

## 高场强 MRIT1 灌注成像联合 DWI 成像在评估乳腺癌 新辅助化疗疗效中的价值

张正, 杨艳红, 冯再辉, 詹路江, 普金仙, 段茜婷  
(红河州第三人民医院放射影像科, 云南个旧 661000)

**[摘要]** **目的** 评估高场强磁共振 T1 灌注成像联合扩散加权成像(DWI)在乳腺癌新辅助化疗疗效评估中的潜在价值。**方法** 回顾性收集 126 例乳腺癌患者的临床和影像学数据, 包括化疗前后的 T1 灌注成像和 DWI 成像数据。使用多因素二元 Logistic 回归分析探讨不同影像学参数与新辅助化疗疗效之间的关系, 并建立预测模型。**结果** T1 灌注参数和 DWI 成像参数, 包括时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、最大增强、ADC 值均为评估乳腺癌新辅助化疗疗效的相关性因素 ( $P < 0.05$ )。基于这些相关性参数建立的多因素 Logistic 回归模型用于预测化疗疗效的准确率为 91.3%。**结论** 磁共振 T1 灌注成像联合 DWI 成像在乳腺癌新辅助化疗疗效评估中具有潜在的临床应用前景。通过对磁共振 T1 灌注成像联合 DWI 成像参数的综合分析, 可以更准确地预测乳腺癌患者新辅助化疗的疗效, 为治疗决策提供有力支持。

**[关键词]** 磁共振灌注成像; 扩散加权成像; 乳腺癌; 新辅助化疗

**[中图分类号]** R737.9 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2095-610X(2024)07-0148-06

## Value of High Field Tntensity MRIT1 Perfusion Imaging Combined with DWI Imaging in Evaluating The Efficacy of Neoadjuvant Chemotherapy for Breast Cancer

ZHANG Zheng, YANG Yanhong, FENG Zaihui, ZHAN Lujiang, PU Jinxian, DUAN Qianting  
(Dept. of Radiology, The 3rd People's Hospital of Honghe Prefecture,  
Gejiu Yunnan 661000, China)

**[Abstract]** **Objective** To assess the potential value of high-field MRI T1 perfusion imaging combined with diffusion-weighted imaging (DWI) in evaluating neoadjuvant chemotherapy efficacy in breast cancer. **Methods** The clinical and radiological data, including pre- and post-chemotherapy T1 perfusion imaging and DWI imaging data, were retrospectively collected from 126 breast cancer patients. Multifactorial logistic regression analysis was used to investigate the relationship between different imaging parameters and neoadjuvant chemotherapy efficacy, and a predictive model was established. **Results** T1 perfusion parameters and DWI imaging parameters (area under the curve, time to peak, washing, maxenh, ADC value) were all related factors in evaluating the efficacy of neoadjuvant chemotherapy for breast cancer ( $P < 0.05$ ). The multifactorial logistic regression model based on these correlated parameters achieved an accuracy of 91.3% in predicting chemotherapy efficacy. **Conclusions** MRI T1 perfusion imaging combined with DWI imaging holds potential clinical application prospects in assessing neoadjuvant chemotherapy efficacy in breast cancer. Comprehensive analysis of MRI T1 perfusion imaging combined with DWI imaging parameters allows for a more accurate prediction of breast cancer patients' response to treatment, providing robust support for treatment decisions.

**[收稿日期]** 2024-02-28

**[基金项目]** 楚雄医药高等专科学校科研基金资助项目(2023YYXM14)

**[作者简介]** 张正(1990~), 男, 云南红河人, 医学学士, 主治医师, 主要从事乳腺肿瘤影像学研究工作。

**[通信作者]** 段茜婷, E-mail: 1349322304@qq.com

[Key words] Magnetic resonance perfusion imaging; Diffusion-weighted imaging; Breast cancer; Neoadjuvant chemotherapy

乳腺癌是女性癌症死亡的主要原因<sup>[1]</sup>。新辅助化疗(neoadjuvant chemotherapy, NAC)能缩小病灶体积、及时控制病灶局部浸润及出现远处转移,能够提高临床疗效,延长患者生存时间,提高手术切除的可行性,并最终改善患者的生存率<sup>[2]</sup>。同时,它允许评估肿瘤对药物的敏感性,指导患者的后续治疗选择<sup>[3]</sup>。如今,在连续联合用药后进行手术被认为是评估肿瘤反应的金标准<sup>[4-5]</sup>。然而,并非所有乳腺癌患者都能从NAC环境中受益,因此,区分积极反应的受试者和不积极反应的患者至关重要,以便选择替代和更有效的治疗方法。

