

多参数MRI联合外周血细胞参数对直肠癌淋巴结转移风险的评估

赵越, 谢宗源*

华北理工大学附属医院磁共振室, 河北 唐山

收稿日期: 2026年3月21日; 录用日期: 2026年4月16日; 发布日期: 2026年4月21日

摘要

目的: 探讨体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)、魔镜成像(mDixon-Quant)技术联合血细胞参数在评估直肠癌淋巴结转移状态中的价值。方法: 回顾性分析68例经病理证实为直肠癌患者的临床及影像资料, 根据病理结果将患者分为转移阳性组和转移阴性组。测量直肠肿瘤的IVIM参数(D值、D*值、f值)、mDixon-Quant参数(FF值、R2*值、T2*值)。收集血常规数据并计算各项血细胞参数比值。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评估观察者一致性, 使用独立样本t检验、Mann-Whitney U检验参数间差异, 通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析各参数及联合模型诊断淋巴结转移的效能。结果: 淋巴结转移阳性组R2*、FF值、f值、单核细胞/淋巴细胞值(monocyte to lymphocyte ratio, MLR)及全身炎症反应指数(systemic inflammatory response index, SIRI)显著高于阴性组, D值显著低于阴性组($P < 0.05$)。ROC分析显示, 影像学联合参数($R2^* + FF + f + D$)的曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.870, 联合血细胞参数($R2^* + FF + f + D + MLR + SIRI$)的AUC提升至0.887, 显著优于单一参数($P < 0.05$)。结论: IVIM与mDixon-Quant定量参数联合血细胞参数可显著提高术前评估直肠癌淋巴结转移的诊断效能, 为临床制定个性化治疗方案提供重要影像学依据。

关键词

直肠癌, 磁共振成像, 体素不相干运动, mDixon-Quant

Multiparameter MRI Combined with Peripheral Blood Cell Parameters for Assessing Risk of Lymph Node Metastasis in Rectal Cancer

Yue Zhao, Zongyuan Xie*

Department of MRI, North China University of Science and Technology Affiliated Hospital, Tangshan Hebei

*通讯作者。

Abstract

Objective: To investigate the value of intravoxel incoherent motion (IVIM) and mDixon-Quant multiparameter magnetic resonance imaging (MRI) combined with blood cell parameters in evaluating lymph node metastasis (LNM) in rectal cancer. **Methods:** Clinical and imaging data of 68 patients with pathologically confirmed rectal cancer were retrospectively analyzed. Based on postoperative pathology, patients were divided into LNM-positive and LNM-negative groups. IVIM parameters (D , D^* , f) and mDixon-Quant parameters (FF , $R2^*$, $T2^*$) of the rectal tumors were measured. Peripheral blood cell counts were collected to calculate inflammatory ratios. Intraclass correlation coefficient (ICC) was used to assess interobserver consistency. Independent sample t-test or Mann-Whitney U test was applied to compare differences between groups. The diagnostic efficacy of individual parameters and combined models for LNM was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. **Results:** The LNM-positive group showed significantly higher $R2^*$, FF , f , monocyte-to-lymphocyte ratio (MLR), and systemic inflammatory response index (SIRI), and lower D values compared to the LNM-negative group ($P < 0.05$). ROC analysis revealed that the combined imaging parameters ($R2^* + FF + D$) achieved an area under the curve (AUC) of 0.870, while the model combining imaging and blood cell parameters ($R2^* + FF + f + D + MLR + SIRI$) further improved the AUC to 0.887, significantly outperforming any single parameter ($P < 0.05$). **Conclusion:** The combination of IVIM and mDixon-Quant parameters with blood cell indices significantly enhances the diagnostic performance for preoperative prediction of LNM in rectal cancer, providing valuable imaging support for individualized clinical decision-making.

Keywords

Rectal Cancer, Magnetic Resonance Imaging, Intravoxel Incoherent Motion, mDixon-Quant

Copyright © 2026 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

直肠癌(rectal cancer, RC)是全球范围内常见的恶性肿瘤之一, 发病率逐年增加[1]。有研究表明[2], 淋巴结(lymph nodes, LN)转移与否同直肠癌的诊疗方案和预后密切相关, 特别是对于潜在的淋巴结转移。存在直肠癌淋巴结转移的患者5年生存率不足50%, 远低于无转移者的80% [3] [4], 因此术前准确评估淋巴结转移风险对于临床决策方面具有重要意义。

