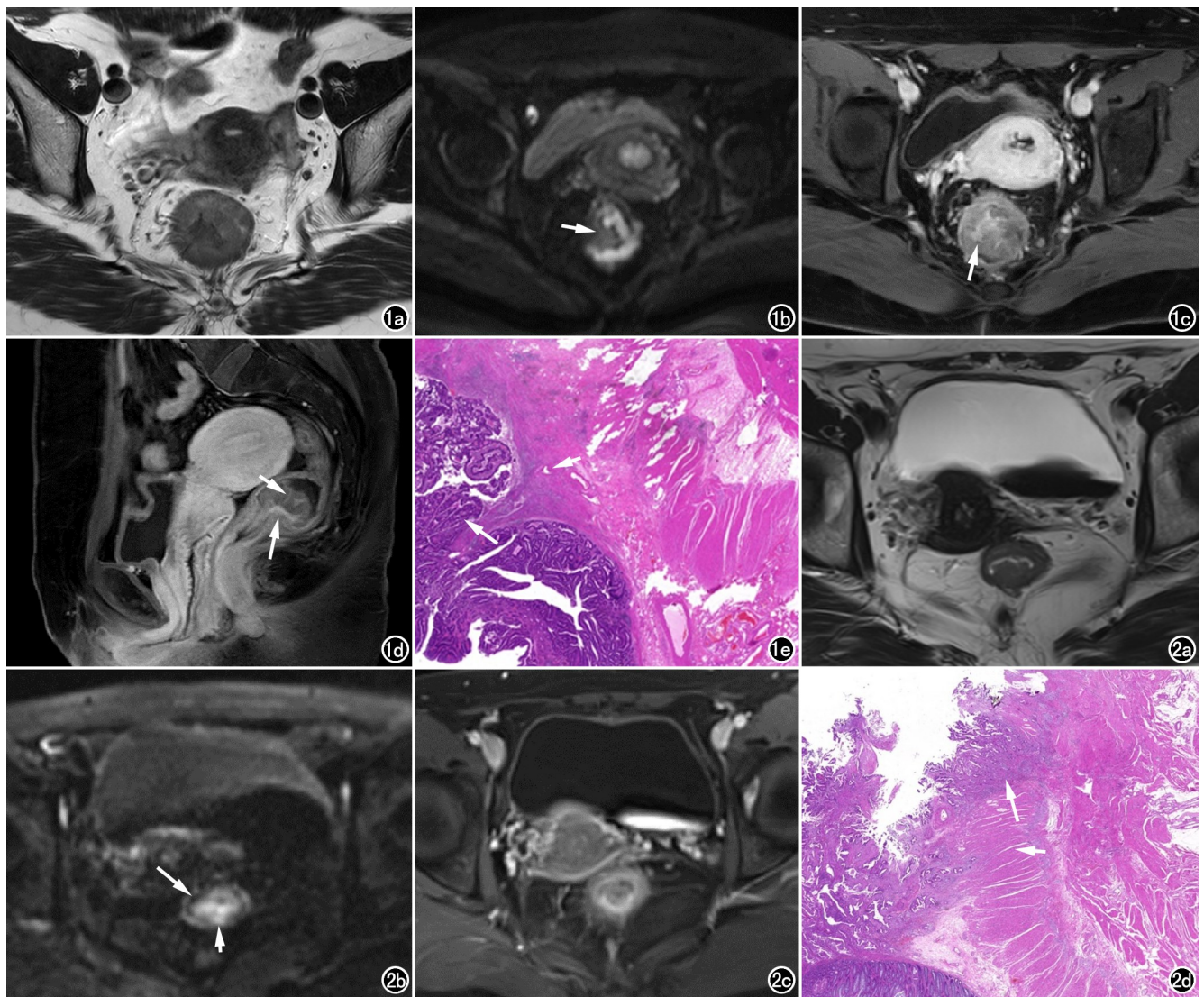


图 1 a) T_2 WI 横轴面示管壁增厚呈软组织影,管壁边缘毛糙,周围可见索条影,同时粘膜下高信号影显示不清,对粘膜下及肌层侵犯不易判断;b) DWI(b 值 = 800 s/mm^2) 示病变扩散受限呈中高信号,肌层边缘连续,根部可见低信号影(箭),提示粘膜下层血管及纤维脂肪组织;c) 增强横轴面示肌层边缘连续,可见粘膜下强化条纹影(箭);d) 增强矢状面示肌层边缘连续,可见粘膜下强化条纹影(长箭),部分可见二级分支(短箭),说明肿瘤没有浸透粘膜下层,提示 T1 期;e) 镜下见肿瘤细胞(长箭)侵及粘膜下层(短箭,HE, $\times 100$)。

