

磁共振成像技术对中晚期直肠癌新辅助放化疗术后疗效的评估进展

潘明金¹, 张庆欣^{2*}

¹青海大学研究生院, 青海 西宁

²青海省人民医院磁共振室, 青海 西宁

收稿日期: 2023年6月21日; 录用日期: 2023年7月16日; 发布日期: 2023年7月21日

摘要

结直肠癌是胃肠道最常见的恶性肿瘤之一。近年来由于饮食结构与习惯改变, 直肠癌的发病率逐年上升, 并且有逐步年轻化的趋势。随着医学技术的不断发展, 直肠癌的治疗方案和治疗效果取得了极大的进展。那么, 准确评估直肠病灶的分期与分级, 对选择术式来讲尤为重要。肠镜是检查直肠癌的金标准, 但其是一种有创检查。相对于有创的检查来讲, 患者可能在早期更倾向于选择无创的MRI检查。MRI检查在直肠有着它独特的优势, 可以准确评估病灶的分期及分级。因此, 根据直肠MRI各种检查技术的优缺点和新辅助放化疗的方案进行综述, 以期找到最佳组合来对直肠进行准确评估, 达到患者的更高需求的目的。

关键词

磁共振成像技术, 直肠癌, 新辅助放化疗, “Distance”

Progress in the Evaluation of Postoperative Efficacy of Neoadjuvant Radiotherapy and Chemotherapy for Advanced Rectal Cancer Using Magnetic Resonance Imaging Technology

Mingjin Pan¹, Qingxin Zhang^{2*}

¹Graduate School of Qinghai University, Xining Qinghai

²MRI Room of Qinghai Provincial People's Hospital, Xining Qinghai

*通讯作者。

Abstract

Colorectal cancer is one of the most common malignant tumors in the gastrointestinal tract. In recent years, due to changes in diet structure and habits, the incidence rate of rectal cancer has increased year by year, and there is a trend of gradually younger. With the continuous development of medical technology, great progress has been made in the treatment plans and effects of rectal cancer. So, accurately evaluating the staging and grading of rectal lesions is particularly important for selecting surgical procedures. Colonoscopy is the gold standard for detecting rectal cancer, but it is an invasive examination. Compared to invasive examinations, patients may prefer non-invasive MRI examinations in the early stages. MRI examination has its unique advantages in the rectum, which can accurately evaluate the staging and grading of lesions. Therefore, a review is conducted based on the advantages and disadvantages of various rectal MRI examination techniques and neoadjuvant radiotherapy and chemotherapy regimens, in order to find the best combination for accurate evaluation of the rectum and achieve the goal of higher patient needs.

Keywords

Magnetic Resonance Imaging Technology, Rectal Cancer, Neoadjuvant Chemo Radio Therapy, "Distance"

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 新辅助放化疗在直肠癌治疗上的优势

新辅助放化疗(neoadjuvant chemo radio therapy, nCRT)是目前国际公认的治疗局部进展期直肠癌(locally advanced rectal cancer, LARC)的标准方法,并被证实可有效控制肿瘤局部蔓延和扩散,降低手术难度,提高保肛率,延长患者无病生存期[1]。近年来,基于氟尿嘧啶(5-FU)为基础增敏的新辅助放化疗方案已经被美国国家综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)指南等推荐为局部进展期直肠癌的标准治疗方式,其在肿瘤降期、增加手术 R0 切除率、减少局部复发率等方面取得了明显的效果[2]。一些研究还表明,与肛门边缘的距离小于 5 或 6 厘米与良好的反应相关。王延婷的研究表明采用新辅助同步放化疗治疗局部晚期低位直肠癌患者,可改善肛门括约肌功能,调节 TRAIL、DEK 水平,且不良反应发生率低,值得临床推广应用[3]。低位直肠癌可能从放射治疗中获益更多,因为与中高位直肠肿瘤相比,它的移动性较低[1] [4] [5] [6]。