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是目前评估直肠癌的首选影像学方法。体素内不相干运动扩散加权成像(intravoxel incoherent motion, IVIM)通过分离纯扩散与灌注成分, 可定量反映肿瘤组织的微循环及细胞密度特征, 已在评估宫颈癌淋巴结转移中表现出较高的应用价值[5]; 魔镜成像(mDixon-Quant)技术能够精准量化脂肪分数(fat fraction, FF)及铁沉积, 目前已用于诊断宫颈癌[6]、多发性骨髓瘤[7]等, 均展现出良好的诊断价值。癌症与炎症的关系是近年研究热点, 外周血细胞参数作为炎症和免疫微环境的标志物, 已被证实与多种肿瘤的侵袭性和转移潜能相关[8] [9]。本研究基于IVIM、mDixon-Quant技术并联合血细胞参数, 探讨三者结合能否预测直肠癌患者的淋巴结转移状态, 以更好地辅助临床决策。

2. 研究方法

2.1. 研究对象

回顾性分析 2022 年 1 月至 2025 年 1 月经病理证实为直肠癌的 68 例患者临床及影像资料。纳入标准包括：① 经术后病理检查确诊为直肠癌；② 术后病理明确记载淋巴结转移情况；③ 入院时行全套血常规检测且相关资料完整；④ 术前行 MRI 扫描图像完整。排除标准：① 术前接受过新辅助治疗(包括放疗、化疗或靶向治疗)；② 合并其他系统恶性肿瘤；③ MRI 序列缺失或图像质量不满足诊断要求；④ 存在急性炎症反应干扰血液指标。

2.2. 临床信息采集与分析

收集患者各项临床信息, 包括年龄、性别、有无便血、术前癌胚抗原(carcinoma embryonic antigen, CEA)水平以及入院后首次进行的外周血常规检查结果。基于血常规数据计算中性粒细胞/淋巴细胞值(neutrophil to lymphocyte ratio, NLR)、单核细胞/淋巴细胞值(monocyte to lymphocyte ratio, MLR)、血小板/淋巴细胞值(platelet to lymphocyte ratio, PLR)、血小板/单核细胞值(platelet to monocyte ratio, PMR)、系统免疫炎症指数(systemic immune-inflammation index, SII) = 中性粒细胞 × 血小板/淋巴细胞、全身炎症反应指数(systemic inflammatory response index, SIRI) = 中性粒细胞 × 单核细胞/淋巴细胞。

2.3. 病理资料

淋巴结转移状态由 5 年及以上工作经验的病理医师进行判定, 依据第八版美国癌症联合委员会(American Joint Committee on Cancer, AJCC) [10] TNM 分期标准进行诊断。最终将直肠癌患者分为淋巴结转移阳性组(转移的淋巴结数量 ≥ 1)和淋巴结转移阴性组(无淋巴结转移)。

2.4. MRI 检查

本研究采用 Philips Ingenia 3.0 T 超导型 MRI 扫描仪, 配备体部表面线圈, 对患者行盆腔扫描。扫描过程依次为盆腔 MRI 常规序列(斜轴位 T1WI、矢状位及斜冠状位 T2WI); 斜轴位高分辨(high resolution, HR)-T2WI; 斜轴位 IVIM (b 值设置为 0、50、100、150、200、300、400、600、800、1000、1200、2000 s/mm^2)以及斜轴位 mDixon-Quant。

2.5. 图像分析

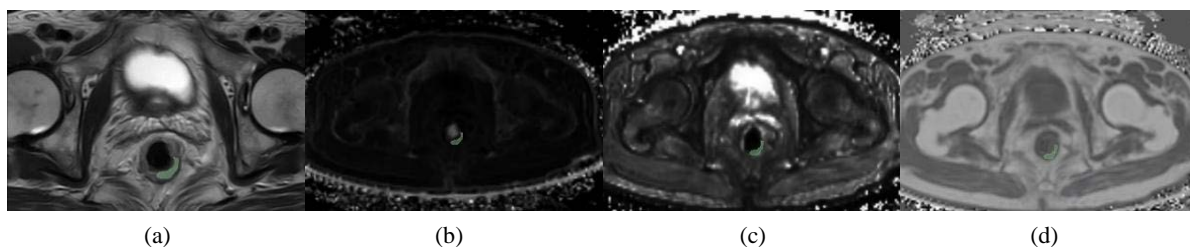


Figure 1. Schematic diagram of Region of Interest (ROI) delineation. (a) Oblique axial T2-weighted image (T2WI). (b)~(d) mDixon-Quant parametric maps, sequentially showing the $R2^*$ map, $T2^*$ map, and Fat Fraction (FF) map. ROI: Region of Interest. FF: Fat Fraction

图 1. ROI 勾画示意图。(a) 斜轴位 T2WI; (b)~(d) mDixon-Quant 图, 依次为 $R2^*$ 图、 $T2^*$ 图及 FF 图。ROI: 感兴趣区; FF: 脂肪分数

