

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2014.23.053

直肠癌 MRI 研究进展

蒋 健¹ 张文娟² 刘光耀¹ 马强华^{2△}

(1 兰州大学第二临床医学院 甘肃 兰州 730000; 2 兰州军区兰州总医院影像诊断科 甘肃 兰州 730050)

摘要: MRI 是目前直肠癌诊断、分期的首选影像学方法。在判断肿瘤对邻近器官、结构的浸润程度上具有明显优势,尤其是对有较高复发风险的低位肿瘤。常规 MRI 尤其是高分辨 MRI 能够清晰显示直肠相关解剖,结合扩散加权成像(Diffusion weighted imaging, DWI)通过确定肿瘤边界,直肠系膜有无受侵,淋巴结及远处转移情况,可以准确有效的进行术前诊断、分期;DWI 有助于鉴别辅助治疗后失活与存活组织、筛选出辅助治疗有效的患者,在评估治疗后疗效、提示患者预后方面发挥重要作用,也为临床制定治疗方案提供依据。同时也发现准确进行淋巴结分期、鉴别复发仍然存在困难,需要在以后进一步探讨,提高评估的准确性。本文就近年来 MRI 在直肠癌术前评价、术后疗效评估、复发监测及表观弥散系数(Apparent diffusion coefficient, ADC)的应用做一综述。

关键词: 直肠癌;磁共振;表观弥散系数

中图分类号: R735.35, R445.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6273(2014)23-4592-04

Research Progress of Magnetic Resonance Imaging of Rectal Cancer

JIANG Jian¹, ZHANG Wen-juan², LIU Guang-yao¹, MA Qiang-Hua^{2△}

(1 The Second Clinical Medical College of Lanzhou University, Lanzhou, Gansu, 730000, China;

2 Department of Imaging Diagnosis, Lanzhou General Hospital of Lanzhou Military Command, Lanzhou, Gansu, 730050, China)

ABSTRACT: MRI is currently the imaging modality of choice for the detection, characterization, and staging of rectal cancer. It is superior for assessing invasion to adjacent organs and structures, especially low tumors that carry a high risk of recurrence. Conventional MRI, in particular, high-resolution MRI and diffusion weighted image are accurate and sensitive imaging method delineating tumor margins, mesorectal involvement, nodes, and distant metastasis. DWI have proven benefit not only for tumor detection/characterization but also for monitoring treatment response. MRI is also helpful in estimating prognosis. It can be difficult to identify of metastatic lymph nodes and distinguish recurrent tumors from postsurgical/radiation changes. It needs to be further explored in the future, to improve the accuracy of the assessment. The latest research progress of MRI of rectal cancer and ADC value were reviewed in this article.

Key words: Rectal cancer; Magnetic resonance imaging; Apparent diffusion coefficient

Chinese Library Classification (CLC): R735.35, R445.2 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2014)23-4592-04

结直肠癌(Colorectal cancer, CRC)是发病率位于第3位的常见癌症,其中直肠癌占70~75%^[1]。手术方式的改进、辅助治疗向新辅助放化疗的转变、以及临床诊断新技术的应用等促使结直肠癌临床预后得到改善。直肠癌诊断明确后,治疗在很大程度上取决于准确分期:包括评估直肠癌相关的各种因素,如肿瘤的浸润深度,直肠系膜脂肪和筋膜受累,环周切缘的状态,临近器官有无侵犯及远处转移等。临床分期决定了手术方式和方法,肿瘤局限于直肠壁可以进行局部切除,而当肿瘤侵犯系膜脂肪需要全直肠系膜切除术(Total mesorectal excision, TME),必要时配合新辅助治疗^[2-4]。因此,准确的影像分期、最佳的外科术式、详尽的病理组织评定结合系统的术前术后辅助治疗,是目前也是将来治疗结直肠癌方案的基础^[5]。影像学检查在临床分期中具有重要作用,可以为治疗方案的制定提供依据,