全直肠系膜切除术 TME (total mesorectal excision)手术能够切除癌细胞,控制病情进展,达到治疗效果,但手术会对患者机体造成一定损伤,影响生活质量。而新辅助放化疗是在术前对患者进行放疗和化疗,其中放疗通过对肿瘤所在位置及可能发生移动或已移动的淋巴结所在位置进行照射,且根据肿瘤体积大小采用不同照射剂量,可在一定程度上消灭肿瘤细胞,缓解病灶症状,取得良好的近期疗效[7]。而化疗中的奥沙利铂通过与细胞 DNA 发生反应产生铂链复合物,两者结合速度较快,可抑制肿瘤增殖,减少肿瘤对机体的伤害;同时,奥沙利铂可增强胸苷磷酸化酶的活性,两药合用可增强抗癌效果,且可降低毒性反应,进一步达到改善患者生活质量的作用。此外,新辅助放化疗利用多个共面或非共面照射野,

在肿瘤周围正常组织使用少量放射剂量, 可对癌旁正常组织器官起保护作用, 提高保肛率[8]。

由于新辅助治疗后直肠癌的 TNM 分期的降级, 只能反应肿瘤直观上的变化, 而不能反映肿瘤内部的微观结构的改变, 如肿瘤细胞与纤维化的比例等。因此它不能完整评价肿瘤对辅助化疗的疗效。除了常规的 TNM 分期外, 肿瘤退缩程度分级(tumor regression grading, TRG)的概念被一些学者提出来[9]。相对于 DWORAK 标准, Mandard 标准评价的指标更少, 病理科医生评价肿瘤退缩更加清晰, 并且评价结果的一致性更好。目前评价直肠癌退缩的标准, 多采用 Mandard 标准来评价, 其分级标准为: TRG1 指在病理切片上未发现肿瘤残余组织, 原始肿瘤所在的肠壁部分现纤维化样改变; TRG2 指原始肿瘤内纤维化组织中散在残余肿瘤细胞; TRG3 指原始肿瘤内虽然残余肿瘤细胞数较多, 但以纤维化为主; TRG4 指残余肿瘤细胞明显超过纤维化的范围; TRG5 指没有明显的放化疗效果[10]。参考国家卫生健康委员会中国结直肠癌诊疗规范(2020年版), 将 pTRG 分为 0~3 级[11], 参考 MERCURY 小组的研究将 mrTRG 分为 1~5 级[12]。陈红等[13]研究结果证明对于直肠癌 nCRT 后的再分期评价, 增强 MRI 检查是病理 ypT0-1 期肿瘤的唯一独立预测因素($P < 0.001$)。所以他们认为对比增强 MRI 相较于常规 T2WI 和 DWI 技术来说, 对比增强 MRI 能够准确区分直肠癌 NCRT 治疗后的 ypT0-1 期和 ypT2-4 期。

2. 磁共振技术对直肠癌评估的发展变化

MRI 检查技术从最开始的动态增强 MRI (dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)和纹理分析(TA)研究, 到基于高分辨率 T2 加权成像(high-resolution T2-weighted imaging, HRT2WI)和 DWI 的多个衍生参数, 如 IVIM、DKI、ADC (apparent diffusion coefficient 等, 逐步提高了对直肠癌分期的准确性。目前, 主要依靠 T2HR-MRI 有助于定位直肠病变部位, DWI 有助于区分残余肿瘤和纤维化。DWI 的衍生参数——DKI 在确定肿瘤完全应答中的价值, 研究规模相对较小。DKI 技术的应用需要更高的 b 值和更多的 b 值, b 值的不同组合可能会产生不同的结果[14]。但由于新辅助放化疗会导致肠壁出现水肿及周边炎症反应, DWI 很难与残存肿瘤鉴别开来, 因此对直肠癌进行分期及分级时, 要联合多个序列进行评判, 得出更准确的结果。

