

· 论著 · 胸部 ·

ADC值联合DCE-MRI定量参数Kep、Ktrans对乳腺癌新辅助化疗疗效的预测价值

赵元艳* 史纲 谢录玲 王润强 张宝亮

青海省第五人民医院(青海 西宁 810000)

【摘要】目的 探究表观弥散系数(ADC)值联合动态增强磁共振成像(DCE-MRI)定量参数容量速率常数(Kep)、转移常数(Ktrans)对乳腺癌新辅助化疗(NAC)疗效的预测价值。**方法** 回顾性分析,收集2022年3月至2024年1月本院收治的92例乳腺癌患者,均接受NAC治疗,于NAC治疗前、后,患者均接受MRI的扩散加权成像(DWI)、DCE-MRI序列扫描,获得ADC值、Kep、Ktrans参数值;根据NAC后疗效分为有效组、无效组,比较两组化疗前、后ADC值、Kep、Ktrans参数值;绘制受试者工作特征(ROC)曲线,分析化疗前各参数值对乳腺癌NAC疗效的预测价值。**结果** 92例乳腺癌患者中,有36例患者NAC治疗无效,56例患者治疗有效。与治疗前相比,两组治疗后ADC值升高,Kep、Ktrans值下降,有统计学差异($P<0.05$);无效组治疗前、后的ADC值低于有效组,Kep、Ktrans值高于有效组,有统计学差异($P<0.05$)。绘制ROC曲线图,结果显示,治疗前ADC、Kep、Ktrans单独及联合检查预测乳腺癌患者NAC疗效均有一定价值,AUC值均 >0.71 ,联合检查时AUC值最高。**结论** ADC值联合DCE-MRI定量参数Kep、Ktrans对乳腺癌NAC疗效具有一定预测价值。

【关键词】 乳腺癌;新辅助化疗;疗效;表观弥散系数;动态增强磁共振成像;预测价值

【中图分类号】 R737.9

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2025.10.022

Predictive Value of ADC Value Combined with DCE-MRI Quantitative Parameters Kep and KTrans for Neoadjuvant Chemotherapy in Breast Cancer

ZHAO Yuan-yan*, SHI Gang, XIE Lu-ling, WANG Run-qiang, ZHANG Bao-liang.

The Fifth People's Hospital of Qinghai Province, Xining 810000, Qinghai Province, China

Abstract: Objective To explore the predictive value of apparent diffusion coefficient (ADC) combined with quantitative parameters of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI), including volume rate constant (Kep) and metastasis constant (KTrans), on the efficacy of neoadjuvant chemotherapy (NAC) for breast cancer. **Methods** Retrospective analysis was conducted to collect 92 patients with breast cancer admitted to our hospital from March 2022 to January 2024. All patients received NAC treatment. Before and after NAC treatment, all patients received diffusion weighted imaging (DWI) and DCE-MRI sequence scanning of MRI to obtain ADC values, Kep values, and KTrans parameters; Divide into effective group and ineffective group based on the efficacy of NAC, and compare the ADC values, Kep, and Ktrans parameter values before and after chemotherapy between the two groups; Draw the ROC curve of subjects, and analyze the predictive value of each parameter value on the NAC efficacy of breast cancer before chemotherapy. **Results** Among 92 patients with breast cancer, 36 patients were ineffective in NAC treatment, and 56 patients were effective in NAC treatment. Compared with before treatment, the ADC values of the two groups increased and the Kep and Ktrans values decreased after treatment, with statistical differences ($P<0.05$); the ADC values before and after treatment in the ineffective group were lower than those in the effective group, while Kep and Ktrans values were higher than those in the effective group, with statistical differences ($P<0.05$). The ROC curve was drawn, and the results showed that ADC, Kep, KTrans alone and together had certain value in predicting the NAC efficacy of breast cancer patients before treatment. AUC values were all >0.71 , and the AUC value was the highest in the combined examination. **Conclusion** ADC value combined with DCE-MRI quantitative parameters Kep and KTrans has certain predictive value for the efficacy of NAC in breast cancer.