癌症新辅助治疗的疗效评价目前包括有创组织病理评价及无创临床评价2个方面。临床评价是通过影像学或物理检查间接测量实体瘤大小变化的评价体系,而组织病理学评价体系是通过手术或穿刺活检等方法获取病变组织的病理标本并观察肿瘤细胞残留的评价体系。影像学检查包括乳腺超声检查、乳腺钼靶检查、和乳腺MRI检查,但都无法区分化疗后的坏死组织和纤维性瘢痕组织。临床评价受临床医生经验等主观因素的影响,评价容易出现偏差,无法对疗效做出准确的评价。组织病理学评估是评估肿瘤化疗疗效的金标准,诊断的准确性是可靠的,但需要在NAC和手术后进行。它有明显的滞后性,不能及时了解化疗药物的敏感性,也不容易及时调整化疗方案,很容易错过调整治疗计划的最佳时机。因此,找到能够及时对疗效做出反应的新指标并进行反复评估疗效至关重要。

高场强 MRIT1 灌注成像和扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)常用于评估新辅助化疗在乳腺癌治疗中的效果<sup>[6-7]</sup>。然而传统的MRI成像作为一种形态学MR成像,在区分存活肿瘤组织与疤痕、坏死、纤维化和反应性炎症组织方面的潜力不理想,并可能导致对残留肿瘤大小的错误估计。因此,评估肿瘤对NAC的反应不能仅仅依靠传统MRI成像。MRI T1灌注成像通过提供血流和血管通透性信息更准确地描绘肿瘤。扩散加权(DWI)磁共振成像是一种相对较新的磁共振成像序列,利用水分子的布朗运动,该技术可用于测量表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)-水扩散率的定量测量-提供与

肿瘤细胞和细胞膜完整性相关的信息,并且对化疗引起的肿瘤内变化敏感<sup>[8]</sup>。这些影像技术能够提供更加精确的肿瘤信息,帮助医生更好地了解肿瘤对治疗的反应<sup>[9]</sup>。本文旨在深入研究T1灌注成像联合扩散加权成像(DWI)在评估乳腺癌新辅助化疗效果的应用,以期乳腺癌患者提供更个体化的治疗策略,以最大程度地提高治疗效果,减少手术干预的程度,同时降低患者的不适和风险。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

本研究选取自2015年10月至2023年10月期间,于红河州第三人民医院就诊符合纳入标准的乳腺癌患者126例,回顾性收集患者资料并进行分析。纳入标准:(1)年龄为18~75岁(包含临界值)的女性患者;(2)经病理学及影像学检查,确诊为原发性乳腺癌;(3)根据RECIST 1.1标准,治疗前至少有1个可测量病灶<sup>[10]</sup>;(4)患者已接受完整的21 d/周期、共4个周期的新辅助化疗,且化疗前后均接受T1灌注成像联合扩散加权成像(DWI)检查,影像学资料完整。排除标准:(1)合并其他系统严重疾病,如免疫系统、消化系统、神经系统等;(2)新辅助化疗期间接受放疗、手术等其他治疗;(3)临床或影像学资料不完整。该研究得到了红河州第三人民医院伦理审查委员会的批准(2024-LW-09),在涉及人类参与者的研究中进行的所有程序均符合机构和/或国家研究委员会的伦理标准,以及1964年《赫尔辛基宣言》及其后来的修正案或类似的伦理标准。

### 1.2 仪器与方法

采用飞利浦3.0T磁共振成像,使用乳腺专用相控阵线圈,患者俯卧位,双侧乳腺自然下垂。平扫序列包括轴向位置T1WI-TSE(TR519 ms, TE8 ms), T2WI-SPAIR(TR5000 ms, TE 65 ms), 弥散加权成像(DWI) ( $b=800$  s/mm<sup>2</sup>, TR7354 ms, TE80 ms), T1灌注成像采用轴向T1WI(3D), 动态增强扫描序列(TR4.6 ms, TE2.3 ms, 采集体素0.85 mm × 0.85 mm), 相位编码方向A/P, 共扫描8期相, 每相扫描61 s, 总采集时间486 s。对比剂使用钆特酸葡胺注射液(江苏恒瑞医药股份有