2.1. 常规序列 T2WI

T2 加权成像获得的冠状位、矢状位、横断位患者肠道的影像图, 可以清晰的显示不同方位的肠道情况, 尤其对直肠肠腔内情况及肠壁解剖结构的细节予以清晰显示[15] [16] [17], 并可良好显示受检者直肠系膜及腹膜反折情况[18], 但可能会忽略一些细小血管变化的情况。

2.2. DWI (Diffusion Weighted Imaging, 弥散加权成像)及衍生序列

DWI 一般采取高 b 值和低 b 值两种场强来对直肠进行扫描, 在此基础上进行加减法得到期衍生参数——ADC, 通过对 DWI 的数据进行后处理得到其他参数, 如 IVIM、DKI 等。

2.2.1. DWI 衍生参数——IVIM

体素内不相干运动弥散加权成像(intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging, IVIM-DWI)参数包括表观弥散系数(ADC)、真扩散系数(D)、假扩散系数(D*)和灌注分数(f)值[19]。可以反映组织细胞内的水分子扩散受限程度和微循环灌注情况, 比常规 MRI 更全面、更准确地反映肿瘤的微观结构[20]。有研究表明在预测直肠癌完全缓解方面最有希望的 IVIM 衍生参数可能是 D 值。pre-D 值越低[14] [21], D 值变化百分比越高[14], 以及更高的 d 值后与非 pCR (pathological complete response, 病理完全缓解)组相比, pCR 组的值有所增加。苏[22]等研究中, 多因素分析显示 D 值和 D*值与 DFS 无明显相关性, 而高 f 值与 DFS 的独立危险因素。高 f 值与组织恶性程度高有关, 据苏等人的研究推测, 随着肿瘤恶性程

度的增加, 不成熟的血管和毛细血管通透性增加, 从而导致 f 值升高, 预后变差。

2.2.2. DWI 衍生参数——DKI

扩散峰度成像(Diffusion kurtosis imaging, DKI)是一种先进的非高斯 DWI 模型, 它包含了扩散系数和峰度参数。扩散系数是与非高斯偏差相关的扩散系数(D), 而峰度系数(K)测量组织扩散与高斯模型的偏差[23]。MK [24] (mean kurtosis)值又称 K 值, 代表水分子在各个扩散梯度方向上扩散峰度的平均值, 是最具特征的 DKI 参数, 与组织微观结构的复杂性有关。黄等人的研究结果表明, MK 值与直肠癌 TN 分期和组织病理学分级具有相关性[25], 提示治疗前高 MK 值的肿瘤组织可能具有更高的组织病理学分级, 细胞增殖迅速, 故对 nCRT 更敏感[26]。但也有研究表明, Hu 等[27]的研究结果却显示 pCR 组患者治疗前 MK 值明显低于非 pCR 组患者($P < 0.05$), 与本研究结果不一致。结果的差异性很大可能取决于两组研究采取了不同的 b 值。

2.3. 动态对比增强(DCE-MRI)

动态增强 MRI(DCE-MRI)能够准确显示肿瘤区域血管内对比剂浓度随时间的变化特点, 可以定量地反映肿瘤的微循环状态、新生血管的程度和肿瘤的侵袭性[28]。研究发现 DCE 的参数, 包括血浆-血管外体积转移(Volume transfer constant, K_{trans}), 速率常数(rate constant, K_{ep}), 血管外细胞外容积分数 V_p (fractional ex-travascular extracellular space volume, V_e), 可以帮助评估 LARC 中 NAT (New Adjuvant Therapy, 新辅助放疗)的 PCR [29]。杨[30]等研究结果显示 pN1~pN2 (Pathological Nstage, 病理分期)组肿瘤组织的 K_{trans} 值较 pNO 组更低, 与 Bakke 等[31]和 Grovik 等[32]的研究结果相似, 由此提示 pN1~pN2 的直肠癌患者肿瘤原发灶区域的微循环状态发生改变, DCE-MRI 定量参数则可定量地反映这些变化。胥柏彬等[33]研究结果发现 DCE-MRI 对直肠癌系膜内 LNM(系膜内淋巴结转移)诊断准确性及敏感度显著高于 MRI, 但特异性低于 MRI, 提示 DCE-MRI 较 MRI 在直肠癌系膜内 LNM 具有更高的诊断价值。