所有影像学参数的分析测量由两名具有 5 年以上腹部影像诊断经验的放射科医师采用独立盲法进行。将 IVIM 图像和 mDixon-Quant 图像传输至 ISP 工作站, 经过后处理分析获取 IVIM 和 mDixon-Quant 的

定量参数; 以 T2WI 为参考, 选取 IVIM ($b = 1000 \text{ s/mm}^2$) 图像上病灶呈现明显高信号及 ADC 图上低信号区域为感兴趣区(region of interest, ROI) (图 1)。ROI 应尽可能多地涵盖肠壁肿瘤的实体部分, 面积需大于 0.5 cm^2 , 同时避开坏死、出血、囊性变性区域以及血管, 并且避免受到肿瘤边缘部分容积效应影响, mDixon-Quant 的 ROI 勾画参考 IVIM 的标准。每位观察者分别勾画两次取平均值, 最终结果为两位观察者测量结果的平均值。

2.6. 统计学方法

应用 SPSS 26.0 进行数据处理。对于两位观察者的测量结果, 采用组内相关系数(ICC)评估观察者间一致性, ICC > 0.75 时取均值进行后续分析。对计量资料进行正态性检验, 符合正态分布的数据采用独立样本 t 检验, 用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示; 不符合正态分布的数据则采用 Mann-Whitney U 检验, 用 $M(Q1, Q3)$ 表示。计数资料以例数(百分数) [n (%)]表示。对具有统计学意义的参数采用 LASSO 回归进行变量筛选, 通过 10 折交叉验证选取最优 λ 值, 最终纳入非零系数的变量构建最终模型。对具有统计学意义差异的参数采用二元 Logistic 回归, 计算联合参数对直肠癌淋巴结转移的预测值。采用 DeLong 检验比较各参数 AUC 之间的差异。采用 Spearman 相关性分析评价两组间具有统计学意义的影像学参数和血液学参数之间的关系。以 $P < 0.05$ 作为差异具有统计学意义的判断标准。采用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评估模型在不同风险阈值下的临床净获益, 并与影像学联合模型、单一参数及 Treat All、Treat None 策略进行比较。

3. 结果

3.1. 直肠癌患者临床资料及组间差异比较

Table 1. Comparison of parameters between the lymph node metastasis-positive and negative groups
表 1. 淋巴结转移阴、阳性组间参数的比较

参数	淋巴结转移阳性组($n = 32$)	淋巴结转移阴性组($n = 36$)	t/Z 值	P 值
IVIM 参数				
D/($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	0.42 (0.40~0.45)	0.46 (0.41~0.52)	-2.366	0.018
D*/($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	15.89 \pm 10.21	16.49 \pm 9.62	-0.248	0.805
f/%	0.35 \pm 0.09	0.29 \pm 0.07	-3.009	0.004
mDixon-Quant 参数				
R2*/Hz	20.80 (17.13~24.73)	17.41 (14.5~18.99)	-3.176	0.001
T2*/ms	51.67 \pm 10.54	54.69 \pm 8.69	-1.293	0.201
FF/%	2.79 \pm 0.44	2.41 \pm 0.32	-4.174	<0.001
血细胞参数				
NLR	3.62 \pm 2.31	2.81 \pm 1.84	-1.606	0.113
MLR	0.42 (0.24~0.63)	0.22 (0.18~0.34)	-3.305	0.001
PLR	160.69 \pm 63.46	139.53 \pm 51.95	-6.642	0.135
PMR	481.95 \pm 469.64	592.73 \pm 273.06	-1.205	0.232
SII	668.13 \pm 404.55	571.55 \pm 281.94	-1.152	0.253
SIRI	1.44 (1.02~2.49)	0.82 (0.63~1.57)	-2.445	0.014

淋巴结转移阳性组与阴性组在年龄、性别、有无便血症状、CEA 水平及 T 分期等方面均不具有统计学意义($P > 0.05$)。两位观察者测量数据一致性良好(ICC > 0.75)。转移阳性组在 R2*值、FF 值、f 值、MLR

及 SIRI 显著高于阴性组, D 值低于阴性组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。两组间 D^* 值、 $T2^*$ 值及 PLR、PMR、SII 等参数差异均无统计学意义(表 1)。