Keywords: Breast Cancer; Neoadjuvant Chemotherapy; Therapeutic Effect; Apparent Dispersion Coefficient; Dynamic Enhanced Magnetic Resonance Imaging; Predictive Value

乳腺癌早期一般无明显症状,随着疾病不断发展,患者会出现乳房肿块、乳头溢液等症状,错失手术治疗时机,多需新辅助化疗(NAC)治疗^[1]。NAC是局部晚期乳腺癌常见治疗手段,能够有效缩小原发病灶,便于手术切除,促进患者预后^[2]。但受多种因素影响,部分患者对NAC化疗药物不敏感,导致NAC疗效不佳,不利于患者预后。因此,临床应寻求可积极预测乳腺癌患者NAC疗效的指标。磁共振成像(MRI)是辅助检查乳腺癌的重要影像学手段,能够评估肿瘤体积变化判

断NAC疗效,但早期疗效难以通过肿瘤体积识别。扩散加权成像(DWI)可体现组织内的水分子扩散状况,定量测量癌细胞水分子弥散,进而判定病灶状况^[3]。动态增强磁共振成像(DCE-MRI)可定量评估肿瘤组织中的血流状况,评估病灶浸润范围,判定治疗效果^[4]。因此,本研究旨在探究DWI联合DCE-MRI定量参数对乳腺癌NAC疗效的预测价值。具示如下。

1 资料与方法

【第一作者】赵元艳,女,主管技师,主要研究方向:乳腺MRI技术。E-mail: zhaoyuany90@163.com

【通讯作者】赵元艳

1.1 一般资料 回顾性分析，收集2022年3月至2024年1月本院收治的92例乳腺癌患者，均接受NAC治疗，92例患者的年龄44~76岁，平均(59.94±7.84)岁；体重指数18.1~26.6 kg/m²，平均(21.94±1.33)kg/m²；临床分期：II期28例、III期31例、IV期33例。

纳入标准：乳腺癌符合诊治指南与规范(2019年版)^[5]中的诊断标准，并经影像学检查、组织活检检查确诊；在本院进行NAC治疗；初次确诊且接受治疗者；患者具备完善的影像学资料、病历资料，可支持此次研究；患者对此次资料阅览知晓、同意。排除标准：合并宫颈癌、肺癌等其他癌症者；期间更换化疗方案者；影像学图像质量较差，无法完成研究者；乳腺癌远处转移者；研究期间病死者。

1.2 方法

1.2.1 新辅助化疗方案及疗效评估方法 本研究92例乳腺癌患者均采用吡柔吡星+多西他赛+环磷酰胺NAC化疗方案进行治疗。根据治疗前、后肿瘤细胞密度变化进行组织病理学疗效评估，主要参照Miller Payne改良病理反应性分级标准^[6]进行判断，主要分为I级~V级5个等级。其中I级：浸润性癌细胞数目无变化；II级：浸润性癌细胞数目减少，减少百分比≤30%；III级：浸润性癌细胞数目减少，范围为30%~90%；IV级：浸润性癌细胞数目减少，占比超过90%；V级：未见癌细胞残留。将IV级~V级归为有效组；I级~III级归为无效组。

1.2.2 DWI检查方法 采用GE 750W和GE Premier 3.0T MRI扫描仪进行检查，为8通道乳腺专用的相控阵线圈。于检查前，操作者协助患者取俯卧体位，保持头先进，双举上臂，身体保持放松状态，双侧乳腺对称、自然垂于线圈内，尽量将胸部紧贴线圈。首先进行MRI常规扫描，其中横断位T₁WI序列如下：TR、TE分别为4.5ms、1.98ms，层厚为1.3mm，矩阵为320×320，FOV为340mm×340mm；横断位T₂WI序列扫描参数如下：TR、TE分别为3556ms、70ms，层厚为4mm，矩阵为480×480，FOV为340mm×340mm，激励次数为2。然后进行DWI扫描，参数如下：TR、TE分别为8830ms、57ms，FOV为256mm×256mm，b值为0、1000s/mm²，层厚为4mm，激励次数为2，间隔6mm。将获取的图像上传到MRI扫描仪自带的后处理工作站中，在病变强化明显的实质部分选择3个感兴趣区域，勾画时避免病灶囊边、出血等区域，在仪器中输入b值后，软件可自动处理并得到表观弥散系数(ADC)值，测量3次取平均值为最终结果。