限公司)静脉注射,注射剂量为 0.1 mmol/kg,注射速率 2.0 mL/s。

回顾性收集纳入患者的临床病例数据(包括年龄、临床分期、免疫组化、分子分型等)和新辅助化疗前后的 T1 灌注成像和 DWI 成像数据(时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、流出速率、最大增强、相对增强与 ADC 值)。所有患者新辅助化疗后均需外科手术治疗并获得病理结果。根据术后病理结果分为病理完全缓解(pCR)和非病理完全缓解(non-pCR)2组。对2组患者的基础情况进行比较,分析2组患者的可比性。对2组间化疗后的影像学检查结果进行对比,分析各项结果与新辅助化疗疗效的相关性。

### 1.3 图像处理及数据测量

扫描结束后,通过飞利浦星云工作站后处理软件分析图像数据。通过 MR 弥散软件计算表观弥散系数图 ADC,选定 ROI 测量 ADC 值。通过 MR T1 灌注软件绘制 TIC 曲线,绘制 ROI 相关数据(时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、流出速率、最大增强、相对增强)。分析由 1 位低年资、1 位高年资的医生进行影像处理,采用双盲法,结果一致采用数据,不一致由科室会诊得出最终数据。

### 1.4 统计学处理

使用 SPSS27.0 统计软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,采用 *t* 检验进行组间比较;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数)表示,采用曼惠特尼 *U* 检验进行组间比较。计数资料以频数(百分比)表示,采用卡方检验或 fisher 精确概率法。采用二元 Logistic 回归分析 T1 灌注成像联合 DWI 用于预测新辅助化疗疗效的准确性。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 基线资料

依据患者术后病理结果分为病理完全缓解( $n = 23$ )和非病理完全缓解( $n = 103$ )。分组对患者接受新辅助化疗前的基线情况进行归纳见表 1。统计结果显示,完全缓解组与非完全缓解组的年龄、临床分期、免疫组化(Her-2、ER、PR、Ki67)、分子分型各项基线信息比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),说明 2 组患者间具有可比性。

### 2.2 影像学结果与疗效情况

对病理完全缓解和非病理完全缓解患者化疗前后的影像学结果进行分析见表 2,结果显示,在接受新辅助化疗前,2 组患者间的时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、流出速率、最大增强、相对增强与 ADC 值方面差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。在经过 4 个周期的完整化疗后,出现患者的各项影像学检查结果较化疗前均有改善。病理完全缓解组在时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、最大增强与 ADC 值的改善优于非病理完全缓解组( $P < 0.05$ ),但 2 组在相对增强、流出速率方面,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

### 2.3 T1 灌注成像联合 DWI 成像与乳腺癌新辅助化疗疗效的相关性

为了判断病理完全缓解组与非病理完全缓解患者中存在显著差异的指标(时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、最大增强与 ADC 值)是否为评估新辅助化疗疗效的有效因素,研究采用多因素 Logistic 回归模型对各项指标进行了分析。结果发现时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、最大增强与 ADC 值均为评估乳腺癌新辅助化疗疗效的相关因素,见表 3。基于上述相关因素构建的多因素 Logistic 回归模型准确率为 91.3%,见表 4。

## 3 讨论

NAC 对局部晚期不能手术的患者进行降级,减少肿瘤体积以提高保乳率,对提供手术机会和评估肿瘤细胞对化疗药物的敏感性具有重要意义。新辅助治疗对于不同分子类型的乳腺癌症患者有不同的治疗计划和周期。在治疗过程中,密切监测和及时评估化疗的疗效至关重要。标准化的疗效评估可以掌握癌症患者目前的肿瘤负担,指导下一步的治疗计划,并在每一步治疗决策前找到准确的时间窗口。

多项研究已经表明,T1 灌注成像和 DWI 成像技术在乳腺癌治疗中的应用广泛,能够提供关于肿瘤的血流动力学和细胞扩散的重要信息,可以使研究者更全面地了解肿瘤的生物特征,有助于更好地理解患者对治疗的反应<sup>[11-12]</sup>。除了 T1 灌注成像和 DWI,还有其他影像学技术,如正电子发射计算机断层扫描(positron emission computed tomography, PET-CT)和磁共振波谱成像

表 1 患者的基线资料 [n(%)]  
Tab. 1 Baseline data of patients [n(%)]