3.2. 影像学参数及血细胞参数鉴别直肠癌淋巴结转移的效能

经 LASSO 回归筛选, 6 个变量($R2^*$, FF, f, D, MLR, SIRI)均纳入最终模型。最终模型公式为: $-8.764 + 0.152 \times R2^* + 1.286 \times FF + 4.357 \times f - 8.125 \times D + 1.368 \times MLR + 0.425 \times SIRI$, 其中 -8.764 为模型截距。该模型的诊断效能为 0.882, 与影像学联合血细胞参数模型预测效能接近, 优于影像学联合模型及各单一参数。 $R2$ 值、FF 值、f 值、D 值、MLR、SIRI、影像学联合参数($R2$ 值 + FF 值 + f 值 + D 值)及影像学参数联合血细胞参数($R2^*$ 值 + FF 值 + f 值 + D 值 + MLR + SIRI)在评估直肠癌淋巴结转移方面的效能分别为 0.724、0.786、0.677、0.667、0.734、0.673、0.870 及 0.887; DeLong 检验结果表明, 联合参数的诊断效能相较于各单一参数有了明显的提升(表 2, 图 2)。

Table 2. Comparison of diagnostic performance of various parameters between the lymph node metastasis-positive and negative groups

表 2. 淋巴结转移阴、阳性组各参数诊断性能比较

参数	AUC (95% CI)	阈值	敏感度%	特异度%	Z 值	P 值
$D/(\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s})$	0.667 (0.535~0.799)	0.444	84.4	58.3	-2.456	0.018
f/%	0.677 (0.547~0.807)	0.327	65.6	72.2	-2.682	0.012
$R2^*/\text{Hz}$	0.724 (0.596~0.853)	19.570	59.4	88.9	-3.446	0.001
FF/%	0.786 (0.672~0.901)	2.622	75.0	75.0	-4.931	<0.001
MLR	0.734 (0.612~0.855)	0.399	56.3	83.3	-3.774	0.001
SIRI	0.673 (0.541~0.805)	0.946	81.3	55.6	-2.582	0.014
影像学联合参数	0.870 (0.780~0.960)	0.531	75.0	94.4	-8.043	<0.001
影像学联合血细胞参数	0.887 (0.804~0.970)	0.561	75.0	94.4	-	-

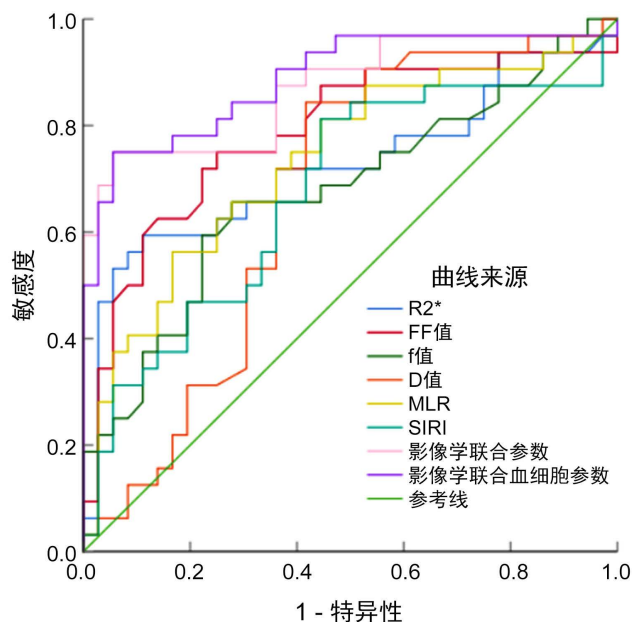


Figure 2. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis of the efficacy of various parameters in assessing lymph node metastasis in rectal cancer

图 2. ROC 曲线分析各参数评估直肠癌淋巴结转移的效能

3.3. 决策曲线分析

DCA 结果显示, 经 LASSO 筛选后构建的最终模型在阈值概率约 0.10~0.45 范围内, 净获益均高于影像学联合模型($R2^* + FF + f + D$)、单一参数($FF, R2^*$)以及 Treat All 和 Treat None 策略, 表明该模型在临床决策中具有更高的实用价值。影像学联合模型的净获益在阈值概率 0.15~0.40 范围内优于单一参数和基准策略, 但整体低于最终模型(图 3)。