王[34]等人对 34 例行新辅助放疗的进展期直肠癌患者进行研究, 研究表示进展期直肠癌新辅助放疗后, 以手术病理分期为金标准, DCE-MRI 术前 T 分期准确率为 88.24%。上述研究结果表明 DCE-MRI 在进展期直肠癌新辅助放疗后, 根治性全直肠系膜切除术前分期中均具有良好的应用价值, DCE-MRI 能有效区分癌灶周围炎症组织与纤维化, 而提高术前分期准确率。王延婷[35]研究表明在本研究内, nCRT 前 T 下降组的数值高于其他组, 可见化疗药物可迅速进入到高透性的血管内, 该血管的氧合能力较强, 放射敏感性较高。与之相反, 就 K_{trans} 值制表, 有效组低于无效组。该研究认为, nCRT 之后, ADC 增长率、NCRT 前 K_{trans} 值能够预测治疗方案疗效, 明确其价值[36] [37]。

3. Distance 的定义及应用

MRI 对于直肠病变整体评估进行系统的解释采用一个英文单词来概括——“distance”, 便于临床工作者在分期上做出更加准确的判断。

3.1. DIS: 肿瘤到肛缘的距离

在评估 MRI 对直肠癌分期时, 第一步是评估肿瘤位置, 描述肿瘤下极到肛缘的距离根据大体解剖将直肠分为三段: 分别为上、中、下段(上: 0~5 cm; 中: 5.1~10 cm; 下: 10~15 cm)。

3.2. T: 肿瘤分期

T1 期肿瘤浸润粘膜下层, T2 期肿瘤浸润固有肌层[38]。T3 期肿瘤侵犯直肠系膜或直肠系膜筋膜。此外, 当发现淋巴结或肿瘤位于直肠低位时, 计划进行新辅助 CRT 可降低局部复发率, 有利于手术切除

[39] [40]。T4 肿瘤是浸润腹膜反射(T4a)或其他盆腔器官和结构(T4b)的肿瘤[41]。

3.3. A: 肛门括约肌复合体状态

低位直肠癌靠近肛门括约肌复合体,更容易侵入 MRF 及邻近器官,约 30%的病例手术边缘呈阳性[42] [43]。Slater *et al.* [44]建议 T1-T2 和 T3-T4 肿瘤的远端切缘分别为 1 cm 和 2 cm。当肿瘤延伸至肛门直肠交界处以下时,必须评估肛门括约肌的侵犯:内括约肌、内括约肌平面和外括约肌、肛提肌的浸润[41]。

3.4. N: 淋巴结

MRI 评估结直肠癌淋巴结是否转移主要基于淋巴结的大小、信号强度和边界轮廓,当淋巴结大小超过 5 mm,内部信号混杂和边界不规则时,往往怀疑该淋巴结存在转移倾向[45]。

3.5. C: 环周切缘(CRM)

在 MRI 中,CRM 状态可以通过测量肿瘤最外层与 MRF 之间的最短距离来获得[39] [46]。对于手术发现,肿瘤外缘与 MRF 的距离小于 1 mm,可能为阳性,1~2 mm [47]为威胁。

