

• 腹部影像 •

直肠癌磁共振术前评估的现状与研究进展



岳钰峰, 蒋涵羽, 黄子星, 宋彬

四川大学华西医院放射科(成都 610041)

【摘要】 目的 总结磁共振(MR)影像在直肠癌领域中的应用现状及相关进展。方法 对近年来有关 MR 影像在直肠癌领域中的应用的相关文献进行分析并总结。结果 MR 成像除测量肿瘤高度与长径外,其对直肠癌术前分期和预后相关因素如壁外血管侵犯、环周切缘、周围神经侵犯等方面评估具有重要意义。但其仍存在一些不足,如传统 MR 对于 T1、T2 期与边界性 T3 期以及 T3 期与 T4a 期直肠癌的鉴别效能有限,对 N 分期及辅助放疗后对 N 分期的再次评估方面也有其局限性,鉴别效能不高。目前功能 MR 如弥散加权成像以及动态对比增强 MR 成像、同反相位等新技术已用于直肠癌影像诊断,这些成像方法各有优势。结论 MR 成像是常用于直肠癌术前评估的影像学手段,检测的内容包括肿瘤空间参数、肿瘤的分期、预后相关因素等,其评估结果对于直肠癌治疗方式选择及预后预测具有重要意义。在直肠 MR 现有应用的基础上,部分 MR 新方法及技术已展现出一定的潜能,未来可能发现更多直肠癌相关生物标志物。

【关键词】 直肠癌; 磁共振成像; 肿瘤分期; 预后因素

Preoperative magnetic resonance imaging assessment of rectal cancer: an overview and update on recent advances

YUE Yufeng, JIANG Hanyu, HUANG Zixing, SONG Bin

Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, P. R. China

Corresponding author: SONG Bin, Email: cjr.songbin@vip.163.com

【Abstract】 Objective To summarize the current status and progress of MR imaging in field of rectal cancer. **Methods** The recent literatures on this topic were reviewed and analyzed, then the key information they provide was integrated. **Results** Besides its measurement of tumor height and length, the MR imaging was also significant in the preoperative assessments of tumor staging and prognostic factors such as the extramural vascular invasion (EMVI), circumferential resection margin (CRM), and perineural invasion (PNI). However, some drawbacks couldn't be neglected. For instance, the conventional MR imaging was of limited use in discriminating T1, T2 and borderline T3 rectal cancer. The similar limitation applies to situation between T3 and T4a rectal cancer as well. And its performances in the N staging prior to and post-neoadjuvant chemoradiation therapy were just average. Currently the functional MR imaging like the diffusion weighted imaging (DWI), some relatively novel modalities such as the dynamic contrast enhanced MRI and chemical shift have served in the radiological diagnosis of the rectal cancer. **Conclusions** MR imaging is the most frequently used modality in preoperative assessment of rectal cancer. It can describe size and location of tumor, assist in tumor staging, and evaluate prognostic factors. And it is supposed to provide critical information on decision making and prognosis judging. Besides current value of conventional MR imaging in the field of rectal cancer, some innovative techniques have shown moderate potentials as well. Due to their promising future use, detection of new biomarkers regarding rectal cancer can be expected.

【Keywords】 rectal cancer; MR imaging; tumor staging; prognostic factor

结直肠癌是常见的恶性肿瘤,在美国其发病率及病死率均位居恶性肿瘤第 3 位^[1]。与西方国家相比,我国直肠癌发病率较结肠癌高且尤以中低位直

肠癌占比较高^[2]。因此,对于直肠癌诊断及治疗的相关研究更加迫切和重要。相比于我国逐年升高的直肠癌发病率,其病死率排名近年来反而有降低趋势^[3],其原因可能是更加精准的影像学术前分期、新辅助放化疗的合理应用及全直肠系膜切除手术(total mesorectal excision, TME)的发展及成熟,