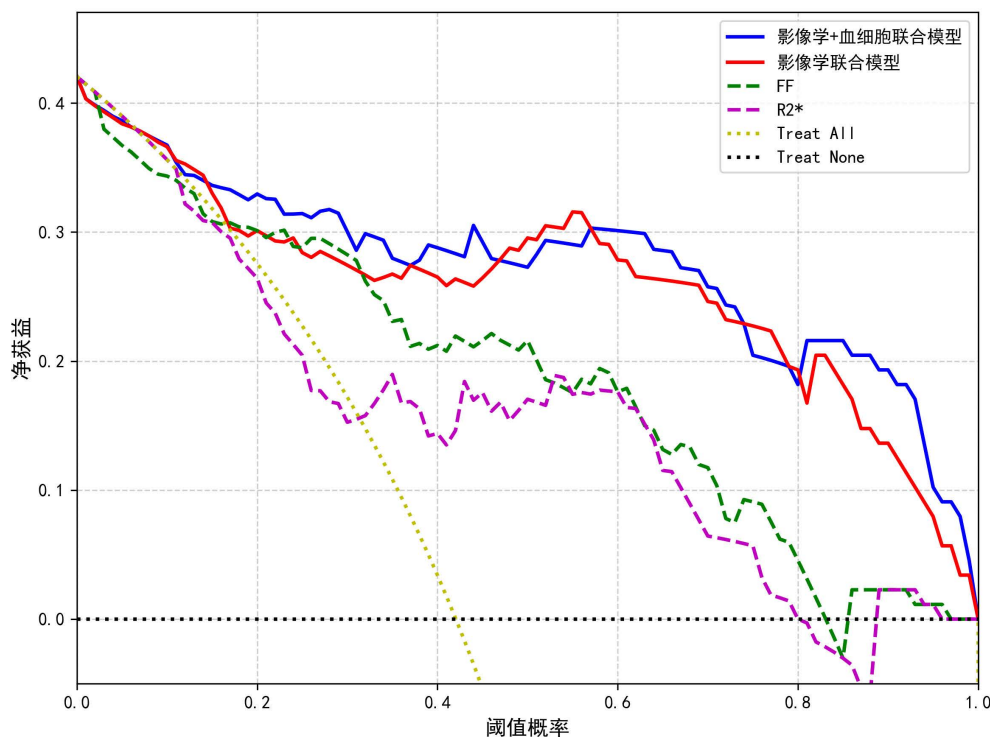


Figure 3. Decision curve analysis of various parameters for assessing lymph node metastasis in rectal cancer
图 3. 决策曲线分析各参数评估直肠癌淋巴结转移的效能

3.4. 影像学参数与血液学参数的相关性分析

Spearman 相关性分析结果表明, 在影像学参数与血液学参数的相关性方面, 转移阳性组中 $R2^*$ 值与 MLR 呈正相关($r=0.375, P=0.035$), 结果具有统计学意义; 该组中其余影像学指标与血细胞参数均无显著相关性($P>0.05$)。转移阴性组所有影像学参数与血液学参数之间均无显著相关性($P>0.05$) (表 3)。

Table 3. Correlations between imaging parameters and blood cell parameters in lymph node metastasis-positive and negative groups (r -value, P -value)

表 3. 淋巴结转移阴、阳性组影像学参数与血细胞参数的关系(r 值, P 值)

参数	淋巴结转移阳性组($n=32$)		淋巴结转移阴性组($n=36$)	
	MLR	SIRI	MLR	SIRI
D	0.123, 0.502	0.042, 0.821	0.194, 0.257	0.267, 0.116
f	0.079, 0.666	-0.019, 0.910	-0.019, 0.910	0.056, 0.746
FF	0.311, 0.083	0.074, 0.866	-0.232, 0.173	-0.253, 0.136
$R2^*$	0.375, 0.035	0.320, 0.074	-0.025, 0.885	-0.035, 0.838

4. 讨论

直肠癌是全球常见恶性肿瘤之一, 淋巴结转移与否是决定患者治疗方案及预后的关键因素, 因此术前准确识别直肠周围转移性淋巴结对优化治疗方案至关重要。而较小短径的转移性小淋巴结无法通过大小和形态轻易与良性淋巴结区分开, 这是放射科医生面临的主要挑战。目前常用的影像学手段, 包括超声、CT、MRI 及 PET/CT 主要依赖形态学特征对淋巴结状态进行评估, 这些方法在术前准确预测直肠癌淋巴结转移方面仍存在显著局限。本研究基于体素内不相干运动、魔镜成像技术并联合血细胞参数, 旨在构建一种更为可靠的预测模型, 从直肠肿物本身预测淋巴结转移风险, 以弥补现有影像技术与活检手段的不足。