3.6. EMVI: 壁外血管

EMVI 定义为固有肌层以外的脉管系统中存在肿瘤细胞,是一个负预后指标,预示着转移性疾病、疾病复发增加、术前 CRT 反应差和生存率较低[48]。

4. 结论

直肠癌是消化道肿瘤中发病率较高的肿瘤之一,如不及早发现,随着病程的快速发展,有可能会发生转移的风险,致死率高,所以临床需要准确的分级分期来进行准确的判断,决定患者是否拥有手术机会。MRI 检查在直肠癌诊断中的有着明显的优势。相对于其他有创的检查手段来讲,此大多数病人都更倾向于选择无创且准确率高的检查手段,如 MRI 检查。由于新辅助放化疗会导致肠壁出现水肿及周边炎症反应,DWI 很难与残存肿瘤鉴别开来,因此对直肠癌进行分期及分级时,要联合多个序列进行评判。

综上所述,直肠癌患者术前准确分析诊断,能够对于新辅助化疗开展具备重要意义,实现肿瘤分期降低,为手术治疗积极创造有利条件,能够改善预后结局,使术后复发风险降低[49]。尽量统一 NAT 期间的 MRI 评估时间间隔,一般选在新辅助放化疗前和新辅助放化疗后 6~8 周进行直肠 MRI 评估。研究人员已经发现了一些有希望的磁共振参数来评估直肠癌的完全缓解。结合患者的临床特征,有助于帮助提高 MRI 评估的准确性。根据个人特异性和 MRI 再分期结果,调整新辅助放化疗的方案,达到患者保肛的需求。

参考文献

- [1] Joshua, S.J. and Garcia-Aguilar, J. (2015) Advances and Challenges in Treatment of Locally Advanced Rectal Cancer. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, **33**, 1797-1808. <https://doi.org/10.1200/JCO.2014.60.1054>
- [2] Petersen, S.H., Harling, H., Kirkeby, L.T., *et al.* (2012) Postoperative Adjuvant Chemotherapy in Rectal Cancer Operated for Cure. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 3, CD004078. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004078.pub2>
- [3] 王廷婷. 新辅助同步放化疗治疗局部晚期低位直肠癌患者的临床疗效及安全性[J]. 当代医学, 2022, 28(13): 99-101.
- [4] Yu, S.K., Tait, D., Chau, I. and Brown, G. (2013) MRI Predictive Factors for Tumor Response in Rectal Cancer Fol-