DOI: 10.7507/1007-9424.201907096

通信作者: 宋彬, Email: cjr.songbin@vip.163.com

其中磁共振 (magnetic resonance, MR) 成像由于其良好的组织对比度及多方位成像能力, 常被用于肿瘤的诊断及术前评估。就直肠 MR 成像而言, 目前除常规 T1、T2 加权成像 (T1WI、T2WI) 之外, MR 功能成像如弥散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 以及动态对比增强 MRI (dynamic contrast enhanced MRI, DCE-MRI)、同反相位等新兴技术也得到了长足发展并应用于临床, 这些不同的成像方法具有各自的优势^[4]。笔者现就 MR 成像在直肠癌相关领域的应用现状及研究进展作一综述。

1 直肠癌分段及毗邻

肿瘤的长径和位置通常在 T2WI 矢状位上进行测量^[5]。相比于肿瘤的长径, 肿瘤的位置对于治疗方式的选择和预后的影响更加显著, 因此, 其是更为重要的测量参数。

肿瘤位置也可称为肿瘤高度^[6], 指肿瘤下端至参考线的距离, 可选择的参考线包括肛缘、肛管直肠环等, 通常以前者作为参考线对肿瘤高度进行描述。肛缘为肛管的下边界, 形成肛管与肛周皮肤的移行带, 根据肿瘤下端与其之间的距离可对直肠癌进行分类。值得注意的是, 肿瘤高度并不是 T2WI 矢状位上肿瘤下端与肛缘的垂直高度差, 而是指沿直肠走行方向二者间的距离。相比于中低位直肠癌, 高位直肠癌多采用分段测量记录肿瘤高度, 理论上讲, 与乙状结肠镜的测量数值一致。

有学者^[7]以腹膜返折为界将直肠分为上、下两段, 也有学者^[8]根据长度范围将直肠划分为三段, 其目的都是为了更好地描述肿瘤位置。上段直肠癌的生物学行为与结肠癌相似; 中低位直肠癌则涉及手术方式选择、潜在环周切缘阳性等问题; 对于低位及超低位直肠癌, 肿瘤距离括约肌群较近, 直肠系膜逐渐减少, 切缘阳性率常更高, 表现出更高的局部复发率及更低的生存率^[5,9]。必要时可结合 MR 冠状位图像评估肿瘤与邻近结构的关系^[8], 部分超低位直肠癌也需与肛管肿瘤相鉴别^[10]。

评估保肛可行性是直肠 MR 成像的另一重要议题, 肿瘤距肛管直肠环的距离以及与括约肌群的位置关系是其中要点。耻骨直肠肌参与构成肛管直肠环, 直肠系膜终止于耻骨直肠肌索, 当肿瘤位于该平面以上时, 通常可排除括约肌的侵犯^[8]; 如果肿瘤下端低于该平面, 则需评估直肠固有肌层、内外括约肌及括约肌间隙是否受侵犯, 以此为据可初步确定有无术前放化疗指征。

2 直肠癌术前分期评估

MR 除测量肿瘤高度与长径之外, 依据 MR 成像进行直肠癌术前分期具有同等重要意义。

2.1 T 分期

T 分期反映原发肿瘤生长范围及其对周围组织的浸润程度, 通常基于肿瘤与直肠壁各层及直肠系膜的 T2 信号强度差异进行区分。T1 期直肠癌局限于黏膜及黏膜下层, T2 期侵及肌层, T3 期侵出肌层并侵犯直肠系膜, T4 期侵及腹膜或邻近器官^[11]。

有研究^[12]报道, 常规 MR 成像判断 T1 ~ T4 期直肠癌的敏感度分别为 60%、82.75%、62.85% 及 80%。另一项关于早期直肠癌的研究^[13]结果显示, 3T-MRI 判断 Tis、T1、T2 期直肠癌的敏感度分别为 20%、92% 和 93.7%, 特异度分别为 100%、91.8% 和 77.7%。Maas 等^[14]的研究探讨了 3T-MRI 与 1.5T-MRI 在直肠癌影像分期中的作用, 结果显示, 高分辨的 3T-MRI 在区分 T1 ~ T2 期直肠癌与边界性 T3 期直肠癌中无明显优势。需要指出的是, 由于 T3 期直肠癌占比较高且具有显著的异质性^[15-16], 通常还需对其划分亚型, 有文献^[17]根据肿瘤侵出直肠固有肌层的距离将其分为 T3a 期 (<1 mm)、T3b 期 (1 ~ 5 mm)、T3c 期 (5 ~ 15 mm) 及 T3d 期 (>15 mm); 也有学者^[15-16]以侵出直肠固有肌层 5 mm 为界将其分为 pT3a 和 pT3b 期, 二者的局部复发率及生存率具有明显差异。