体素内不相干运动(IVIM)是一种基于多 b 值的功能性磁共振成像技术, 能够同时评估水分子的扩散特性以及组织微循环的灌注状况, 在采集获得表观扩散系数 ADC 的同时, 还能进一步得到纯扩散系数 D , 反应微循环灌注比例的 f , 与血液微循环相关的伪扩散系数 D^* 。本次研究结果显示, f 值在转移组测量值更高, D 值在转移组测量值更低。 f 值反映微循环灌注, 其增高可能提示新生血管生成和血供增加, 与肿瘤的侵袭性生长相关, 这与 Zhang [5]、Li [11] 等人研究结果相符。微循环比例高, 代表新生血管丰富, 细胞增殖分裂活跃, 恶性程度高, 分化程度低, 侵袭性强, 故更易发生转移[12]。既往研究也表明, 随着直肠癌恶性程度的升高, 肿瘤组织中不成熟血管的数量会相应增多。这种血管异常化会导致血管壁通透性增大, 进而引起 f 值的显著升高。而 Ding 等[13]研究指出有转移直肠肿物的 f 值明显低于无转移肿物, 之所以会得出这样的结论, 分析可能原因是 DING 等研究聚焦于直肠癌远处转移, 这点与我们关注的区域淋巴结转移不同。DING 等认为恶性肿瘤本身血供不足, 可能意味着肿瘤有外部血供, 如肠壁外的血供, 从而转移到远处。与扩散加权成像(Diffusion-Weighted Imaging, DWI)仅反映扩散受限相比, IVIM 可以有效分离水分子的扩散运动和血流微循环灌流的成分, 在一定程度上更准确地反映肿瘤组织中水分子扩散程度和微循环灌流的信息, 从而更好评估肿瘤的侵袭性。 D 值主要反应单纯组织中纯水分子的扩散能力; 本研究发现, 有转移病灶 D 值明显低于无转移病灶, 这与李美芹[14]等人研究结论一致, 较高细胞增殖导致较高的细胞密度, 从而产生更低的 D 值[15]。伴有淋巴结转移的肿瘤病灶更倾向于快速增生并粘附在周围组织上, 这限制了水分子的自由扩散。 D^* 值能够体现微循环灌注扩散的特征, 其数值受到血流速率和毛细血管结构等因素影响。值得注意的是, D^* 值在两组间无显著差异, 可能因其对微循环灌注的敏感性受呼吸运动等生理因素干扰较大。

魔镜成像技术(mDixon-Quant)是一种非侵入性的三维多梯度回波磁共振序列。单次采集即可获取脂肪分数图(FF)、 $R2^*$ 图和 $T2^*$ 图等多组定量图像。并改良多峰脂肪信号模型, 实现了水相与脂相成分的精准区分[16], 已用于诊断肝脏病变[17]。本研究中, 淋巴结转移阳性组表现出显著升高的 $R2^*$ 值和 FF 值。同期的 Qin 等人[18]研究也表明脂肪分数(FF)在诊断淋巴结及骨转移病灶时展现出较高的临床应用价值, 这为我们的研究结论提供了有力支持。脂质在体内具有重要的生物学功能, 而过量脂质可促进肿瘤发生、定殖和肿瘤细胞的转移。肿瘤细胞转移时, 它们增强了脂质吸收、氧化和合成, 致使更多的脂肪被消耗。癌细胞还利用脂质代谢来调节间质细胞和免疫细胞的活性, 以达到其优势, 并抵抗治疗并促进复发[19]。 $R2^*$ 与血液中的脱氧血红蛋白密切相关, $T2^*$ 与 $R2^*$ 互为倒数。Wang [20]等人研究发现转移性直肠癌具有更高的 $R2^*$ 值, 分析原因为肿瘤细胞的快速繁殖和肿瘤组织侵略性生长, 导致肿瘤需氧量增加, 而去氧血红蛋白浓度改变会导致局部磁场不均匀, 进而引起 $R2^*$ 增高。此外, 直肠癌的肿瘤缺氧会进一步引发血管生成, 这是肿瘤生长和侵袭的一个基本过程。因此, 较高的 $R2^*$ 值通常与直肠癌的侵袭性更强有关, 我们的研究结果表明了这一点。

研究发现, 炎症与癌症的发生发展密不可分。受致癌突变影响的细胞是否会引发肿瘤或表现正常与

肿瘤所处的肿瘤微环境有关[21]。肿瘤微环境由多种成分构成, 其中包括免疫细胞[22]。外周血细胞作为炎症反应和肿瘤微环境(TME)的关键参与者, 其数量和功能变化与肿瘤的发生、发展和转移密切相关。中性粒细胞在肿瘤微环境中可通过分泌趋化因子促进血管生成及免疫抑制, 释放活性氧导致 DNA 损伤, 加速肿瘤进展[23]。单核细胞能分化形成的肿瘤相关巨噬细胞, 通过多种方式促进癌细胞的转移和侵袭。淋巴细胞可通过毒素性引起肿瘤细胞凋亡并减缓肿瘤生长, 在血液循环和肿瘤微环境中发挥抗癌免疫功能[24]。本研究发现 LNM 阳性组 MLR 和 SIRI 较阴性组显著升高, 这支持了中性粒细胞及单核细胞在肿瘤转移中的推动作用, 与 Wang [24]、Zuo [25]等人研究一致。也有研究表明[26], 炎症反应和脂质代谢异常之间存在关联, 脂质代谢通过调节炎性细胞因子的分泌来影响细胞功能, 脂肪细胞释放炎性、促纤维化和血管生成因子, 这些因子通过促进炎症、纤维化和血管生成来调节肿瘤细胞代谢活性。这有力支持了本研究结果中淋巴结转移组血细胞参数与 mDixon-Quant 参数呈正相关这一观点。相比之下, PLR、PMR 和 SII 未显示显著差异, 可能与这些指标对早期转移的敏感性不足有关, 这也提示需要更特异的炎症标志物组合。