指导临床对患者实施有效的管理^[6]。

1 影像学检查方法

直肠腔内超声(Endorectal ultrasound, EUS)是评估肿瘤在肠壁内浸润程度的较为准确的影像学方法。超声能够准确区分T1到T2期的肿瘤,其评估局部分期(T分期)准确率为69-97%,淋巴结分期(N分期)准确率(70-75%)略低于局部分期^[7]。对EUS T分期的系统评价指出进展期直肠癌T分期敏感度高于早期肿瘤^[8]。但是EUS对于肠腔狭窄及高位直肠癌的患者不便使用,在评估肿瘤对肠周脂肪、直肠系膜筋膜浸润及邻近器官的侵犯方面也有局限^[9,10]。CT限于软组织分辨率,不能准确区分直肠壁各层结构,但在检出转移方面有一定价值^[11]。MRI是目前最准确的非侵入性评估直肠癌分期的影像学方法^[12]。相控阵线圈的使用, T2W-快速自旋序列的发展使MR空间分辨率增加、对比度提高,可以更好的显示直肠相关的解剖细节、明确预后因素。MR直肠腔内线圈由于受到患者及检查者的局限而较少使用,同时较小的FOV也不能准确评估环周切缘及远处的系膜淋巴结^[13]。

作者简介:蒋健(1984-),男,硕士研究生,医师,主要研究方向:腹部影像诊断,电话:13893242615, E-mail:13893242615@163.com

△通讯作者:马强华, E-mail:maqhmri@163.com

(收稿日期:2013-07-29 接受日期:2013-08-26)

2 MR 扫描技术

包括轴位及冠状位 T2W 快速自旋回波(TSE)序列,矢状位 T2W 单层短轴成像(T2-weighted single-shot image);高分辨扫描采用 18~30 cm 小 FOV,3 mm 层厚^[13];轴位 T1W、以及 T2W 或 T1W 脂肪饱和序列,扩散加权成像(Diffusion weighted imaging, DWI)等。首先应用矢状位 T2W TSE 序列发现肿瘤,在此基础上分别垂直/平行于肿瘤长轴进行轴位/冠状位定位。T2W 轴位可以显示原发肿瘤,系膜筋膜,腹膜反折及其他盆腔器官,上段直肠及盆腔侧壁淋巴结也可显示。冠状位可以观察淋巴结形态、进展期肿瘤与盆腔邻近结构的关系等。而矢状位有助于肿瘤定位,评估肿瘤与腹膜反折的关系。DWI 可用于识别淋巴结及部分常规序列未能显示的肿瘤性病变^[14]。

增强扫描:钆对比剂的应用 1 不能为肿瘤及淋巴结分期提供更多信息^[15],也不能提高判定环周切缘的诊断信心^[13],所以不建议在直肠癌的诊断中常规应用增强。

3 MRI 研究进展

3.1 TNM 分期

早期使用柔性表面线圈对中下 1/3 段直肠癌 MRI 术前分期与病理对照研究显示,T 分期评价肛门括约肌的浸润特异度为 98 %,敏感度为 100 %;判断邻近脏器浸润特异度为 100 %,敏感度为 90 %;N 分期中判断 N0 期特异度为 68 %,敏感度为 24 %。提示直肠癌 MR 术前评价存在限度,尤其对 N 分期有待提高^[16]。

相控阵线圈 MRI T 分期准确率为 65-86 %,可以准确的区别 T3 和 T4 期肿瘤,判断 T3 期肿瘤敏感度为 80-86 %,特异度为 71-76 %。分期为 I 期的肿瘤患者(T1-2, N0)适合手术治疗,而 T3-4 期肿瘤患者需要术前放化疗以减少局部的复发率。相控阵线圈在区分 T1 和 T2 期肿瘤时存在困难,同时也难以界定 T1-2 期肿瘤与 T3 期肿瘤的边界^[13]。