直肠 MR 成像对于 T1、T2 期直肠癌与边界性 T3 期直肠癌的鉴别效能有限, 对 T3 期与 T4a 期直肠癌的区分也存在类似不足。除扫描层厚及分辨率相关参数以外, 未正确区分肿瘤侵犯与促结缔组织增生反应也是可能原因之一。

与肿瘤高度类似, 直肠癌 T 分期也可作为术前放化疗提供决策依据。为了优化基于 MR 成像的 T 分期结果, 需选择垂直平面评估肿瘤浸润程度。参考层面选择不当会导致直肠固有肌层显示不清^[17], 可能将局限于肌层的肿瘤误认为侵犯阴道后壁或前列腺后筋膜, 使 T 分期错误性偏高, 造成过度治疗及给患者造成心理负担。

值得注意的是, 对于直肠 MR 成像, 临床工作中不需要过分强调其 T 分期精确性。进行 T 分期的目的在于根据肿瘤的范围及浸润程度指导治疗, 从这个意义而言, 以毫米级量化肿瘤壁外侵犯远比给出所谓具体 T 分期重要, 这一理念对于 T3 期直肠癌尤为明显, 每种亚型内部仍可能存在异质性。对于直肠癌壁外侵犯距离的重要性不仅仅体现在

数值上,通常还可反映肿瘤生物学行为相关信息。复旦大学一项关于直肠癌壁外侵犯距离的研究^[18]纳入相关指标并对患者进行如下分组:癌胚抗原(CEA) <5.2 ng/mL与CEA ≥ 5.2 ng/mL、CA19-9 <27 U/mL与CA19-9 ≥ 27 U/mL、淋巴结阴性与淋巴结阳性、有无血管癌栓、有无周围神经侵犯以及肿瘤分化程度,其中肿瘤分化程度被分为4个亚组,对4个亚组的直肠癌壁外侵犯距离均值进行方差分析,其余均视作二分类变量,对相应平均壁外侵犯距离分别进行独立样本 t 检验,结果显示,对于淋巴结转移与否以及不同CEA值、CA19-9值及肿瘤分化程度间的直肠癌壁外侵犯距离差异均有统计学意义($P<0.05$),对于有无癌栓($P=0.068$)及周围神经侵犯($P=0.161$)组间的壁外侵犯距离差异均无统计学意义。结果提示,T3期直肠癌壁外侵犯距离可能是重要的生物标志物,可用于评估肿瘤的侵袭性等特征。Pedersen等^[19]的研究同样指出了直肠癌壁外侵犯距离这一指标的临床应用价值,且在直肠MR成像上其测量数值具有较好的可重复性。

2.2 N分期

除肿瘤生长范围及浸润程度外,淋巴结转移也是直肠MR需要检测的要点。既往曾有相关研究^[8,17]根据淋巴结大小评估是否存在转移,结果显示,淋巴结直径对正常淋巴结、反应性增生淋巴结和转移淋巴结的鉴别效能不高,三者的直径范围存在一定重叠。有文献^[20]报道一些其他MR成像特征如淋巴结毛刺样改变、强化程度的异质性等同样不具备足够的敏感度,因此可能造成阳性淋巴结的漏诊,使患者错过接受术前放化疗的最佳时机。

