

3D-SPACE联合DWI序列在直肠癌术前评估固有肌层突破的价值

陈 诚*, 全栩毅, 钱卓宇, 段圣武[#]

吉首大学株洲临床学院影像中心, 湖南 株洲

收稿日期: 2025年9月16日; 录用日期: 2025年10月9日; 发布日期: 2025年10月16日

摘 要

目的: 探讨高分辨率三维可变翻转角快速自旋回波序列(3D-SPACE)诊断直肠癌术前固有肌层突破的价值。方法: 选取2019年1月至2023年6月直肠癌术后确诊的55例直肠癌患者MRI资料, 所有患者均行3D-SPACE、DWI序列检查。以病理结果为金标准, 比较单独序列及联合序列诊断术前直肠癌肌层突破准确性、敏感性、特异性、阳性、阴性预测值, 采用Kappa检验比较它们与病理结果的一致性; 结果: 单一序列与联合序列诊断的准确性、特异性、阳性、阴性预测值分别为78.2%、84.4%、69.6%、79.4%、76.2%, 及87.3%、90.9%、81.8%、88.2%、85.7%; Kappa值分别为0.55及0.73。结论: 3D-SPACE联合DWI序列能够提高术前MRI诊断直肠癌术前肌层突破准确性, 为临床治疗方法提供参考。

关键词

直肠癌, 磁共振成像, 固有肌层

The Value of 3D-SPACE Combined with DWI in Preoperatively Assessing Muscularis Propria Invasion in Rectal Cancer

Cheng Chen*, Xuyi Quan, Zhuoyu Qian, Shengwu Duan[#]

Imaging Center, Zhuzhou Clinical College of Jishou University, Zhuzhou Hunan

Received: September 16, 2025; accepted: October 9, 2025; published: October 16, 2025

*第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 陈诚, 全栩毅, 钱卓宇, 段圣武. 3D-SPACE 联合 DWI 序列在直肠癌术前评估固有肌层突破的价值[J]. 临床医学进展, 2025, 15(10): 1565-1570. DOI: 10.12677/acm.2025.15102921

Abstract

Objective: To evaluate the value of high-resolution three-dimensional variable flip-angle fast spin-echo (3D-SPACE) sequence in diagnosing muscularis propria invasion in preoperative rectal cancer. **Methods:** MRI data of 55 patients with pathologically confirmed rectal cancer after surgery, collected from January 2019 to June 2023, were analyzed. All patients underwent 3D-SPACE and DWI (Diffusion-Weighted Imaging) sequences. Using pathological findings as the gold standard, the accuracy, sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) of individual sequences and the combined sequence were compared. Consistency with pathological results was assessed using Kappa statistic. **Results:** The diagnostic accuracy, specificity, PPV, and NPV for the individual sequence and the combined sequence were 78.2%, 84.4%, 69.6%, 79.4%, 76.2% and 87.3%, 90.9%, 81.8%, 88.2%, 85.7%, respectively. The Kappa values were 0.55 and 0.73, respectively. **Conclusion:** The combination of 3D-SPACE and DWI sequences can improve the accuracy of preoperative MRI in diagnosing muscularis propria invasion in rectal cancer, providing valuable reference for clinical treatment planning.

Keywords

Rectal Cancer, Magnetic Resonance Imaging, Muscularis Propria

Copyright © 2025 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. 引言

结直肠癌是第三大常见癌症,也是癌症死亡的第二大原因[1]。分期是结直肠癌选择治疗方式的关键,对于结直肠癌 T2 期推荐手术治疗,对于 T3 期则是先进行化疗再进行手术治疗[2]。对于 T2/T3 期的区分主要是判断肿瘤是否突出肌层外,因此判断肿瘤肌层突破的对患者治疗方法选择有着重要意义。MRI 在直肠癌分期中发挥着重要作用[3],然而对于 T2/T3 分期判断仍有一定局限性,这是因为当肿瘤临近肌层,周围出现增生纤维组织时,肉眼会误判为肿瘤突破肌层,从而造成 T3 期过度分期[4]。3D-SPACE 序列具有高采集率的高分辨率图像,该技术对于细小解剖显示以及评估肿瘤的侵犯程度具有其特有的诊断价值[5]-[7]。而 DWI 是一种能反映组织水分子运动的序列,可以敏感的检测肿瘤细胞浸润区的改变,它能起到重要辅助作用,可以避免仅 3D-SPACE 序列从形态学诊断劣势[8]。本研究旨在评价联合 3D-SPACE 序列及 DWI 在序列直肠癌术前肌层突破的价值应用价值。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