治疗方案的选择不仅取决于局部分期,肿瘤的肠周脂肪浸润深度是评价预后及选择治疗方式的重要影响因素。最大浸润深度(maximal extramural depth, EMD)是指纵向固有肌层外缘到肿瘤外缘的距离。研究表明肿瘤肠壁外浸润超过 5 mm 的患者 5 年生存率为 54 %,明显低于浸润深度低于 5 mm 的患者(85 %)^[16]。薄层 MR 对确定浸润深度有良好的准确性。研究^[17]表明 MR 评估肿瘤浸润深度和病理有相同的准确性,误差在 0.5 mm 以内。同时也发现 MR 测量肿瘤的面积、体积等,与病理标本有较高的相关性($R=0.75$; $R=0.82$)^[18]。

影像学对转移淋巴结的判断仍然存在困难,依靠大小及形态学标准来判断容易导致误诊^[11]。MRI 术前检出转移淋巴结仅有中等的准确率,部分文献报道准确率为 71-91 %^[19]。仅凭淋巴结大小不能判断淋巴结有无转移,因为 94 %的转移淋巴结小于 5 mm^[20]。对于大于 5 mm 的淋巴结通过大小、形态(椭圆形结节 >5~6 mm)、边缘(分叶或边缘模糊)以及信号强度(不均信号)等方面能更准确的判断其是否存在转移。Chun 等^[21]研究发现 3T MRI 与 EUS 病理对照 N 分期的敏感度分别为 63.6 %、57.6 %,特异度分别为 92.3 %、82.1 %。

术前评估盆腔侧壁淋巴结对制定低位直肠癌患者的治疗方案有重要意义。Arii K 等^[22]对 53 名低位直肠癌患者进行

MRI 和 CT 对比研究发现,MRI T 分期与病理分期的符合率为 68 %,MRI 与 CT N 分期与病理分期的符合率分别为 62%和 49%。

应用磁共振对比剂超顺磁性氧化铁(USPIO)增强扫描可提高诊断淋巴结转移的准确性^[23]。一项多中心研究提示其敏感度为 91 %,特异度为 93 %^[24]。但是该对比剂短期内难以应用于临床。

一项关于 MRI 评估 TNM 分期及环周切缘判定的系统评价指出,MRI 评估环周切缘特异度明显高于 T 分期及 N 分期;但三者敏感度无显著差异。诊断优势比 CRM 与 T 分期相近,但显著高于 N 分期,表明 MRI 术前评估对 T 分期及 CRM 判定有良好的准确性,但是 N 分期准确性仍较低^[25]。综上,可以发现 MRI 对直肠癌进行术前分期需要影像诊断医生综合考虑。

3.2 术前辅助治疗疗效评价及辅助治疗对 MRI 再评估的影响

MR 对术前放化疗后的肿瘤再评估差异较大。对 35 例进展期直肠癌的研究表明辅助治疗后 T、N 分期与病理的符合率为 54 %,都存在分期过度 and 低估的问题。提示常规序列 MRI 不宜独立评价术前辅助治疗后的肿瘤,依据治疗后肿瘤的影像表现不能准确区分存活组织及失活组织,需要借助功能影像学,提高术后评价的准确性^[26]。

评估术前辅助治疗后肿瘤体积的变化,也可以间接判断肿瘤的活性,鉴别出对放化疗敏感的患者,有利于个体化治疗方案的制定。Dresen RC 研究发现术前评估为 ypT0-2 期的进展期直肠癌体积明显小于 ypT3-4 期肿瘤,而辅助治疗后体积的缩小率 ypT0-2 期肿瘤明显高于 ypT3-4 期肿瘤。研究发现术前辅助治疗前肿瘤体积 $\leq 50 \text{ cm}^3$ 而且治疗后肿瘤体积缩小率 $\geq 75\%$ 的直肠癌,离体肿瘤通常局限于直肠壁(ypT0-2)。同时研究也发现对 ypT0-2 期肿瘤存在术前评估过度的问题^[27]。对进展期直肠癌而言,辅助治疗后第 2 周早期肿瘤体积缩小率对判断辅助治疗疗效较 DWI 及 ADC 值更有意义^[28]。但是 DWI 仍然很有价值,DWI 联合 T2WI 等传统 MR 序列对发现辅助治疗后的肿瘤较 T2WI 或 PET-CT 单独评价更有优势^[29,30]。