- lowing Neoadjuvant Chemoradiation Therapy-Implications for Induction Chemotherapy? *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, **87**, 505-511. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2013.06.2052>
- [5] Das, P., Skibber, J.M., Rodriguez-Bigas, M.A., et al. (2007) Predictors of Tumor Response and Downstaging in Patients Who Receive Preoperative Chemoradiation for Rectal Cancer. *Cancer*, **109**, 1750-1755. <https://doi.org/10.1002/cncr.22625>
- [6] Armstrong, D., Raissouni, S., Price Hiller, J., et al. (2015) Predictors of Pathologic Complete Response after Neoadjuvant Treatment for Rectal Cancer: A Multicenter Study. *Clinical Colorectal Cancer*, **14**, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.clcc.2015.06.001>
- [7] 温咏珊, 吴晓丹, 刘倩雯, 等. 接受术前新辅助放化疗及预防性造口术的中低位直肠癌患者肠道功能变化研究[J]. 中国全科医学, 2018, 21(36): 4459-4463.
- [8] 巴雅尔, 张美云, 高辉, 吕艺华, 闫志虹. 新辅助放化疗在直肠癌患者中的应用效果分析[J]. 基层医学论坛, 2021, 25(1): 57-59. <https://doi.org/10.19435/j.1672-1721.2021.01.028>
- [9] Nishie, A., Takayama, Y., Asayama, Y., et al. (2018) Amide Proton Transfer Imaging Can Predict Tumor Grade in Rectal Cancer. *Magnetic Resonance Imaging*, **51**, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2018.04.017>
- [10] 李杰. 多模态 MR 成像在直肠癌新辅助治疗后再评估中的临床应用研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2019. <https://doi.org/10.27262/d.cnki.gqdau.2019.002233>
- [11] 中国结直肠癌诊疗规范(年版)专家组. 国家卫生健康委员会中国结直肠癌诊疗规范(2020 年版) [J]. 中华胃肠外科杂志, 2020, 23(6): 521-540. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn.441530-20200520-00289>
- [12] Patel, U.B., Taylor, F., Blomqvist, L., et al. (2011) Magnetic Resonance Imaging-Detected Tumor Response for Locally Advanced Rectal Cancer Predicts Survival Outcomes: Mercury Experience. *Journal of Clinical Oncology*, **29**, 3753-3760. <https://doi.org/10.1200/JCO.2011.34.9068>
- [13] Lu, Q.Y., Guan, Z., Zhang, X.Y., Li, X.T., Sun, R.J., Li, Q.Y., 陈红. 对比增强 MRI 预测局部进展期直肠癌新辅助放化疗后的 T 再分期[J]. 国际医学放射学杂志, 2023, 46(1): 104. <https://doi.org/10.19300/j.2023.r1105>
- [14] Xu, Q., Xu, Y., Sun, H., et al. (2018) Quantitative Intravoxel Incoherent Motion Parameters Derived from Whole-Tumor Volume for Assessing Pathological Complete Response to Neoadjuvant Chemotherapy in Locally Advanced Rectal Cancer. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **48**, 248-258. <https://doi.org/10.1002/jmri.25931>
- [15] 张景, 靳恒军, 张芳, 等. DWI 和 T2WI 直肠癌体积测量与壁外血管侵犯、淋巴结转移的相关性[J]. 放射学实践, 2020, 35(9): 1151-1156.
- [16] 傅爱燕, 段书峰, 冯峰, 等. MR 高分辨 T2WI 联合 IVIM 对直肠癌壁外血管侵犯的预测价值[J]. 山东医药, 2020, 60(10): 52-54.
- [17] 吴德生, 梁焯鑫, 陈秀婵, 等. 高分辨 T2WI 在直肠癌壁外血管侵犯诊断中的应用价值[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2020, 18(6): 548-551.
- [18] 郭婧, 高洁, 郭世欣, 勾少波, 贺燕林. T₂WI 联合 DWI 用于直肠癌的诊断、术前分期效能及 rADC、ADC 值与患者临床特征的相关性[J]. 生物医学工程与临床, 2023, 27(1): 31-36. <https://doi.org/10.13339/j.cnki.sglc.20230103.004>
- [19] 信超, 孙轶群, 毛健, 等. 体素内不相干运动扩散加权成像在预测局部进展期直肠癌新辅助放化疗疗效中的初步研究[J]. 中国癌症杂志, 2017, 27(12): 985-991.
- [20] Qiu, L., Liu, X.L., Liu, S.R., et al. (2016) Role of Quantitative Intravoxel Incoherent Motion Parameters in the Preoperative Diagnosis of Nodal Metastasis in Patients with Rectal Carcinoma. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **44**, 1031-1039. <https://doi.org/10.1002/jmri.25250>
- [21] Liang, C.Y., Chen, M.D., Zhao, X.X., Yan, C.G., Mei, Y.J. and Xu, Y.K. (2019) Multiple Mathematical Models of Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging Combined with Prognostic Factors for Assessing the Response To neoadjuvant Chemotherapy and Radiation Therapy in Locally Advanced Rectal Cancer. *European Journal of Radiology*, **110**, 249-255. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.12.005>
- [22] 苏日新, 何义富. 临床、IVIM-DWI 和 MRI 影像组学参数预测直肠癌患者术后无病生存期的价值[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(5): 36-38.
- [23] Jensen, J.H., Helpert, J.A., Ramani, A., Lu, H. and Kaczynski, K. (2005) Diffusional Kurtosis Imaging: The Quantification of Non-Gaussian Water Diffusion by Means of Magnetic Resonance Imaging. *Magnetic Resonance in Medicine*, **53**, 1432-1440. <https://doi.org/10.1002/mrm.20508>
- [24] 周洋, 徐鹏举. 扩散峰度成像(DKI)在体部应用的研究进展[J]. 复旦学报(医学版), 2018, 45(6): 911-915, 920.
- [25] 陈维翠, 李玲, 冯洁萍, 等. 扩散峰度成像与直肠腺癌分期及组织病理学分级的相关性研究[J]. 临床放射学杂志,