选取 2019 年 1 月至 2023 年 6 月在株洲市中心医院确诊且经手术病理证实的直肠腺癌患者 55 例,其中男 33 例,女 22 例,年龄 45~84 岁,平均 (63.64 ± 10.45) 岁。其中低分化腺癌 12 例,中分化腺癌 25 例,高分化腺癌 13 例,溃疡型 30 例,隆起型 25 例。所有患者临床资料齐全且均于术前接受 MRI 检查,且具有完整病理资料。

纳入标准:无其他原发肿瘤病史;术前 1~2 周均接受 MRI 检查,且检查前未接受相关肿瘤治疗;排

除标准：因其他肿瘤接受化疗患者；MRI 检查与手术时间相差半个月以上。

2.2. 研究分组

病理根据肌层是否突破分为 T2 期和 T3 期，其中 T2 期 23 例患者；T3 期 32 例患者。本研究获得株洲中心医院伦理委员会批准(审批号：KY2025073-01)。

2.3. 检查设备和方法

采用 Siemens 3.0T 超导型磁共振扫描仪，使用盆腔多通道相控阵线圈，检查前 2 天，患者检查前 6 小时需禁食，以排除肠内容物干扰。检查序列主要参数：(1) 轴位 3D-SPACE 序列：TR 2000 ms，TE 128 ms，层厚 2 mm，层间距 0 mm，FOV 178 mm × 178 mm；(2) DWI：TR 3000 ms，TE 50 ms，层厚 5 mm，层间距 0.7 mm FOV 380 mm × 380 mm，b 值为 0、800 s/mm²。

2.4. 观察指标与图像分析

检查结束后，将图像上传至 GE 公司 Centricity™ Universal Viewer7.0 工作站，判断肿瘤分期标准参考第 8 版美国联合委员会结直肠癌分期系统[9]，T2 期即肿瘤浸润固有肌层，T3 期即肿瘤突破固有肌层至浆膜下层或侵犯无腹膜覆盖的直肠旁组织。3D-SPACE 序列图像表现：T2 期即肿瘤侵犯肌层低信号带但未穿透肌层或带有细索条贯穿(指宽度小于 2 mm、高于肌层低信号)，T3 期即肿瘤侵犯致肌层低信号带不连续，有结节样外凸或壁外条索影和结节样外凸同时存在，与此同时借助 DWI 序列辅助判断，直肠肿块在 DWI 序列呈高信号，ADC 序列呈低信号，先只用 3D-SPACE 序列分析，一个月后再用 3D-SPACE 序列及 DWI 序列联合分析，当 3D-SPACE 序列图像具有肌层突破征象并伴有 DWI 弥散受限(DWI 序列呈高信号，ADC 序列呈低信号)则归为 T3 期，当 3D-SPACE 序列图像不具有肌层突破征象则归为 T2 期，当 3D-SPACE 序列图像具有可疑肌层突破征象，借助 DWI 序列辅助判断，若伴有 DWI 弥散受限则归为 T3 期，否则 T2 期。由两位具有丰富盆腔磁共振诊断经验医师共同分析图像，意见存在分歧时，讨论达成一致。典型图像资料(见图 1，图 2)