项目	n	非完全缓解组(n=103)	完全缓解组(n=23)	$\chi^2$	P
年龄(岁)				0.427	0.513
≤50	58(46.03)	46(44.66)	12(52.17)		
>50	68(53.97)	57(55.34)	11(47.83)		
临床分期				1.579	0.454
II	31(24.60)	23(22.33)	8(34.78)		
III	83(65.87)	70(67.96)	13(56.52)		
IV	12(9.52)	10(9.71)	2(8.70)		
免疫组化					
HER2				1.883	0.600
1+	15(11.90)	13(12.62)	2(8.70)		
2+	26(20.63)	22(21.36)	4(17.39)		
3+	36(28.57)	26(25.24)	10(43.48)		
阴性	46(36.51)	39(37.86)	7(30.43)		
ER				1.598	0.206
阴性	51(40.48)	39(37.86)	12(52.17)		
阳性	75(59.52)	64(62.14)	11(47.83)		
PR				0.021	0.884
阴性	64(50.79)	52(50.49)	12(52.17)		
阳性	62(49.21)	51(49.51)	11(47.83)		
Ki67				-	0.241*
<14%	24(19.05)	22(21.36)	2(8.70)		
≥14%	102(80.95)	81(78.64)	21(91.30)		
分子分型				4.208	0.246*
HER2阳	20(15.87)	14(13.59)	6(26.09)		
LuminalA	20(15.87)	19(18.45)	1(4.35)		
LuminalB	54(42.86)	44(42.72)	10(43.48)		
TNBC	32(25.40)	26(25.24)	6(26.09)		

\* Fisher精确检验。

表 2 患者 T1 灌注成像、DWI 结果单因素分析

Tab. 2 Single factor analysis of patients' T1 perfusion imaging and DWI results

变量	化疗前		t/z	p	化疗后		t/z	P
	非完全缓解组 (n=103)	完全缓解组 (n=23)			非完全缓解组 (n=103)	完全缓解组 (n=23)		
ADC值 ( $\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ )	0.86 (0.68, 1.11)	0.83 (0.69, 1.09)	-0.051	0.960	1.02 (0.84, 1.32)	1.27 (1.14, 1.40)	-2.807	0.005*
达峰时间 (s)	260.72 (201.50, 343.03)	271.10 (205.36, 366.48)	-0.041	0.967	319.57±94.07	415.59±46.92	-7.124	<0.001*
流入速率 (L/s)	12.53±4.96	13.60±3.98	-0.969	0.335	10.39 (8.50, 11.96)	6.09 (4.42, 8.50)	-5.394	<0.001*
曲线下面积 ( $\times 10^3$ )	875.87 (683.30, 964.17)	907.81 (728.21, 1043.72)	-1.184	0.236	693.51±258.79	444.52±75.14	8.320	<0.001*
流出速率 (L/s)	1.34 (0.61, 2.89)	1.47 (0.85, 2.26)	-0.370	0.712	0.43 (0.00, 2.18)	0.02 (0.00, 1.34)	-0.806	0.420
最大增强	2279.90±639.40	2304.41±545.15	-0.170	0.865	2000.06 (1625.81, 2444.61)	1440.10 (1308.98, 1597.52)	-5.112	<0.001*
相对增强 (%)	184.58±48.23	198.07±45.36	-1.225	0.223	167.42 (137.54, 201.47)	140.80 (119.73, 187.02)	-1.895	0.058

\* P < 0.05。

表 3 乳腺癌新辅助化疗疗效多因素 logistic 回归分析

Tab. 3 Multivariate logistic regression analysis of therapeutic effect of neoadjuvant chemotherapy for breast cancer

变量	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>Wald</i> $\chi^2$	<i>OR</i>	95%		<i>P</i>
					下限	上限	
ADC值	0.004	0.001	6.246	1.004	1.001	1.007	0.012*
达峰时间	0.018	0.007	7.124	1.019	1.005	1.032	0.008*
流入速率	-0.523	0.214	6.007	0.592	0.390	0.900	0.014*
曲线下面积	-0.006	0.003	4.065	0.994	0.988	1.000	0.044*
最大增强	-0.005	0.002	10.446	0.995	0.992	0.998	0.001*

\**P* < 0.05。

表 4 多因素 Logistic 回归模型预测乳腺癌新辅助化疗疗效准确率(%)

Tab. 4 Prediction accuracy of multifactor logistic regression model for therapeutic effect of neoadjuvant chemotherapy for breast cancer (%)

实测	预测( <i>n</i> )		正确百分比
	非完全缓解组	完全缓解组	
非完全缓解组	97	6	94.2
完全缓解组	5	18	78.3
总体百分比			91.3