- 2020, 39(11): 2238-2243.
- [26] Chen, W.C., Mao, L.T., Li, L., Wei, Q.R., Hu, S.W., Ye, Y.S., Feng, J.P., Liu, B. and Liu, X. (2021) Predicting Treatment Response of Neoadjuvant Chemoradiotherapy in Locally Advanced Rectal Cancer Using Amide Proton Transfer MRI Combined with Diffusion-Weighted Imaging. *Frontiers in Oncology*, **11**, Article ID: 698427. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.698427>
- [27] Hu, F.X., Tang, W., Sun, Y.Q., Wan, D., Cai, S.J., Zhang, Z., et al. (2017) The Value of Diffusion Kurtosis Imaging in Assessing Pathological Complete Response to Neoadjuvant Chemoradiation Therapy in Rectal Cancer: A Comparison with Conventional Diffusion-Weighted Imaging. *Oncotarget*, **8**, 75597-75606. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.17491>
- [28] 赵丽, 张红梅, 赵心明. 定量磁共振在直肠癌术前评估中的研究进展[J]. 放射学实践, 2021, 36(10): 1312-1315.
- [29] Xu, Q.Y., Xu, Y.Y., Sun, H.L., Jiang, T., Xie, S., Ooi, B.Y. and Ding, Y. (2021) MRI Evaluation of Complete Response of Locally Advanced Rectal Cancer after Neoadjuvant Therapy: Current Status and Future Trends. *Cancer Management and Research*, **13**, 4317-4328. <https://doi.org/10.2147/CMAR.S309252>
- [30] 杨彦松, 李君, 张明珠, 邱永娟, 王勇, 李鼎, 张益飞. DCE-MRI 定量参数联合高分辨率 T₂WI 预测直肠腺癌病理 N 分期的价值[J]. 放射学实践, 2023, 38(4): 459-467. <https://doi.org/10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.04.015>
- [31] Bakke, K.M., Meltzer, S., Grøvik, E., Negård, A., Holmedal, S.H., Gjesdal, K.I., et al. (2020) Sex Differences and Tumor Blood Flow from Dynamic Susceptibility Contrast MRI Are Associated with Treatment Response after Chemoradiation and Long-Term Survival in Rectal Cancer. *Radiology*, **297**, 352-360. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200287>
- [32] Grøvik, E., Redalen, K.R., Storås, T.H., Negård, A., Holmedal, S.H., Ree, A.H., et al. (2017) Dynamic Multi-Echo DCE- and DSC-MRI in Rectal Cancer: Low Primary Tumor K_{trans} and ΔR₂* Peak Are Significantly Associated with Lymph Node Metastasis. *Journal of Magnetic Resonance Imaging: JMIR*, **46**, 194-206. <https://doi.org/10.1002/jmri.25566>
- [33] 胥彬彬, 向春锋, 梁双, 赵春刚, 虞樱篮, 吴治伟. DCE-MRI 对直肠癌系膜内淋巴结转移诊断价值分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022, 20(9): 161-162+186.
- [34] 王智清, 陶芳旭, 彭容, 张其林, 金斌, 张文韬. DCE-MRI 预测进展期直肠癌新辅助放化疗效果中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2020, 18(1): 137-139+2.
- [35] 王廷婷. 弥散加权成像(DWI)、动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI)对局部进展期直肠癌新辅助放化疗疗效的预测价值研究[J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29(7): 89-91. <https://doi.org/10.15971/j.cnki.cmdi.2023.07.035>
- [36] 杨李. DCE-MRI 对直肠癌周围系膜内转移性淋巴结的诊断价值以及对中低位 LARC 新辅助放化疗应答的预测和评估价值[J]. 山东医药, 2019, 59(34): 10-13.
- [37] 桂冰, 张炜. MRI 及 DCE-MRI 在直肠癌术前诊断及分期中的应用价值[J]. 实用癌症杂志, 2018, 28(6): 696-699.
- [38] Nougaret, S., Jhaveri, K., Kassam, Z., Lall, C. and Kim, D.H. (2019) Rectal Cancer MR Staging: Pearls and Pitfalls at Baseline Examination. *Abdominal Radiology*, **44**, 3536-3548. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02024-0>