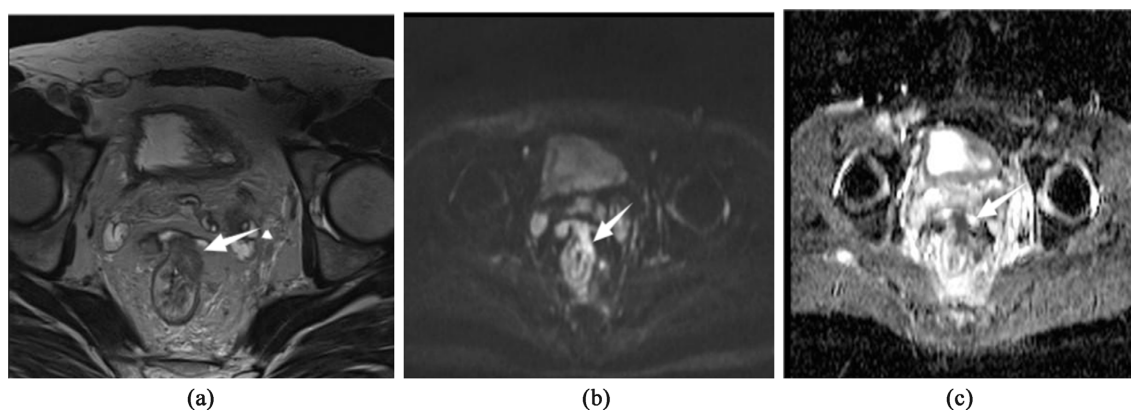


Figure 1. The rectal carcinoma penetrates the muscular layer from the anterolateral aspect

图 1. 直肠癌从左前方突破肌层

图 1(a)为 3D-SPACE 图像，显示左前方肌层不连续，见结节状低信号影。图 1(b)为 DWI 图像，病灶呈明显高信号。图 1(c)为 ADC 图，病灶呈低信号。

图 2(a)为 3D-SPACE 图像，显示肿瘤右前方脂肪间隙模糊，可见毛刺影。图 2(b)为 DWI 图像，病灶呈等信号。图 2(c)为 ADC 图，病灶呈等信号。

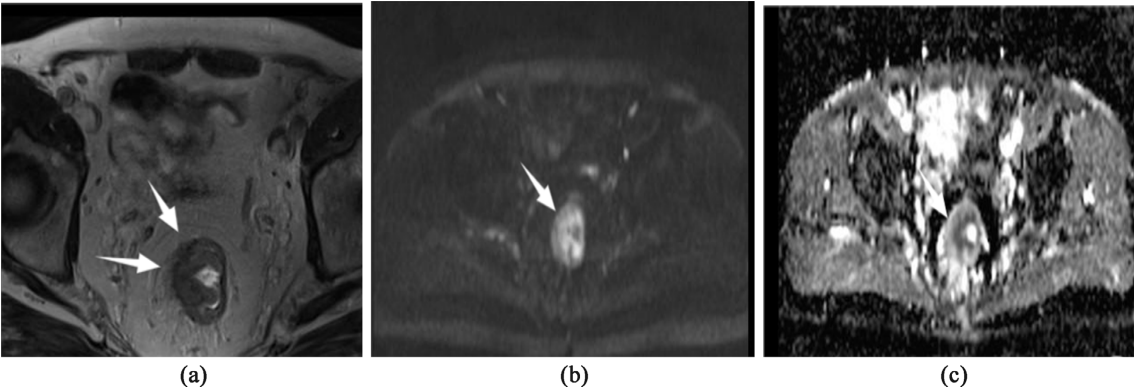


Figure 2. The rectal carcinoma is confined to the muscular layer
图 2. 直肠癌未突破肌层

2.5. 统计学方法

以直肠癌术后病理分期作为金标准，分别计算单一序列及联合序列的准确性、敏感性、特异性、阳性、阴性预测值，运用 SPSS 27 Kappa 检验影像诊断与病理的一致性，Kappa 值 < 4 ，认为两者一致性较差， $4 < \text{Kappa 值} < 6$ 为一般， $6 < \text{Kappa 值} < 8$ 为良好， $8 < \text{Kappa 值} < 1$ 为几乎一致。

3. 结果

3.1. 3D-SPACE 序列对于直肠癌术前肌层突破的价值

单一序列对于直肠癌术前肌层突破准确性、敏感性、特异性、阳性、阴性预测值分别为 78.2%、84.4%、69.6%、79.4%、76.2%，Kappa 值为 0.55 ($P < 0.01$) (见表 1)。