对术前未接受放疗的患者,MRI 能可靠的预测或排除肿瘤是否累及直肠系膜筋膜(阳性预测值 80 %,阴性预测值 89 %),但对已行术前放疗的患者,MRI 常会高估肿瘤对直肠系膜筋膜的侵犯^[31],其结果可信度下降。

对于辅助治疗后转移淋巴结常规 MRI 也难以做出准确判断。USPIO 对比剂的初步研究显示其在判断治疗后良性淋巴结方面是目前最为准确的方法;而淋巴结边缘不规则、淋巴结信号强度的变化对判断淋巴结良恶性无显著意义^[32]。

3.3 环周切缘及复发

全直肠系膜切除(TME)是目前标准的直肠癌术式,该术式包括切除病变直肠及临近直肠系膜筋膜。环周切缘(CRM)即肿瘤边缘距离手术切缘的距离。在显微镜下,当肿瘤距离环周切缘 $< 1 \text{ mm}$ 时认为 CRM 阳性。环周切缘阳性是影响局部复发率和病人存活率的独立预后因素^[33]。切缘阳性患者术后复发率为 19-22 %,高于切缘阴性患者(3-5 %)^[33]。高分辨率 MRI 可以帮助判定环周切缘。Beets 等^[34]发现 MRI 预测切缘阴性有较高的准确率;CRM 预测的敏感度为 60-88 %,特异度为 73-100 %^[35]。Oh YT 等认为术前 MR 中出现直肠周淋巴结边缘不光整、呈毛刺状是判断局部复发的重要预后因素;结合临床手术

观察发现微血管浸润、局部淋巴结转移等也与局部复发存在相关性^[5]。

3.4 ADC 值的应用及价值

DWI 作为一种 MR 功能成像在直肠癌的术前诊断、分期及对术前放化疗疗效、术后复发的评估中广泛应用。表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 作为定量评价 DWI 的指标, 目前研究较多。已有研究表明直肠癌及转移淋巴结 ADC 值较低^[39], ADC 值有望成为一种判断淋巴结转移的手段。

在应用中, ADC 值的获取依赖感兴趣区的选择, 而感兴趣区的大小和位置会显著影响肿瘤 ADC 值。目前感兴趣区的选取通常采用: (1) 感兴趣区包扩全部肿瘤层面, 勾画每层肿瘤面积, 获得肿瘤整体容积 ADC 值; (2) 选取显示肿瘤最大层面勾画肿瘤面积, 取值; (3) 显示肿瘤连续层面多次采样取平均值。研究发现术前辅助治疗前肿瘤整体容积 ADC 值可重复性最好, 而采样法测得 ADC 值显著低于前两种方法。辅助治疗后三种方法测量 ADC 值无显著差异。同时认为辅助治疗后 ADC 值的可重复性减低。所以需要在测量 ADC 值时关注感兴趣区的大小及选取的部位^[39]。

不同肿瘤 ADC 值存在差异, 测量 ADC 值及肿瘤 DWI 信号强度可用于鉴别部分肿瘤类型。Nasu K 等发现肛门 - 直肠区域的肿瘤^[37], 黏液性癌与管状腺癌比较, 前者 ADC 值更高, 而信号强度低于后者。

对于辅助治疗后肿瘤反应的早期评估, 观察指标集中在治疗前后 DWI 信号强度、ADC 值与肿瘤体积变化等方面。目前研究结论不一。Lambrecht M 等认为治疗前、治疗中 (接受 10-15 %放疗剂量后), 治疗后 (术前 1-2 周) ADC 值的动态变化较肿瘤体积的变化能够更准确的评估进展期直肠癌术前辅助治疗后的反应。而在 ADC 与常规 T2WI 的比较中, 发现 ADC 能为判断辅助治疗后的淋巴结提供信息, 但是仅凭 DWI 不能提供足够的证据, 结合 DWI 及 T2WI 并不能提高诊断的准确性, T2WI 仍是观察淋巴结最为准确的序列^[38]。