1.2.3 DCE-MRI检查方法 DWI序列扫描后，进行DCE-MRI扫描，采用高压注射器将钆盐酸葡胺对比剂经患者肘静脉注入，注射剂量为0.2mL/kg，根据患者状况调节注射速率，范围为2.0~2.5mL/s，扫描参数如下：TR、TE分别为3.9ms、1.84ms，矩阵为138×192，FOV为320mm×320mm，层厚为3mm，激励次数为1，采用5°、10°、15°、20°、25°反转角，扫描1+6期，每期扫描时间1min。图像上传至后处理工作站，首先进行运动伪影的矫正，选择适宜参考模型，可清晰显示病灶范围图像，选择感兴趣区域，并从软件中得到容量速率常数(Kep)、转移常数(Ktrans)，均测量3次后取平均值。

1.3 评价指标 (1)比较有效组、无效组一般资料；(2)比较有效组、无效组化疗前、后ADC值、Kep、Ktrans参数值；(3)绘制受试者工作特征(ROC)曲线，分析治疗前ADC值联合DCE-MRI定量参数Kep、Ktrans对乳腺癌NAC疗效的预测价值。

1.4 统计学方法 采用SPSS 25.0软件处理数据，计数资料以%和n表示，采用 χ^2 检验；计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示，组间比采用独立样本t检验，组内以配对样本t检验；绘制ROC曲线，并计算曲线下面积(AUC)值，以检验ADC值联合DCE-MRI定量参数Kep、Ktrans对乳腺癌NAC疗效的预测价值(预测价值较高：AUC值>0.9；具有一定预测价值：AUC值范围为0.71~0.90；预测价值较差：AUC值低于0.71)。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 有效组、无效组一般资料比较 92例乳腺癌患者中，有36例患者NAC治疗无效，56例患者治疗有效。有效组、无效组一般资料比较，无统计学差异($P>0.05$)。见表1。

2.2 两组患者NAC治疗前、后ADC值、Kep、Ktrans参数比较 与治疗前比，两组治疗后ADC值升高，Kep、Ktrans值下降，有统计学差异($P<0.05$)；无效组治疗前、后的ADC值低于有效组，Kep、Ktrans值高于有效组，有统计学差异($P<0.05$)。见表2。

2.3 ADC值联合Kep、Ktrans参数对乳腺癌NAC疗效的预测价值的ROC曲线分析 将乳腺癌患者NAC疗效状况作为状态变量(1=无效，0=有效)，将治疗前ADC、Kep、Ktrans值作为检验变量，绘制ROC曲线图(见图1)，结果显示，治疗前ADC、Kep、Ktrans单独及联合检查预测乳腺癌患者NAC疗效均有一定价值，AUC值均>0.71，联合检查时AUC值最高；当三项指标的cut-off值分别取 $1.365 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 、2.675min、2.245min时，可获得最佳预测价值。见表3。

表1 有效组、无效组一般资料比较

组别	年龄(岁)	体重指数(kg/m ²)	临床分期			合并基础病	
			II期	III期	IV期	高血压	糖尿病
无效组(n=36)	60.58±4.74	22.06±1.45	12(33.33)	13(36.11)	11(30.56)	15(41.67)	13(36.11)
有效组(n=56)	59.47±5.79	21.78±1.39	16(28.57)	18(32.14)	22(39.29)	20(35.71)	19(33.93)
χ^2/t	0.961	0.927	0.731			0.329	0.046
P	0.339	0.356	0.694			0.566	0.830