Table 1. Single sequence staging
表 1. 单一序列分期情况

3D-SPACE 序列分组	术后病理分期		合计
	T2 期	T3 期	
T2 期	16	5	21
T3 期	7	27	34
合计	23	32	55

3.2. 3D-SPACE 序列联合 DWI 对于直肠癌术前肌层突破的价值

联合序列对于直肠癌术前肌层突破准确性、敏感性、特异性、阳性、阴性预测值分别为 87.3%、90.9%、81.8%、88.2%、85.7%，Kappa 值为 0.73 ($P < 0.01$) (见表 2)。

Table 2. Multisequence staging
表 2. 联合序列分期情况

3D-SPACE 序列联合 DWI 分组	术后病理分期		合计
	T2 期	T3 期	
T2 期	18	3	21
T3 期	4	30	34
合计	22	33	55

4. 讨论

直肠术前分期对临床治疗具有十分重要的指导意义,肌层在肿瘤分期中发挥着重要作用,为 T2 期与 T3 的分界线,突破肌层将会使淋巴结转移的风险变大,需要化疗后再进行手术切除治疗[2] [10]。为此,如何减少 T2 期患者过度治疗或 T3 期患者治疗不足是我们要解决的问题。

MRI 在直肠癌分期中发挥着重要作用,在美国国立综合癌症网络、欧洲肿瘤内科会议与中国大肠癌诊治规范获得较高认可,其软组织分辨力强,同时具有多序列优势,对肌层的显示及侵犯情况具有很高的价值[11]。

既往国外有研究表明 MRI 对于直肠癌肌层浸润有较高的诊断价值[12],国内研究表明 T2WI 序列对直肠癌肌层突破具有很好的作用[13],但传统 T2WI 序列层厚较大,3D-SPACE 序列作为 T2WI 序列一种特殊类型,能够提供清晰解剖细节,它能像高分辨 CT 一样在任意平面进行高质量的多平面重组(MPR),展现直肠壁的各层结构,这对于精细评估肿瘤浸润深度,观察固有肌层的完整性或中断以及判断突破点至关重要,以往研究表明其图像信噪比高于常规 T2WI 序列[7],因此笔者试图用 3D-SPACE 序列代替 T2WI 序列。在 3D-SPACE 序列上常以“毛刺征”来作为肿瘤是否突破肌层的依据,从病理角度上说,它常常说明两种状态,一种是肿瘤浸润,另外一种为肿瘤周围增生的纤维组织及炎症反应[14],这表明仅从单一序列鉴别直肠癌肌层突破存在局限性。DWI 序列上肿瘤细胞由于增生活跃及核质比高,其细胞外水分子相对较少,在 DWI 上常表现为明显高信号,而肿瘤周围炎症反应及增生纤维则表现为等或低信号[15]。故笔者试图从联合两种序列对肌层突破进行鉴别。

在本研究中发现联合序列的对肌层突破判断的准确率较单一序列高(87.3% VS 78.2%),与病理结果的符合程度也高(0.55 VS 0.73),分析其主要原因是 3D-SPACE 序列能清晰勾画解剖边界,明确肿瘤主体与肌层的关系,多平面重建的优势可以从多个角度观察直肠壁的侵犯情况,不遗漏病灶。DWI 则敏感提示肿瘤细胞活跃的区域,当二者同时在肌层突破区域表现出阳性征象时会使诊断信心大幅增加,当 3D-SPACE 序列出现假阳性征象时,又可见通过观察 DWI 信号强弱来进行辅助判断。这种“结构 + 功能”的整合,正时本研究联合诊断效能优于单一序列的核心原因。研究中有 3 例患者出现了分期不足,分析其原因:第一可能肉眼难以观察早期细微的肌层突破变化,两种序列信号改变都不明显,第二可能是肠道迂曲导致肌层突破区域未能准确识别。有 4 例患者出现了过度分期,分析其原因:第一本研究老年人占大多数,可能由于检查时间过长,配合度较差而出现伪影导致,第二可能肠壁水肿而造成 DWI 高信号误判。

本文的不足:1) 本研究中只纳入的术前直肠癌患者的肌层侵犯情况,并没有纳入新辅助治疗后的病例,有望下一步研究中继续探讨。2) 本研究是回顾性单中心研究,样本数相对有限,可能存在选择偏倚,有待多中心、大样本前瞻性研究进一步验证。