我们的研究有一些局限性。首先我们的研究类型是回顾性的, 存在不可避免的选择偏差。其次具有不同组织病理学特征患者的样本量相对较小和分布不均匀可能会影响我们结果的应用。第三, 应注意与不同预后因素相关参数之间不可避免的多重测试。总而言之, 多参数 MRI 的预测能力优于单个 MRI 参数。多参数 MRI 与外周血细胞参数的结合进一步提高了预测性能, 并有助于直肠癌的个性化治疗。

声明

本研究已通过华北理工大学附属医院伦理审查委员会审批(批件编号: 20250703006), 免除患者知情同意。本文所有作者均声明不存在利益冲突。

基金项目

河北省卫生健康委医学科学研究项目(编号: 20231273)。

参考文献

- [1] Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Soerjomataram, I., et al. (2024) Global Cancer Statistics 2022: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **74**, 229-263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>
- [2] Schaap, D.P., Boogerd, L.S.F., Konishi, T., Cunningham, C., Ogura, A., Garcia-Aguilar, J., et al. (2021) Rectal Cancer Lateral Lymph Nodes: Multicentre Study of the Impact of Obturator and Internal Iliac Nodes on Oncological Outcomes. *British Journal of Surgery*, **108**, 205-213. <https://doi.org/10.1093/bjs/znaa009>
- [3] Siegel, R.L., Wagle, N.S., Cercek, A., Smith, R.A. and Jemal, A. (2023) Colorectal Cancer Statistics, 2023. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **73**, 233-254. <https://doi.org/10.3322/caac.21772>
- [4] Jia, H., Jiang, X., Zhang, K., Shang, J., Zhang, Y., Fang, X., et al. (2022) A Nomogram of Combining IVIM-DWI and MRI Radiomics from the Primary Lesion of Rectal Adenocarcinoma to Assess Nonenlarged Lymph Node Metastasis Preoperatively. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **56**, 658-667. <https://doi.org/10.1002/jmri.28068>
- [5] Zhang, Y., Zhang, K., Jia, H., Fang, X., Lin, T., Wei, C., et al. (2022) Feasibility of Predicting Pelvic Lymph Node Metastasis Based on IVIM-DWI and Texture Parameters of the Primary Lesion and Lymph Nodes in Patients with Cervical Cancer. *Academic Radiology*, **29**, 1048-1057. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2021.08.026>
- [6] Meng, X., Tian, S., Ma, C., Lin, L., Zhang, X., Wang, J., et al. (2023) APTW Combined with mDixon-Quant Imaging to Distinguish the Differentiation Degree of Cervical Squamous Carcinoma. *Frontiers in Oncology*, **13**, Article 1105867. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1105867>
- [7] Sun, M., Wang, L., Wang, C., Ma, J., Wang, W., Lin, L., et al. (2024) Quantitative Analysis of Whole-Body MRI for Assessing the Degree of Diffuse Infiltration Patterns and Identifying High Risk Cases of Newly Diagnosed Multiple Myeloma. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **59**, 2035-2045. <https://doi.org/10.1002/jmri.28962>
- [8] Zhang, J., Zhang, L., Duan, S., Li, Z., Li, G. and Yu, H. (2023) Single and Combined Use of the Platelet-Lymphocyte