新辅助放化疗后对N分期的再次评估同样具有一定困难,仅仅根据形态学特征在MR成像上较难区分转移淋巴结与正常淋巴结的辐照后改变。由于传统MR成像在直肠癌N分期方面的局限性,新的成像技术已逐渐应用于该领域。目前有文献^[21]报道功能MR如DWI等可用于直肠癌淋巴结转移的检测;此外,相关研究^[22]表明,肿瘤和淋巴结的表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)及MR灌注参数测量一致性均较高,淋巴结直径和ADC值在不同N分期中的差异均无统计学意义,但对于cN1与cN2期患者其淋巴结灌注值比较差异有统计学意义($P=0.03$);该研究还发现,肿瘤灌注值随T分期升高而呈降低趋势,对于cT2与cT3期患者其差异有统计学意义($P<0.05$)。如前文所述,T2与T3期直肠癌的区分在临床上具有重要意义,因此相关影像学参数在直肠癌临床分期中具有

一定应用价值。

Heijnen等^[23]的研究则表明,DWI可比T2WI检测出更多可疑淋巴结,但在鉴别其转移与否中作用有限,研究中根据平均淋巴结ADC值及肿瘤ADC值的比值计算得出ADC相对值,结果显示,虽然良性淋巴结ADC值高于转移淋巴结,但两者间比较差异无统计学意义 $[(1.15\pm 0.24)\times 10^{-3}$ mm²/s比 $(1.04\pm 0.22)\times 10^{-3}$ mm²/s, $P=0.10$]。淋巴结ADC值鉴别转移淋巴结的受试者操作特征曲线下面积(AUC)值为0.64、敏感度为0.67、特异度为0.60,ADC相对值鉴别转移淋巴结的AUC值为0.67、敏感度为0.75、特异度为0.61。Seber等^[24]的研究得出了类似结论。虽然单独应用传统MR成像对转移淋巴结的鉴别效能高于单独应用DWI及二者联合,但不能否认DWI在直肠癌N分期中的潜在应用价值。

基于DCE-MRI的定量分析和半定量分析已应用于恶性肿瘤相关研究,以药代动力学模型为基础提取相关参数用于评估。常用的Tofts模型^[25]参数包括:容积转运常数(K^{trans})、速率常数(K_{ep})、血管外细胞外间隙容积分数(V_e)、对比剂血浆容积分数(V_p)等。相关研究^[26]表明,在传统MR成像的基础上联合使用DCE-MRI半定量分析可提高检出转移淋巴结的敏感度和特异度。有研究^[27]表明,超顺磁性氧化铁(USPIO)-MRI对于转移淋巴结具有较高的鉴别效能,其相关参数的AUC值均在0.9以上,该方法使用USPIO作为对比剂,但尚未投用于临床。Zhang等^[28]探讨了化学位移效应判断直肠癌淋巴结转移的可行性,根据淋巴结边缘的化学位移伪影特征将其分为4级^[29]:1级,光滑且规则;2级,不规则但连续;3级,不规则且不连续;4级,未见化学位移伪影。两名放射医师分别将71.4%(182/255)和69.4%(177/255)的良性淋巴结分为了1级,并分别将80.0%(28/35)和74.3%(26/35)的转移淋巴结分为了4级。结果提示,化学位移伪影分级具有一定鉴别效能且其评估的一致性较好,基于两位医师的分级结果,化学位移效应的AUC值分别为0.879和0.845,高于其他MR相关指标。