表2 两组患者NAC治疗前、后ADC值、Kep、Ktrans参数比较

组别	ADC($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)		Kep(min)		Ktrans(min)	
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
无效组(n=36)	1.05 \pm 0.35	1.39 \pm 0.41	3.07 \pm 0.81	2.70 \pm 0.68	2.61 \pm 0.53	2.24 \pm 0.49
有效组(n=56)	1.66 \pm 0.42	1.94 \pm 0.45	2.65 \pm 0.64	2.28 \pm 0.71	2.04 \pm 0.55	1.76 \pm 0.50
t	7.243	5.920	2.765	2.815	5.265	4.529
P	<0.001	<0.001	0.007	0.006	<0.001	<0.001

表3 ADC值联合Kep、Ktrans参数对乳腺癌NAC疗效的预测价值的ROC曲线分析

指标	AUC	95%CI	P	cut-off值	特异性	敏感度	约登指数
ADC	0.872	0.799~0.945	<0.001	1.365($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	0.768	0.861	0.629
Kep	0.752	0.649~0.854	<0.001	2.675(min)	0.643	0.778	0.421
Ktrans	0.779	0.683~0.875	<0.001	2.245(min)	0.696	0.806	0.502
联合	0.917	0.853~0.982	<0.001	-	0.786	0.889	0.675

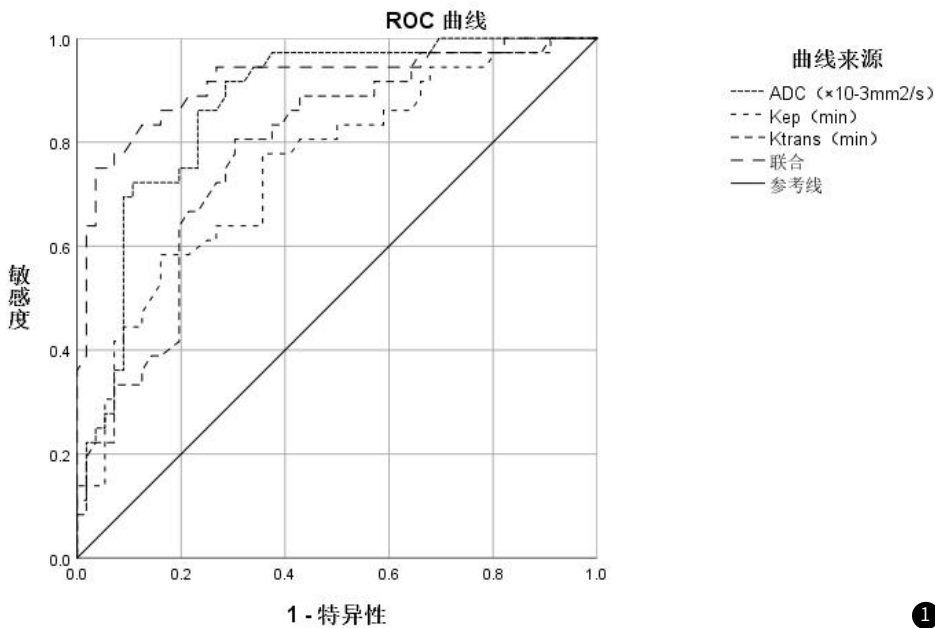


图1 ADC值联合Kep、Ktrans参数对乳腺癌NAC疗效的预测价值的ROC曲线图。

3 讨论

早期乳腺癌症状不明显，但存在转移风险，目前检查技术难以辨别微转移灶，若仅采用手术切除难以提高无瘤生存率^[7]。此外，中晚期乳腺癌患者癌组织周围存在浸润现象，这也给手术增加难度，会缩短患者无瘤生存期。可见，于手术切除或全身化疗前进行局部化疗十分必要。NAC是于局部切除、全身化疗前应用的治疗方式，能够有效缩小原发肿瘤，为手术切除提供机会^[8]。但高度异质性是乳腺癌的重要特征，患者尽管采取同样NAC方式，其治疗疗效可能存在差异，这也会影响预后。因此，及早预测乳腺癌NAC疗效十分必要。