(magnetic resonance spectral imaging, MRSI)等, 也被报道用于乳腺癌的评估。未来将多种影像学技术结合起来可能会提供更全面的信息, 有助于更准确地评估治疗效果<sup>[13-16]</sup>。本研究旨在探讨 T1 灌注成像联合 DWI 在评估乳腺癌新辅助化疗效果中的应用, 以提供更个体化的治疗策略。本研究回顾性收集了 126 例乳腺癌患者的临床和影像学数据, 并使用多因素 Logistic 回归分析来探讨不同影像学参数与新辅助化疗疗效之间的关系。结果显示, 时间-信号强度曲线(TIC)下面积、达峰时间、流入速率、最大增强与 ADC 值在评估新辅助化疗疗效方面具有显著相关性。基于这些相关性因素建立的多因素 Logistic 回归模型用于预测化疗疗效的准确率为 91.3%。这表明这些影像学参数可以用于预测患者对化疗的反应, 从而帮助医生更好地制定个体化的治疗计划。

综上所述, 本研究为乳腺癌患者的治疗提供了有益的信息, 通过使用 T1 灌注成像联合 DWI 成像技术, 可帮助临床医生更准确地评估新辅助化疗的效果。然而, 虽然 T1 灌注成像和 DWI 等影像学参数在评估治疗后的疗效方面表现出潜力,

但在治疗前准确预测疗效仍然是一个挑战。未来的研究可能需要更多的长期随访数据和更大的患者样本来改进预测模型的准确性, 以期为乳腺癌患者的个体化治疗提供更可靠的指导。

## [参考文献]

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of Incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *Ca Cancer J Clin*, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] Malveiro C, Correia I R, Cargaleiro C, et al. Effects of exercise training on cancer patients undergoing neoadjuvant treatment: A systematic review[J]. *J Sci Med Sport*, 2023, 26(11): 586-592.
- [3] Cortazar P, Zhang L, Untch M, et al. Pathological complete response and long-term clinical benefit in breast cancer: the CTNeoBC pooled analysis[J]. *Lancet*, 2014, 384(9938): 164-172.
- [4] Díaz C, González-Olmedo C, Díaz-Beltrán L, et al. Predicting dynamic response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer: A novel metabolomics approach[J]. *Mol Oncol*, 2022, 16(14): 2658-2671.
- [5] Fisusi F A, Akala E O. Drug Combinations in Breast Cancer Therapy[J]. *Pharm Nanotechnol*, 2019, 7(1): 3-23.
- [6] Zhang M, Horvat J V, Bernard-Davila B, et al. Multiparametric MRI model with dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted imaging enables breast cancer diagnosis with high accuracy[J]. *J Magn Reson Imaging*,

- 2018, 49(3): 864–874.
- [7] Park G E, Kang B J, Kim S H, et al. The role of diffusion-weighted imaging based on maximum-intensity projection in young patients with marked background parenchymal enhancement on contrast-enhanced breast MRI[J]. *Life (basel)*, 2023, 13(8): 1744–1758.
- [8] Hu X Y, Li Y, Jin G Q, et al. Diffusion-weighted MR imaging in prediction of response to neoadjuvant chemotherapy in patients with breast cancer[J]. *Oncotarget*, 2017, 8(45): 79642–79649.
- [9] Huang Z, Chen X, Jiang N, et al. A clinical radiomics nomogram preoperatively to predict ductal carcinoma in situ with microinvasion in women with biopsy-confirmed ductal carcinoma in situ: a preliminary study[J]. *Bmc Med Imaging*, 2023, 23(1): 118–130.
- [10] Iannessi A, Beaumont H, Liu Y, et al. RECIST 1.1 and lesion selection: How to deal with ambiguity at baseline?[J]. *Insights Imaging*, 2021, 12(1): 36–44.
- [11] Scaranelo A M. What's hot in breast MRI[J]. *Can Assoc Radiol J*, 2022, 73(1): 125–140.
- [12] Leithner D, Moy L, Morris E A, et al. Abbreviated MRI of the breast: Does it provide value?[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 49(7): e85–e100.
- [13] Tran W T, Sadeghi-Naini A, Lu F I, et al. Computational radiology in breast cancer screening and diagnosis using artificial intelligence[J]. *Can Assoc Radiol J*, 2020, 72(1): 98–108.
- [14] Saha M, Mukherjee R, Chakraborty C. Computer-aided diagnosis of breast cancer using cytological images: A systematic review[J]. *Tissue Cell*, 2016, 48(5): 461–474.
- [15] Satake H, Ishigaki S, Ito R, et al. Radiomics in breast MRI: current progress toward clinical application in the era of artificial intelligence[J]. *Radiol Med*, 2021, 127(1): 39–56.
- [16] Xu H D, Zhang Y Q. Evaluation of the efficacy of neoadjuvant chemotherapy for breast cancer using diffusion-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging[J]. *Neoplasma*, 2017, 64(3): 430–436.

---

## 版权声明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文, 作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意编辑部上述声明。

《昆明医科大学学报》编辑部