3.5 场强对分期的影响

最早开展 1.5 T 与 3.0 T 直肠癌术前评估比较的 Maas 等^[39] 对同一组患者对比研究发现两者在区分 T1-2 期及 T3 期肿瘤时无明显差异。3.0 T 高分辨率扫描对鉴别 T1-2 期肿瘤的纤维组织增生及局限于 T3 期的肿瘤方面没有帮助^[39]。限于样本量, 这些发现有待大样本量研究证实。

3.0 T MR 的应用中, 对传统的 2D T2W 多平面重建及 3D T2W 序列也进行了对比, 尽管 3D T2W 有更高的信噪比^[40]。但两者对 T、N 分期的准确率及总体的图像质量 (包括伪影的影响程度) 均无显著差异。

4 结语

近十年来直肠癌的诊断及治疗都有了长足发展。目前, MRI 是唯一能够预估环周切缘, 进行术前肿瘤分期、术后评价的影像学方法, 对提示患者预后及制定手术 / 辅助治疗方案有重要意义。

术前辅助治疗已成为进展期直肠癌提高手术根治切除率和局部控制的重要手段。肿瘤对放化疗的反应, 存在很大变异, 这就需要影像学从功能和形态两方面评估辅助治疗后反应, 从而将治疗有效和无效的患者鉴别开来。MRI 可以在形态学上了解

肿瘤范围、评估辅助治疗的效果。DW-MRI 和 PET-CT 都被视为有望早期评估直肠癌术前辅助治疗反应的功能影像学方法, 但是临床应用尚需时日^[41]。

另外, MR 检查时患者的配合程度对成像及准确分期有重要影响, Suzuki C 等发现患者良好的配合有利于更准确的评估直肠前壁的浸润程度, 减小体素大小以及由于患者不配合而带来的额外扫描使检查时间增加^[42]。这就需要在实际工作中提前告知患者注意事项, 做好检查前准备工作。随着 MRI 的更广泛应用以及 MRI 仪器的快速更新和成像技术的发展, MRI 在直肠癌评估中发挥的优势和作用将愈发明显, 从而为临床诊断、治疗及预后评价带来更多有价值的信息。

参考文献 (References)

- [1] Li M, Gu J. Changing patterns of colorectal cancer in China over a period of 20 years[J]. World J Gastroenterol, 2005, 11(30): 4685-4688
- [2] Mercury Study Group. Diagnostic accuracy of preoperative magnetic resonance imaging in predicting curative resection of rectal cancer: prospective observational study[J]. BMJ, 2006, 333(7572): 779
- [3] 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[J]. Radiology, 2008, 246(2): 454-462
- [4] Williamson PR, Hellinger MD, Larach SW, et al. Endorectal ultrasound of T3 and T4 rectal cancers after preoperative chemoradiation[J]. Dis Colon Rectum, 1996, 39(1): 45-49
- [5] Oh YT, Kim MJ, Lim JS, et al. Assessment of the prognostic factors for a local recurrence of rectal cancer: the utility of preoperative MR imaging[J]. Korean J Radiol, 2005, 6(1): 8-16
- [6] 梁新梅, 程英升. 结直肠癌的影像学诊断进展 [J]. 世界华人消化杂志, 2008, 11: 1220-1227
- [7] Liang Xin-mei, Cheng Ying-sheng. Imaging diagnosis progress of colorectal cancer[J]. World Journal of Gastroenterology, 2008, 11: 1220-1227
- [8] Thaler W, Watzka S, Martin F, et al. Preoperative staging of rectal cancer by endoluminal ultrasound vs magnetic resonance imaging: preliminary results of a prospective, comparative study [J]. Dis Colon Rectum, 1994, 37(12): 1189-1193
- [9] Puli SR, Bechtold ML, Reddy JB, et al. How good is endoscopic ultrasound in differentiating various T stages of rectal cancer Meta-analysis and systematic review [J]. Ann Surg Oncol, 2009, 16(2): 254-265
- [10] Herzog U, von Flö e M, Tondelli P, et al. How accurate is endorectal ultrasound in the preoperative staging of rectal cancer?[J]. Dis Colon Rectum, 1993, 36(2): 127-134
- [11] Solomon MJ, McLeod RS. Endoluminal transrectal ultrasonography: accuracy, reliability, and validity [J]. Dis Colon Rectum, 1993, 36(2): 200-205
- [12] Low G, Tho LM, Leen E, et al. The role of imaging in the pre-operative staging and post-operative follow-up of rectal cancer[J]. Surgeon, 2008, 6(4): 222-231
- [13] Hu H, Krasinskas A, Willis J. Perspectives on current tumor-node-metastasis (TNM) staging of cancers of the colon and rectum. Semin Oncol, 2011, 38(4): 500-510
- [14] Gowdra Halappa V, Corona Villalobos CP, Bonekamp S, et al. Rectal imaging: part 1, High-resolution MRI of carcinoma of the rectum at 3