综上所述,3D-SPACE 联合 DWI 序列在直肠癌术前肌层突破影像评估价值高于单一序列,为临床医生提供了更精确的术前信息。未来结合 AI、多参数分析和标准化建设,有望优化这策略,更好地指导临床,改善患者预后。

参考文献

- [1] Gajah, S. and Martupa Lumbantoruan, J. (2024) Epidemiology and Risk Factors for Colorectal Rectal Cancer: An Update Systematic Review. *Journal of Advanced Research in Medical and Health Science (ISSN 2208-2425)*, **10**, 189-195. <https://doi.org/10.61841/mt13mf69>
- [2] 国家卫健委中国结直肠癌诊疗规范(2023 版) [J]. 中国实用外科杂志, 2023, 43(6): 602-630.
- [3] Cai, R. and Ren, G. (2017) Magnetic Resonance Imaging of Rectal Cancer. *World Chinese Journal of Digestology*, **25**, 3104-3108. <https://doi.org/10.11569/wcjd.v25.i35.3104>
- [4] Johnston, F.M., Yeo, H.L., Clark, C. and Stewart, J.H. (2022) Bias Issues in Colorectal Cancer Management: A Review.

- Annals of Surgical Oncology*, **29**, 2166-2173. <https://doi.org/10.1245/s10434-021-10232-6>
- [5] 段圣武, 李一辉, 刘珺, 等. 增强 3D-Space-iso 序列在全段脊神经根成像中的临床应用[J]. 磁共振成像, 2015, 6(10): 773-777.
- [6] Chen, Y., Cai, S., Li, X., Zhang, J., Wei, L. and Wang, S. (2024) MRI 3D SPACE T2WI for Pituitary Adenoma Cavernous Sinus Invasion Diagnosis. *World Neurosurgery*, **185**, e1257-e1267. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.03.066>
- [7] 邓喜青, 段圣武, 陈彩芳, 等. 3D-SPACE 序列在前列腺癌包膜侵犯的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(10): 1727-1730.
- [8] 孙洪侠, 解福友, 王利. 3.0T MRI 及 DWI 在直肠癌诊断及术前分期评估中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2025, 23(7): 148-150.
- [9] Amin, M.B., Greene, F.L., Edge, S.B., Compton, C.C., Gershenwald, J.E., Brookland, R.K., *et al.* (2017) The Eighth Edition AJCC Cancer Staging Manual: Continuing to Build a Bridge from a Population-Based to a More “Personalized” Approach to Cancer Staging. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **67**, 93-99. <https://doi.org/10.3322/caac.21388>
- [10] Ushigome, H., Ohue, M., Kitamura, M., Nakatsuka, S., Haraguchi, N., Nishimura, J., *et al.* (2020) Evaluation of Risk Factors for Lymph Node Metastasis in T2 Lower Rectal Cancer to Perform Chemoradiotherapy after Local Resection. *Molecular and Clinical Oncology*, **12**, 390-394. <https://doi.org/10.3892/mco.2020.1993>
- [11] 陈诚, 钱卓宇, 全栩毅, 等. 结直肠癌浆膜及肌层受累影像诊断的研究进展[J]. 临床荟萃, 2025, 40(3): 281-284.
- [12] Feng, W., Xuan, Y. and Hu, J. (2010) SU-GG-I-142: Comparison of 3T MRI and 3D Endorectal Ultrasonography for Evaluating Invasion to Muscularis Propria and Perirectal Tissue in Colorectal Cancer. *Medical Physics*, **37**, 3134-3134. <https://doi.org/10.1118/1.3468177>
- [13] 郑欣, 陈河林, 唐秋, 等. DWI 联合动态增强判断直肠癌肌层侵犯程度的价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2024, 22(2): 150-152.
- [14] Arya, S., Sen, S., Engineer, R., Saklani, A. and Pandey, T. (2020) Imaging and Management of Rectal Cancer. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, **41**, 183-206. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2020.01.001>
- [15] 邱勇刚, 曾锦花, 汪鑫斌, 等. 基于 T₂WI 及 DWI 影像特征鉴别 T₂ 期与 T₃ 期直肠癌[J]. 中国临床医学影像杂志, 2022, 33(8): 557-560.