以往临床评估乳腺癌NAC疗效主要依据病理学疗效评估方法，虽然准确率较高，但属于有创检查，无法实现重复检查，应用有限^[9]。肿瘤最大直径缩小情况也是评估NAC疗效的常见方法，但受多种因素影响，敏感度低下，不适用于NAC疗效评

估中。MRI技术是无创检查方法，能够测定组织中分子运动及微血管灌注情况，逐渐被用于癌症化疗疗效评估中。DWI能够定量评估肿瘤的生长状态，通过测量其定量参数ADC值可客观判断肿瘤弥散状况^[10]。DCE-MRI可定量评估肿瘤生长状态，有效显示肿瘤组织血流动力学、灌注参数情况^[11]。DCE-MRI检查中通过拟合得到信号强度曲线，找到适当药代动力学模型，可获得Kep、Ktrans等参数，可评估肿瘤疗效及预后^[12]。

本研究结果显示，与治疗前比，两组治疗后ADC值升高，Kep、Ktrans值下降；无效组治疗前、后的ADC值低于有效组，Kep、Ktrans值高于有效组。可见，乳腺癌患者经NAC治疗后ADC值升高，Kep、Ktrans值下降，三项参数可能对预测NAC疗效有一定价值。

(下转第 68 页)

像可通过血流动力学良好反应TACE疗效^[12]。全肝CT灌注显像能在较短时间内迅速获得较稳定的造影剂浓度,有利于高质量、实时、动态地显示肝动脉血流和血管三维结构。在不需要屏住呼吸的情况下,不会出现螺旋状、漂移性伪影,有利于对微小病变和血管的显示;这种方法集灌注、血管重建、增强检查于一体,使检查更加便捷^[13]。

综上所述,全肝CT灌注成像可快速、准确通过量化分析肿瘤的血流灌注情况,实现对肿瘤活性的评估,在肝癌患者接受TACE术治疗前后可接受全肝CT灌注成像检查可对病情进行良好术前评估,也用于评价TACE术后的效果和局部复发,对于病人的后续治疗具有积极效果。

参考文献

[1] 毛应凡, 李海歌. 基于Gd-EOB-DTPA增强MRI的影像组学预测肝细胞肝癌术后早期复发[J]. 中国CT和MRI杂志, 2025, 23(4): 115-118.
 [2] 田畅, 陈艾琪, 杜小萌, 等. 基于CT影像组学及临床多因素回归分析预测肝细胞肝癌TACE术后中重度腹痛的模型构建[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(5): 109-112.
 [3] 李臻, 石洋, 魏亚雯, 等. 载药微球经动脉化疗栓塞治疗老年消化道癌的疗效[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(7): 1173-1177.
 [4] 王栋, 张巍, 钱晟, 等. 肝细胞癌患者经动脉化疗栓塞治疗后长期生存的影响因素分析[J]. 中国临床医学, 2022, 29(3): 389-395.