除上述以外,检测转移淋巴结新生血管是另一种思路,良性淋巴结通常会有造影剂廓清,转移淋巴结可表现为持续性强化^[17]。

3 直肠癌预后相关因素评估

MR成像除对直肠癌术前分期以外,对于其预后相关因素如壁外血管侵犯(extramural vascular

invasion, EMVI)、环周切缘、周围神经侵犯等的术前评估以及治疗方案的指导制定同样具有重要的应用价值。

3.1 EMVI

EMVI 定义为在直肠固有肌层外的血管中发现恶性肿瘤细胞,通常由术后病理切片发现。MR 成像使得 EMVI 的术前检测成为可能,其结果具有较好的可重复性^[30]。根据 EMVI 定义,只有 T3 期及以上直肠癌可能出现 EMVI,其早期检出可指导患者接受术前辅助放化疗,合理制定手术方案并防止肿瘤细胞术中播散。Jhaveri 等^[31]根据血管与肿瘤的位置关系、血管的走行及管径、血管内有无肿瘤样信号影等因素完善了 0~4 分的由 MRI 检测的壁外血管侵犯 (mr-EMVI) 五级评分系统,并与病理诊断的壁外血管侵犯 (pEMVI) 结果进行比对,结果发现,对于直径>3 mm 的固有肌层外静脉,以 mr-EMVI 评分 3~4 分为标准预测其 pEMVI 的敏感度为 54%,特异度为 96%。说明 mr-EMVI 评分能够用于检测 pEMVI,且其高特异度能够降低假阳性率并减少不必要的新辅助放化疗,但其敏感度尚待提升。Prampolini 等^[32]的研究表明, mr-EMVI 可能提示肿瘤复发等不良预后,对其新辅助放化疗后的再评估在临床决策中同样具有重要意义。一项纳入 6 篇文献的 meta 分析结果^[33]显示, mr-EMVI 是直肠癌远处转移的危险因素,其中 3 篇文献包含同期转移相关信息, mr-EMVI 阳性组相比于 mr-EMVI 阴性组具有更高的直肠癌同期转移风险,采用固定效应模型计算所得合并 OR 值为 5.68, 95%CI (3.75, 8.61); 6 篇文章均包含随访后期转移相关信息, mr-EMVI 阳性组与 mr-EMVI 阴性组相比,采用固定效应模型计算所得合并 OR 值为 4.02、95% CI 为 (2.99, 5.39), 采用随机效应模型计算所得合并 OR 值为 3.91、95% CI 为 (2.61, 5.86), 这两种模型分析结果均表明 mr-EMVI 阳性组具有更高的后期转移风险。MR 成像在直肠癌血管系统的应用不止于此, Kluza 等^[34]研究发现,除 EMVI 与传统的肿瘤新生血管外,还可进行肿瘤背景直肠系膜血管形态学及功能评估。相关参数如背景直肠系膜血管分支数、血管平均直径与长度、血管强化时间曲线下面积的均值等参数同样可有效预测直肠癌的预后。

3.2 环周切缘

环周切缘与直肠癌预后密切相关,通常以直肠系膜筋膜的位置作为参考平面^[17],潜在环周切缘阳性者 TME 术后更易复发。MR 成像是评估环周切缘是否受侵最有效的影像学方法^[35], T2WI 上直肠

系膜筋膜呈线性低信号包绕直肠系膜。肿瘤距离直肠系膜筋膜<1 mm 为潜在切缘阳性,基于此,同样只有 T3 期及以上的直肠癌需考虑环周切缘侵犯可能。需要指出的是,环周切缘阳性不仅仅根据肿瘤主体与直肠系膜筋膜的判断,其评判标准同样适用于可疑淋巴结、EMVI 及肿瘤卫星灶,由此可见,直肠癌的各预后相关因素并不是完全独立的,相互间具有一定内在关联。在没有直肠系膜的平面不必讨论环周切缘侵犯,如高位直肠癌侵犯腹膜返折,可直接归为 T4a 期环周切缘阴性。对于 MR 成像预测的切缘阳性患者,通常不会直接手术,而是接受新辅助放化疗后再行 MR 成像检查,故此关于直肠 MR 与环周切缘的研究多着眼于对新辅助放化疗后环周切缘的评估。Park 等^[36]研究发现, DWI 联合 T2WI 可提高检测新辅助放化疗后环周切缘肿瘤清除的准确性,基于此方法两名放射医师分别独立对直肠系膜筋膜是否残留病灶进行判断,结果显示其 AUC 值分别为 0.918 和 0.960。新辅助放化疗后依然环周切缘潜在阳性的患者将无法接受标准 TME 手术,可选择进一步放化疗或扩大手术切除范围。