- [39] Curvo-Semedo, L. (2019) Rectal Cancer: Staging. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, **28**, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2019.09.003>
- [40] Maas, M., Dijkhoff, R.A.P. and Beets-Tan, R. (2020) Rectal Cancer: Assessing Response to Neoadjuvant Therapy. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, **28**, 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2019.09.004>
- [41] Cianci, R., Cristel, G., Agostini, A., Ambrosini, R., Calistri, L., Petralia, G. and Colagrande, S. (2020) MRI for Rectal Cancer Primary Staging and Restaging after Neoadjuvant Chemoradiation Therapy: How to Do It during Daily Clinical Practice. *European Journal of Radiology*, **131**, Article ID: 109238. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109238>
- [42] Shihab, O.C., Brown, G., Daniels, I.R., Heald, R.J., Quirke, P. and Moran, B.J. (2010) Patients with Low Rectal Cancer Treated by Abdominoperineal Excision Have Worse Tumors and Higher Involved Margin Rates Compared with Patients Treated by Anterior Resection. *Diseases of the Colon & Rectum*, **53**, 53-56. <https://doi.org/10.1007/DCR.0b013e3181c70465>
- [43] Shihab, O.C., Moran, B.J., Heald, R.J., Quirke, P. and Brown, G. (2009) MRI Staging of Low Rectal Cancer. *European Radiology*, **19**, 643-650. <https://doi.org/10.1007/s00330-008-1184-6>
- [44] van der Valk, M.J.M., Hilling, D.E., Bastiaannet, E., Meershoek-Klein Kranenbarg, E., Beets, G.L., Figueiredo, N.L., et al. (2018) Long-Term Outcomes of Clinical Complete Responders after Neoadjuvant Treatment for Rectal Cancer in the International Watch & Wait Database (IWWD): An International Multicentre Registry Study. *The Lancet*, **391**, 2537-2545.
- [45] Boot, J., Gomez-Munoz, F. and Beets-Tan, R. (2019) Imaging of Rectal Cancer. *Die Radiologie*, **59**, 46-50. <https://doi.org/10.1007/s00117-019-0579-5>

-
- [46] Horvat, N., Carlos Tavares Rocha, C., Clemente Oliveira, B., Petkovska, I. and Gollub, M.J. (2019) MRI of Rectal Cancer: Tumor Staging, Imaging Techniques, and Management. *Radiographics*, **39**, 367-387. <https://doi.org/10.1148/rg.2019180114>
- [47] Taylor, F.G., Quirke, P., Heald, R.J., Moran, B., Blomqvist, L., Swift, I., *et al.* (2011) One Millimetre Is the Safe Cut-Off for Magnetic Resonance Imaging Prediction of Surgical Margin Status in Rectal Cancer. *British Journal of Surgery*, **98**, 872-879. <https://doi.org/10.1002/bjs.7458>
- [48] Bugg, W.G., Andreou, A.K., Biswas, D., Toms, A.P. and Williams, S.M. (2014) The Prognostic Significance of MRI-Detected Extramural Venous Invasion in Rectal Carcinoma. *Clinical Radiology*, **69**, 619-623. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2014.01.010>
- [49] 王治. MRI 与 CT 在直肠癌术前分期诊断中的应用价值[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(6): 132-134.