- T [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199(1): W35-42
- [14] Mizukami Y, Ueda S, Mizumoto A, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detecting lymph node metastasis of rectal cancer[J]. *World J Surg*, 2011, 35(4): 895-899
- [15] Jao SY, Yang BY, Weng HH, et al. Evaluation of gadolinium-enhanced T1-weighted magnetic resonance imaging in the preoperative assessment of local staging in rectal cancer[J]. *Colorectal Dis*, 2010, 12(11): 1139-1148
- [16] Merkel S, Mansmann U, Siassi M, et al. The prognostic inhomogeneity in pT3 rectal carcinomas[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2001, 16(5): 298-304
- [17] MERCURY Study Group. Extramural depth of tumor invasion at thin-section MR in patients with rectal cancer: results of the MERCURY study[J]. *Radiology*, 2007, 243(1): 132-139
- [18] Torkzad M, Lindholm J, Martling A, et al. Retrospective measurement of different size parameters of non-radiated rectal cancer on MR images and pathology slides and their comparison[J]. *Eur Radiol*, 2003, 13(10): 227-237
- [19] Bellows CF, Jaffe B, Bacigalupo L, et al. Clinical significance of magnetic resonance imaging findings in rectal cancer [J]. *World J Radiol*, 2011, 3(4): 92-104
- [20] Wang C, Zhou Z, Wang Z, et al. Patterns of neoplastic foci and lymph node micrometastasis within the mesorectum [J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2005, 390(4): 312-318
- [21] Chun HK, Choi D, Kim MJ, et al. Preoperative staging of rectal cancer: comparison of 3-T high-field MRI and endorectal sonography [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2006, 187(6): 1557-1562
- [22] Arai K, Takifuji K, Yokoyama S, et al. Preoperative evaluation of pelvic lateral lymph node of patients with lower rectal cancer: comparison study of MR imaging and CT in 53 patients [J]. *Langenbecks Arch Surg*, 2006, 391(5): 449-454
- [23] Koh DM, Brown G, Temple L, et al. Rectal cancer: mesorectal lymph nodes at MR imaging with USPIO versus histopathologic findings-initial observations[J]. *Radiology*, 2004, 231(1): 91-99
- [24] Mizukami Y, Ueda S, Mizumoto A, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for detecting lymph node metastasis of rectal cancer[J]. *World J Surg*, 2011, 35(4): 895-899
- [25] Al-Sukhni E, Milot L, Fruitman M, et al. Diagnostic accuracy of MRI for assessment of T category, lymph node metastases, and circumferential resection margin involvement in patients with rectal cancer: a systematic review and meta-analysis [J]. *Ann Surg Oncol*, 2012, 19(7): 2212-2213
- [26] Hoffmann KT, Rau B, Wust P, et al. Restaging of locally advanced carcinoma of the rectum with MR imaging after preoperative radio-chemotherapy plus regional hyperthermia [J]. *Strahlenther Onkol*, 2002, 178(7): 386-392
- [27] 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
- [28] Kim YC, Lim JS, Keum KC, et al. Comparison of diffusion-weighted MRI and MR volumetry in the evaluation of early treatment outcomes after preoperative chemoradiotherapy for locally advanced rectal cancer[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2011, 34(3): 570-576