3.3 周围神经侵犯

近年来,对于直肠癌周围神经侵犯的研究有所增加。已有文献^[37-38]报道,周围神经侵犯是具有潜在价值的生物标志物,与直肠癌预后相关,术中切片发现,周围神经侵犯通常预示着较强的肿瘤侵袭性、较高的复发率及较短的生存期。有学者^[37]基于现有研究认为,除肿瘤直接播散、血道转移及淋巴结转移之外,直肠癌可能还存在神经转移的机制。相比于 EMVI 和环周切缘,周围神经侵犯在传统 MR 影像上缺乏直观表现,使得其术前检测具有一定难度,这一现状为新方法及新技术的使用提供了可能。Yeo 等^[39]关于 DCE-MRI 与直肠癌的研究结果显示, V_p 相关直方图参数对于周围神经侵犯具有较高的诊断效能,所选用参数包括 V_p 平均值、众数、10~80 百分位数、偏度值、峰度值等。其中 V_p 众数具有最大 AUC,对于两位独立观察者其 AUC 值、最佳临界点敏感度及特异度分别为 0.859、87.5%、81.5% 和 0.783、62.5%、89.3%。除此之外,基于影像组学^[38]方法建立相关预测模型是直肠癌周围神经侵犯术前检测的新思路,模型经过外部验证后可能应用于临床。

4 小结与展望

MR 成像在直肠癌相关领域具有重要的应用价

值,可从多个方面进行评价。除上述内容外,MR对于检测直肠癌新辅助化疗后肿瘤消退程度、直肠癌 Kras 基因突变等^[40]也具有一定意义。已有研究^[41]表明,非正态的弥散峰度成像对直肠癌的整体评估优于 ADC 直方图分析,此类新技术展现出良好前景的同时也拓宽了传统 MR 检查的应用范围。Yoon 等^[42]已报道直肠系膜脂肪面积(mesorectal fat area, MFA)与直肠癌生存期等预后间具有相关性,因此其可能是新的生物标志物。基于此类前沿进展,在 EMVI、环周切缘及周围神经侵犯之外继续寻找直肠癌预后相关因素可作为 MR 成像的进一步研究方向。

重要声明

利益冲突声明:本文全体作者阅读并理解了《中国普外基础与临床杂志》的政策声明,各作者不存在利益冲突、财务冲突或其他冲突。

作者贡献声明:岳钰峰进行文献检索、文献信息分析及综述撰写;蒋涵羽进行相关文献筛选、质量评价并构思行文提纲;黄子星提供思路,对文章逻辑、表述方式进行审阅及修改;宋彬对工作进行指导与支持。