图 2 a) T_2 WI 横轴面示管壁不均匀增厚,管壁边缘毛糙,周围可见索条影,对粘膜下及肌层侵犯不易判断;b) DWI(b 值 = 800 s/mm^2) 示病变扩散受限呈中高信号,粘膜下层呈低信号(长箭),肌层边缘连续,局部低信号粘膜下层中断不连续(短箭),提示侵及肌层;c) 增强横轴面示病变呈稍低信号,肌层边缘完整,结合 DWI,提示 T2 期;d) 镜下见肿瘤细胞(长箭)侵及肌层(短箭,HE, $\times 100$)。

层高信号的存在及肌层低信号的连续性是在 T_2 WI 上区分 T1 与 T2 期的主要鉴别点。但对于部分接受化疗治疗的患者,由于治疗后肿瘤周围的炎性水肿、纤维化等因素影响,会增加误判的可能性^[15-16],肿瘤周围的炎症反应、局部纤维化在 MRI 上可表现为与肿瘤浸润突破肠壁类似的征象^[17]。此外, T2 期肿瘤边缘常出现条索状、毛刺状等异常信号与肿瘤实性成分难以区分,这是由于促纤维增生性反应所致,同时由于扫描角度、人为评价误差、固有肌层血管穿行等因素,导致

肌层边缘不连续,往往导致过高分期;当粘膜水肿时, T_2 WI 粘膜下高信号增宽显示较好,当粘膜下层较薄时,高信号连续性显示不佳,肿瘤 T1 期诊断困难。在肌层连续的情况下,肿块比较大,如病变位于粘膜下与肌层分界不清的情况下, T1 与 T2 鉴别困难。本研究中 T1 期中有 36 例高估为 T2 期,主要由于粘膜下层高信号显示模糊,与浅肌层分界不清; T1 期中有 10 例、T2 期中有 26 例高估为 T3 期,主要由于肿瘤周围炎性条索、扫描层面未能垂直病变导致肌层信号模糊

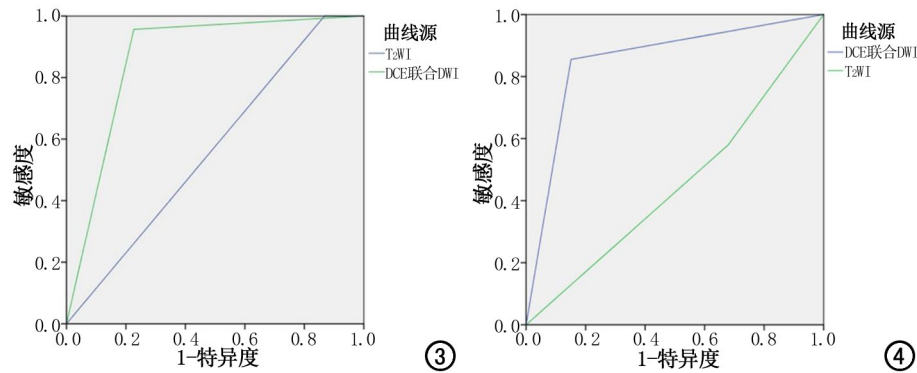


图3 动态增强联合 DWI-iShim 与常规 T₂WI 诊断 T1 分期的 ROC 曲线。ROC 曲线下面积分别为 0.865 和 0.566。图4 动态增强联合 DWI-iShim 与常规 T₂WI 诊断 T2 分期的 ROC 曲线。ROC 曲线下面积分别为 0.852 和 0.450。

不连续,从而导致过高分期。

由于直肠粘膜下层有丰富的血管结构,增强扫描后可见强化的血管主干,只要其存在,至少说明肿瘤没有浸透粘膜下层,有利于对 T1 期诊断;同时肌层外纤维组织增强后往往呈延迟强化,而肿瘤组织信号减低,有利于对 T2 期诊断,避免过高分期。本研究中 53 例 T1 期病变中增强序列显示粘膜下强化条纹征象 37 例,均与大体病理分期相符合。但增强扫描也有其局限性,直肠病变、粘膜下层强化程度有时同肌层,不易区分,肌层边缘不一定显示完整。单独使用时对 T2 期有时易高估为 T3 期;另外由于强化的肌层折入病变基底部时,单独使用易误认为粘膜下强化条纹,造成低估为 T1 期,本研究中有 3 例 T2 期低估为 T1 期。另外粘膜下增强条纹对隆起型病变显示较为清晰,对肠壁局限性增厚病变显示欠佳。本研究中动态增强联合 iShim-DWI 序列术前直肠癌 T1 分期诊断符合率为 87.7%,与文献中^[6]研究结果基本一致。