- [29] Song I, Kim SH, Lee SJ, et al. Value of diffusion-weighted imaging in the detection of viable tumour after neoadjuvant chemoradiation therapy in patients with locally advanced rectal cancer: comparison with T2 weighted and PET/CT imaging [J]. *Br J Radiol*, 2012, 85(1013): 577-586
- [30] Kim SH, Lee JM, Hong SH, et al. Locally advanced rectal cancer: added value of diffusion-weighted MR imaging in the evaluation of tumor response to neoadjuvant chemo-and radiation therapy [J]. *Radiology*, 2009, 253(1): 116-125
- [31] Oberholzer K, Junginger T, Heintz A, et al. Rectal Cancer: MR imaging of the mesorectal fascia and effect of chemoradiation on assessment of tumor involvement [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2012, 36(3): 658-665
- [32] Lahaye MJ, Beets GL, Engelen SM, et al. Locally advanced rectal cancer: MR imaging for restaging after neoadjuvant radiation therapy with concomitant chemotherapy. Part II. What are the criteria to predict involved lymph nodes[J]. *Radiology*, 2009, 252(1): 81-91
- [33] Wibe A, Rendedal PR, Svensson E, et al. Prognostic significance of the circumferential resection margin following total mesorectal excision for rectal cancer[J]. *Br J Surg*, 2002, 89(8): 1067
- [34] Beets Tan RG, Beets GL, Vliegen RF, et al. Accuracy of magnetic resonance imaging in prediction of tumor-free resection margin in rectal cancer surgery[J]. *Lancet*, 2001, 357(9255): 497-504
- [35] Lahaye MJ, Engelen SM, Nelemans PJ, et al. Imaging for predicting the risk factors-the circumferential resection margin and nodal disease-of local recurrence in rectal cancer: a meta-analysis[J]. *Semin Ultrasound CT MR*, 2005, 26(4): 259-268
- [36] Lambregts DM, Beets GL, Maas M, et al. Tumor ADC measurements in rectal cancer: effect of ROI methods on ADC values and interobserver variability[J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(12): 2567-2574
- [37] Nasu K, Kuroki Y, Minami M. Diffusion-weighted imaging findings of mucinous carcinoma arising in the ano-rectal region: comparison of apparent diffusion coefficient with that of tubular adenocarcinoma [J]. *Jpn J Radiol*, 2012, 30(2): 120-127
- [38] Lambregts DM, Maas M, Riedl RG, et al. Value of ADC measurements for nodal staging after chemoradiation in locally advanced rectal cancer-a per lesion validation study[J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(2): 265-273
- [39] Maas M, Lambregts DM, Lahaye MJ, et al. T-staging of rectal cancer: accuracy of 3.0 Tesla MRI compared with 1.5 Tesla [J]. *Abdom Imaging*, 2012, 37(3): 475-481
- [40] Kaur H, Choi H, You YN. MR imaging for preoperative evaluation of primary rectal cancer: practical considerations [J]. *Radiographics*, 2012, 32(2): 389-409
- [41] Zhang XP, Sun YS. Imaging evaluation of response of rectal cancer to preoperative Chemoradiotherapy[J]. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*, 2011, 14(11): 8303
- [42] Suzuki C, Torkzad MR, Tanaka S, et al. The importance of rectal cancer MRI protocols on interpretation accuracy [J]. *World J Surg Oncol*, 2008, 6: 89