参考文献

- Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics, 2019. *CA Cancer J Clin*, 2019, 69(1): 7-34.
- Gu J, Chen N. Current status of rectal cancer treatment in China. *Colorectal Dis*, 2013, 15(11): 1345-1350.
- Feng RM, Zong YN, Cao SM, et al. Current cancer situation in China: good or bad news from the 2018 Global Cancer Statistics? *Cancer Commun (Lond)*, 2019, 39(1): 22.
- Petrillo M, Fusco R, Catalano O, et al. MRI for assessing response to neoadjuvant therapy in locally advanced rectal cancer using DCE-MR and DW-MR data sets: a preliminary report. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 514740.
- Battersby NJ, How P, Moran B, et al. Prospective validation of a low rectal cancer magnetic resonance imaging staging system and development of a local recurrence risk stratification model: The Mercury II Study. *Ann Surg*, 2016, 263(4): 751-760.
- Beets-Tan RG, Lambregts DM, Maas M, et al. Magnetic resonance imaging for the clinical management of rectal cancer patients: recommendations from the 2012 European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology (ESGAR) consensus meeting. *Eur Radiol*, 2013, 23(9): 2522-2531.
- Gollub MJ, Maas M, Weiser M, et al. Recognition of the anterior peritoneal reflection at rectal MRI. *AJR Am J Roentgenol*, 2013, 200(1): 97-101.
- Nougaret S, Reinhold C, Mikhael HW, et al. The use of MR imaging in treatment planning for patients with rectal carcinoma: have you checked the "DISTANCE"? *Radiology*, 2013, 268(2): 330-344.
- Roodbeen SX, Penna M, Mackenzie H, et al. Transanal total mesorectal excision (TaTME) versus laparoscopic TME for MRI-defined low rectal cancer: a propensity score-matched analysis of oncological outcomes. *Surg Endosc*, 2019, 33(8): 2459-2467.
- Cattapan K, Chulroek T, Wacharoenrung D, et al. Can MR imaging be useful in differentiating low rectal cancer from anal cancer? *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(2): 438-445.
- Tong GJ, Zhang GY, Liu J, et al. Comparison of the eighth version of the American Joint Committee on Cancer manual to the seventh version for colorectal cancer: A retrospective review of our data. *World J Clin Oncol*, 2018, 9(7): 148-161.
- Li F, Zhang W, Li J, et al. The clinical application value of MR diffusion-weighted imaging in the diagnosis of rectal cancer: A retrospective study. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(51): e13732.
- Çolakoglu Er H, Peker E, Erden A, et al. Rectal cancer confined to the bowel wall: the role of 3 Tesla phased-array MR imaging in T categorization. *Br J Radiol*, 2018, 91(1082): 20170581.
- Maas M, Lambregts DM, Lahaye MJ, et al. T-staging of rectal cancer: accuracy of 3.0 Tesla MRI compared with 1.5 Tesla. *Abdom Imaging*, 2012, 37(3): 475-481.
- Nicholls RJ, Zinicola R, Haboubi N. Extramural spread of rectal cancer and the AJCC Cancer Staging Manual 8th Edition, 2017. *Ann Oncol*, 2019 May 2. pii: mdz147. doi: 10.1093/annonc/mdz147.
- Zinicola R, Pedrazzi G, Haboubi N, et al. The degree of extramural spread of T3 rectal cancer: an appeal to the American Joint Committee on Cancer. *Colorectal Dis*, 2017, 19(1): 8-15.
- Nougaret S, Jhaveri K, Kassam Z, et al. Rectal cancer MR staging: pearls and pitfalls at baseline examination. *Abdom Radiol (NY)*, 2019 May 21. doi: 10.1007/s00261-019-02024-0.
- Tong T, Yao Z, Xu L, et al. Extramural depth of tumor invasion at thin-section MR in rectal cancer: associating with prognostic factors and ADC value. *J Magn Reson Imaging*, 2014, 40(3): 738-744.
- Pedersen BG, Moran B, Brown G, et al. Reproducibility of depth of extramural tumor spread and distance to circumferential resection margin at rectal MRI: enhancement of clinical guidelines for neoadjuvant therapy. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 197(6): 1360-1366.
- Gröne J, Loch FN, Taupitz M, et al. Accuracy of various lymph node staging criteria in rectal cancer with magnetic resonance imaging. *J Gastrointest Surg*, 2018, 22(1): 146-153.
- Mizukami Y, Ueda S, Mizumoto A, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detecting lymph node metastasis of rectal cancer. *World J Surg*, 2011, 35(4): 895-899.
- Attenberger UI, Pilz LR, Morelli JN, et al. Multi-parametric MRI of rectal cancer—do quantitative functional MR measurements correlate with radiologic and pathologic tumor stages? *Eur J Radiol*, 2014, 83(7): 1036-1043.
- Heijnen LA, Lambregts DM, Mondal D, et al. Diffusion-weighted MR imaging in primary rectal cancer staging demonstrates but does not characterise lymph nodes. *Eur Radiol*, 2013, 23(12): 3354-3360.
- Seber T, Caglar E, Uylar T, et al. Diagnostic value of diffusion-weighted magnetic resonance imaging: differentiation of benign and malignant lymph nodes in different regions of the body. *Clin Imaging*, 2015, 39(5): 856-862.
- Tofts PS, Brix G, Buckley DL, et al. Estimating kinetic parameters from dynamic contrast-enhanced T(1)-weighted MRI of a diffusible tracer: standardized quantities and symbols. *J Magn Reson Imaging*, 1999, 10(3): 223-232.
- Armbruster M, D'Anastasi M, Holzner V, et al. Improved detection