DWI 为现阶段唯一观察活体水分子微观运动的成像方式^[18-19],通过测定水分子扩散情况反映细胞组织、细胞膜完整性。与纤维增生组织相比,肿瘤组织由于肿瘤细胞的过度异常增殖,肿瘤实质细胞密度更高,间隙更小,在 DWI 序列中呈明显高信号,有助于区分肿瘤纤维化与直肠周围间隙中促纤维增生反应。同时直肠粘膜下层在 DWI 序列上呈低信号,其病理基础主要是血管及间质、脂肪组织成分为主,有利于辅助增强序列判断血管主干完整性;另外在 DWI 序列上肿瘤实质为高信号,粘膜及肠腔粘液呈中高信号,肌层稍低信号,粘膜下层呈低信号,病变与粘膜下层、肌层信号存在明显差异,有利于判断其是否受侵,增强 T1 及 T2 期鉴别敏感度。

传统 DWI 序列应用于肠道检查时,易受肠蠕动伪

影及磁敏感伪影干扰,导致图像质量不佳及图像变形。iShim-DWI 是在常规单次激发 EPI 序列的基础上采用逐层动态匀场的方式,使采集区域 B1 场均匀度大幅提高,降低了相邻两种磁化率差别较大的组织引起的磁敏感伪影,明显提高了图像的成像质量,很大程度上改善了图像的几何变形和减轻了伪影。目前,iShim 在乳腺、前列腺、膀胱、肾脏、甲状腺和全身扩散方面有较多的研究和较好的图像质量^[20-24],然而在直肠癌诊断图像质量方面的报道较少。本研究采用 iShim-DWI 技术,使病变

及粘膜下低信号显示更加清晰,有效提高图像分辨率及改善图像变形。DWI 和增强序列联合应用,可以明显提高 T1 和 T2 期诊断。笔者认为,在肌层连续的情况下,如没有出现粘膜下强化带及 DWI 低信号主干,倾向于提示 T2 期诊断可能性,如出现则提示 T1 期诊断可能性。DWI 粘膜下低信号存在(图 1、2)提示至少没有侵及肌层。另外 DWI 序列对显示肌层边缘连续性效果较好,可弥补增强序列不足,有助于 T2 期鉴别。本研究中 4 例增强序列粘膜下条纹主干显示不清,DWI 序列弥补其不足,清晰显示粘膜下低信号轮廓,纠正分期,提高 T1 期诊断符合率。但部分病例中也存在 DWI 序列粘膜下低信号显示模糊,而增强扫描序列粘膜下强化条纹显示较清晰,二者互相弥补,增强鉴别敏感度。

本研究 ROC 曲线分析(图 3、4)提示,增强联合 iShim-DWI 对直肠癌 T1、T2 分期的诊断效能高于常规 T₂WI,对直肠癌 MRI 的 T1 分期敏感度、NPV、符合率高于 T₂WI,对直肠癌 MRI 的 T2 分期敏感度、特异度、PPV、NPV、符合率高于 T₂WI。

本研究也有一定的局限性:增强序列显示的粘膜下条纹主干及 DWI 显示的粘膜下条状低信号影的存在对病变是否局限于粘膜层鉴别能力有限,仅能提示至少没有浸透粘膜下层,粘膜下血管主干及二级血管分支完整可能提示病变局限于粘膜层,由于例数较少尚需要进一步研究。另外,本研究中 T1 期病例相对较少,需要加大样本量进一步研究证实。

综上所述,与 T₂WI 相比,磁共振多期增强联合 iShim-DWI 有助于提高直肠癌 T1 及 T2 期分期的准确性,可作为直肠癌 T 分期的主要参考序列,对手术治疗方式的选择有重要的指导意义,有助于改善临床个体化治疗策略。

参考文献:

- [1] 何流,肖毅.经肛门全直肠系膜切除术在直肠癌根治中的应用[J].中华胃肠外科杂志,2017,20(8):957-960.
- [2] 韩加刚,王振军.低位直肠癌保肛手术方式选择[J].中国实用外科杂志,2019,39(7):676-680.
- [3] Glynne-Jones R, Wyrwicz L, Tiret E, et al. Rectal cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up [J]. Ann Oncol, 2017, 28(4): 22-40.
- [4] Valentini V, Aristei C, Glimelius B, et al. Multidisciplinary rectal cancer management: 2nd European Rectal Cancer Consensus Conference (EURECA-CC2) [J]. Radiother Oncol, 2009, 92(2): 148-63.
- [5] 孙应实.局部进展期直肠癌新辅助治疗疗效精准影像学评估-从图像到图像背后的隐藏大数据[J].中华放射学杂志, 2021, 55(11): 1117-1120.
- [6] Wan LJ, Liu Y, Zhang HM, et al. Submucosal enhancing stripe as a contrast material-enhanced MRI-based imaging feature for the differentiation of stage T0-T1 from early T2 rectal cancers [J]. Radiology, 2021, 298(1): 93-101.
- [7] Koh DM, Collins DJ. Diffusion-weighted MRI in the body: applications and challenges in oncology [J]. AJR, 2007, 188(6): 1622-1635.
- [8] Edge SB, Compton CC. The American Joint Committee on Cancer: the 7th Edition of the AJCC cancer staging manual and the future of TNM [J]. Ann Surg Oncol, 2010, 17(6): 1471-1474.
- [9] Feng RM, Zong YN, Cao SM, et al. Current cancer situation in China: good or bad news from the 2018 Global Cancer Statistics? [J]. Cancer Commun, 2019, 39(1): 131-136.
- [10] 肖琳,欧荣册.磁共振扩散加权成像 ADC 值与直肠癌分化程度及 T 分期的相关性分析[J].中国 CT 和 MRI 杂志, 2019, 17(8): 137-139.
- [11] Horvat N, Carlos TRC, Clemente OB, et al. MRI of rectal cancer: tumor staging, imaging techniques, and management [J]. Radiographics, 2019, 39(2): 367-387.
- [12] 张晓鹏,孙应实. MRI 在直肠癌 TNM 分期诊断中的应用[J].中华外科杂志, 2009, 47(13): 978-980.
- [13] 胡飞翔,岳亚丽,彭卫军,等. DWI 联合 T₂WI 在鉴别 T2 和 T3 期直肠癌术前分期中的应用价值[J].放射学实践, 2021, 36(4): 507-513.
- [14] 王进,李智慧,沈浮,等.基于高分辨 T₂WI 的影像组学对直肠癌术前分期的应用价值[J].放射学实践, 2019, 34(11): 1251-1254.
- [15] Dresen RC, Beets GL, Rutten HJ, et al. Locally advanced rectal cancer: MR imaging for restaging after neoadjuvant radiation therapy with concomitant chemotherapy. Part I. Are we able to predict tumor confined to the rectal wall? [J]. Radiology, 2009, 252(1): 71-80.
- [16] Barbaro B, Fiorucci C, Tebala C, et al. Locally advanced rectal cancer: MR imaging in prediction of response after preoperative chemotherapy and radiation therapy [J]. Radiology, 2009, 250(3): 730-739.
- [17] Cai Z, Xie X, Chen Y, et al. Risk factor analysis for inaccurate pre-operative MRI staging in rectal cancer [J]. BMC Cancer, 2020, 20(1): 253.
- [18] Kul S, Metin Y, Kul M, et al. Assessment of breast mass morphology with diffusion-weighted MRI: beyond apparent diffusion coefficient [J]. Magn Reson Imaging, 2018, 48(6): 1668-1677.
- [19] 陈倩,沈玉英,钱伟亮,等. MR 扩散峰度成像对乳腺良恶性病变鉴别诊断的价值[J].实用放射学杂志, 2019, 35(2): 220-223.
- [20] Zhang G, Sun H, Qian T, et al. Diffusion-weighted imaging of the kidney: comparison between simultaneous multi-slice and integrated slice-by-slice shimming echo planar sequence [J]. Clin Radiol, 2019, 74(4): 325.e1-325.e8.
- [21] Stocker D, Manoliu A, Becker AS, et al. Image quality and geometric distortion of modern diffusion-weighted imaging sequences in magnetic resonance imaging of the prostate [J]. Invest Radiol, 2018, 53(4): 200-206.
- [22] Chen L, Sun P, Hao Q, et al. Diffusion-weighted MRI in the evaluation of the thyroid nodule: Comparison between integrated-shimming EPI and conventional 3D-shimming EPI techniques [J]. Oncotarget, 2018, 9(40): 26209-26216.
- [23] Zhang H, Xue H, Alto S, et al. Integrated shimming improves lesion detection in whole-body diffusion-weighted examinations of patients with plasma disorder at 3T [J]. Invest Radiol, 2016, 51(5): 297-305.
- [24] 田欣,杨祺,杨创勃,等.单层动态匀场技术对改善乳腺扩散加权成像图像质量的研究[J].实用放射学杂志, 2020, 36(5): 740-744.

(收稿日期:2023-01-08 修回日期:2023-04-24)