- Ratio, Neutrophil-Lymphocyte Ratio, and Systemic Immune-Inflammation Index in Gastric Cancer Diagnosis. *Frontiers in Oncology*, **13**, Article 1143154. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1143154>
- [9] Li, Y., Chang, J., He, M., Wang, H., Luo, D., Li, F., *et al.* (2021) Neutrophil-To-Lymphocyte Ratio (NLR) and Monocyte-To-Lymphocyte Ratio (MLR) Predict Clinical Outcome in Patients with Stage IIB Cervical Cancer. *Journal of Oncology*, **2021**, Article ID: 2939162. <https://doi.org/10.1155/2021/2939162>
- [10] 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>
- [11] Li, X., Liu, B., Cui, Y., Zhao, Y., Jiang, Y. and Peng, X. (2024) Intravoxel Incoherent Motion Diffusion-Weighted Imaging and Dynamic Contrast-Enhanced MRI for Predicting Parametrial Invasion in Cervical Cancer. *Abdominal Radiology*, **49**, 3232-3240. <https://doi.org/10.1007/s00261-024-04339-z>
- [12] 徐晓倩, 刘凤海, 康立清. DCE-MRI 联合 IVIM-DWI 预测早期宫颈癌盆腔淋巴结转移的价值[J]. 磁共振成像, 2024, 15(5): 141-147.
- [13] Ding, X., Sun, D., Guo, Q., Li, Y., Chen, H., Dai, X., *et al.* (2022) The Value of Diffusion Kurtosis Imaging and Intravoxel Incoherent Motion Quantitative Parameters in Predicting Synchronous Distant Metastasis of Rectal Cancer. *BMC Cancer*, **22**, Article No. 920. <https://doi.org/10.1186/s12885-022-10022-7>
- [14] 李美芹, 宋伟伟, 赵凡, 等. 动态对比增强磁共振成像联合体素内不相干运动技术对乳腺癌腋窝淋巴结转移的预测价值[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(12): 1882-1887.
- [15] Li, J., Wang, Y., Zhang, H.K., Xu, S.N., Chen, X.J. and Qu, J.R. (2024) The Value of Intravoxel Incoherent Motion Diffusion-Weighted Imaging in Predicting Perineural Invasion for Resectable Gastric Cancer: A Prospective Study. *Clinical Radiology*, **79**, e65-e72. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2023.09.014>
- [16] Tang, R., Tang, G., Hua, T., Tu, Y., Ji, R. and Zhu, J. (2023) mDIXON-Quant Technique Diagnostic Accuracy for Assessing Bone Mineral Density in Male Adult Population. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **24**, Article No. 125. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06225-z>
- [17] Zhou, N., Hu, A., Shi, Z., Wang, X., Zhu, Q., Zhou, Q., *et al.* (2021) Inter-Observer Agreement of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging on Gross Tumor Volume Delineation of Intrahepatic Cholangiocarcinoma: An Initial Study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **11**, 579-579. <https://doi.org/10.21037/qims-19-1093>
- [18] Qin, C., Goldberg, O., Kakar, G., Wan, S., Haroon, A., Azam, A., *et al.* (2023) MRI Fat Fraction Imaging of Nodal and Bone Metastases in Prostate Cancer. *European Radiology*, **33**, 5851-5855. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09527-x>
- [19] Martin-Perez, M., Urdiroz-Urricelqui, U., Bigas, C. and Benitah, S.A. (2022) The Role of Lipids in Cancer Progression and Metastasis. *Cell Metabolism*, **34**, 1675-1699. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2022.09.023>
- [20] Wang, J., Hu, S., Liang, P., Hu, X., Shen, Y., Peng, Y., *et al.* (2024) R2* Mapping and Reduced Field-of-view Diffusion-weighted Imaging for Preoperative Assessment of Nonenlarged Lymph Node Metastasis in Rectal Cancer. *NMR in Biomedicine*, **37**, e5174. <https://doi.org/10.1002/nbm.5174>
- [21] 周荡, 李俊蓉, 刘琦, 等. 结直肠癌中 TMED4 与免疫微环境的关系[J]. 医学研究杂志, 2025, 54(6): 127-132.
- [22] Yuan, S., Almagro, J. and Fuchs, E. (2024) Beyond Genetics: Driving Cancer with the Tumour Microenvironment behind the Wheel. *Nature Reviews Cancer*, **24**, 274-286. <https://doi.org/10.1038/s41568-023-00660-9>
- [23] Mahmud, Z., Rahman, A., Mishu, I.D. and Kabir, Y. (2022) Mechanistic Insights into the Interplays between Neutrophils and Other Immune Cells in Cancer Development and Progression. *Cancer and Metastasis Reviews*, **41**, 405-432. <https://doi.org/10.1007/s10555-022-10024-8>
- [24] Wang, L., Li, X., Liu, M., Zhou, H. and Shao, J. (2024) Association between Monocyte-To-Lymphocyte Ratio and Prostate Cancer in the U.S. Population: A Population-Based Study. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, **12**, Article 1372731. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1372731>
- [25] Zuo, R., Zhu, F., Zhang, C., Ma, J., Chen, J., Yue, P., *et al.* (2023) The Response Prediction and Prognostic Values of Systemic Inflammation Response Index in Patients with Advanced Lung Adenocarcinoma. *Thoracic Cancer*, **14**, 1500-1511. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.14893>
- [26] Duan, Y., Guo, L., Peng, Y., Shi, X., Zhao, Y., Liu, K., *et al.* (2023) Correlation between Inflammatory Marker and Lipid Metabolism in Patients with Uterine Leiomyomas. *Frontiers in Medicine*, **10**, Article 1124697. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1124697>