- of a tumorous involvement of the mesorectal fascia and locoregional lymph nodes in locally advanced rectal cancer using DCE-MRI. *Int J Colorectal Dis*, 2018, 33(7): 901-909.
- 27 Lahaye MJ, Engelen SM, Kessels AG, *et al*. USPIO-enhanced MR imaging for nodal staging in patients with primary rectal cancer: predictive criteria. *Radiology*, 2008, 246(3): 804-811.
- 28 Zhang H, Zhang C, Zheng Z, *et al*. Chemical shift effect predicting lymph node status in rectal cancer using high-resolution MR imaging with node-for-node matched histopathological validation. *Eur Radiol*, 2017, 27(9): 3845-3855.
- 29 Lambregts DM, Heijnen LA, Maas M, *et al*. Gadofosveset-enhanced MRI for the assessment of rectal cancer lymph nodes: predictive criteria. *Abdom Imaging*, 2013, 38(4): 720-727.
- 30 Ale Ali H, Kirsch R, Razaz S, *et al*. Extramural venous invasion in rectal cancer: overview of imaging, histopathology, and clinical implications. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(1): 1-10.
- 31 Jhaveri KS, Hosseini-Nik H, Thippavong S, *et al*. MRI detection of extramural venous invasion in rectal cancer: Correlation with histopathology using elastin stain. *AJR Am J Roentgenol*, 2016, 206(4): 747-755.
- 32 Prampolini F, Taschini S, Pecchi A, *et al*. Magnetic resonance imaging performed before and after preoperative chemoradiotherapy in rectal cancer: predictive factors of recurrence and prognostic significance of MR-detected extramural venous invasion. *Abdom Radiol (NY)*, 2018 Nov 27. doi: 10.1007/s00261-018-1838-z.
- 33 Siddiqui MRS, Simillis C, Hunter C, *et al*. A meta-analysis comparing the risk of metastases in patients with rectal cancer and MRI-detected extramural vascular invasion (mrEMVI) vs mrEMVI-negative cases. *Br J Cancer*, 2017, 116(12): 1513-1519.
- 34 Kluza E, Kleijnen JP, Martens MH, *et al*. Non-invasive MR assessment of macroscopic and microscopic vascular abnormalities in the rectal tumour-surrounding mesorectum. *Eur Radiol*, 2016, 26(5): 1311-1319.
- 35 Vliegen RF, Beets GL, Lammering G, *et al*. Mesorectal fascia invasion after neoadjuvant chemotherapy and radiation therapy for locally advanced rectal cancer: accuracy of MR imaging for prediction. *Radiology*, 2008, 246(2): 454-462.
- 36 Park MJ, Kim SH, Lee SJ, *et al*. Locally advanced rectal cancer: added value of diffusion-weighted MR imaging for predicting tumor clearance of the mesorectal fascia after neoadjuvant chemotherapy and radiation therapy. *Radiology*, 2011, 260(3): 771-780.
- 37 Kim CH, Yeom SS, Lee SY, *et al*. Prognostic impact of perineural invasion in rectal cancer after neoadjuvant chemoradiotherapy. *World J Surg*, 2019, 43(1): 260-272.
- 38 Huang Y, He L, Dong D, *et al*. Individualized prediction of perineural invasion in colorectal cancer: development and validation of a radiomics prediction model. *Chin J Cancer Res*, 2018, 30(1): 40-50.
- 39 Yeo DM, Oh SN, Choi MH, *et al*. Histogram analysis of perfusion parameters from dynamic contrast-enhanced MR imaging with tumor characteristics and therapeutic response in locally advanced rectal cancer. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 3724393.
- 40 张巍, 黄子星, 张笑, 等. 结直肠癌的放射组学研究进展. *中国普外基础与临床杂志*, 2019, 26(4): 484-487.
- 41 Granata V, Fusco R, Reginelli A, *et al*. Diffusion kurtosis imaging in patients with locally advanced rectal cancer: current status and future perspectives. *J Int Med Res*, 2019, 47(6): 2351-2360.
- 42 Yoon J, Chung YE, Lim JS, *et al*. Quantitative assessment of mesorectal fat: new prognostic biomarker in patients with mid-to-lower rectal cancer. *Eur Radiol*, 2019, 29(3): 1240-1247.

收稿日期: 2019-07-23 修回日期: 2019-08-01
本文编辑: 李纓来/蒲素清