[5] 黄卫民, 徐辉, 汪继辉. CT增强扫描和DSA检测原发性肝癌TACE术后肿瘤残留及新发病灶[J]. 中国CT和MRI杂志, 2016, 14(9): 77-79.
 [6] 梁瑞金, 沈雪芳, 丁玲, 等. CT血流灌注结合血脑屏障标志蛋白对中毒性休克患者神经元损伤的评价价值[J]. 影像科学与光化学, 2020, 38(2): 211-217.
 [7] 刘东辉, 于士龙, 张北光, 等. 雷替曲塞联合奥沙利铂及经导管动脉化疗栓塞术TACE治疗不可切除肝癌的疗效[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(21): 5167-5170.
 [8] 任国英, 张贵松, 李风雷, 等. DSA引导下TACE联合¹²⁵I粒子植入疗法对肝癌患者血清TK1与DKK1表达的影响[J]. 中西医结合肝病杂志, 2023, 33(3): 209-212.
 [9] 范晓华, 陈存国, 管建民, 等. 原发性肝癌患者行DSA引导下肝动脉化疗栓塞后疗效评估中超声造影的价值[J]. 中华全科医学, 2022, 20(2): 294-297.
 [10] 毕孝杨, 邱瑞珍, 杨福军, 等. CT灌注成像对肝癌TACE术后早期反应预测价值的Meta分析[J]. 影像科学与光化学, 2023, 41(5): 260-269.
 [11] 潘春涵, 沈文荣, 乔伟, 等. 肝细胞肝癌并门脉癌栓的CT灌注成像及治疗方法概述[J]. 中国肿瘤外科杂志, 2022, 14(5): 504-508.
 [12] 李真真, 耿云平, 任悠悠, 等. CT灌注成像观察原发性肝癌TACE术后血供状态对预后的评估价值[J]. 肝脏, 2021, 26(11): 1268-1271, 1275.
 [13] 杨怀龙, 雷震. CT全灌注成像在肝癌TACE介入术前肝储备功能评估中的价值[J]. 肝脏, 2020, 25(3): 270-272.

(收稿日期: 2024-04-19)
(校对编辑: 姚丽娜)

(上接第 62 页)

本研究进一步绘制ROC曲线图, 结果显示, 治疗前ADC、Kep、Ktrans单独及联合检查预测乳腺癌患者NAC疗效均有一定价值, AUC值均>0.71, 联合检查时AUC值最高; 证实ADC、Kep、Ktrans在乳腺癌患者NAC疗效中预测价值。分析原因为, 乳腺癌患者肿瘤组织中细胞较为密集, 水分子运动受限, 在DWI中表现为高信号, ADC值下降^[13]。经NAC治疗时, 肿瘤细胞不断凋亡、坏死, 肿瘤组织细胞密度下降, 间隙不断扩大, 进而缓解水分子运动受限情况, ADC值升高。而NAC无效的患者肿瘤组织密度仍较高, ADC值升高不明显。乳腺癌患者血运丰富, 对比剂注入后到达肿瘤血管以高速率进入癌组织, 导致Kep、Ktrans值升高^[14]。NAC治疗后肿瘤下拨不断凋亡, 癌细胞减少, 血管密度下降, 降低Kep、Ktrans值, 但治疗无效的患者Kep、Ktrans值下降不明显。

综上所述, ADC值联合DCE-MRI定量参数Kep、Ktrans对乳腺癌NAC疗效具有一定预测价值。

参考文献

[1] 钟明浩, 杨志企, 姚纯, 等. 定量DCE-MRI参数, ADC值与乳腺癌p53, CK56表达状态相关性研究[J]. 国际医学放射学杂志, 2021, 44(4): 403-407.
 [2] 吴秀丽, 杨文明. RECIST1.1标准和MRI功能成像评价乳腺癌新辅助化疗早期疗效的价值[J]. 甘肃医药, 2023, 42(10): 903-905.

[3] 任继鹏, 闫海龙, 周凤梅, 等. 磁共振功能成像在乳腺癌新辅助化疗疗效评价中的应用分析[J]. 现代医用影像学, 2019, 28(6): 1323-1324.
 [4] 贺春燕, 吉茹, 刘兵. 平扫MRI和DCE-MRI对乳腺癌新辅助化疗疗效的预测价值比较[J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34(1): 24-27.
 [5] 中国抗癌协会乳腺癌专业委员会. 中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2019年版)[J]. 中国癌症杂志, 2019, 29(8): 56-127.
 [6] 郭建峰, 顾华芸, 黄敏, 等. 声脉冲触诊组织定量技术评价乳腺癌新辅助化疗后残存灶的价值[J]. 临床超声医学杂志, 2018, 20(6): 374-378.
 [7] 刘永光, 马捷, 谭文勇, 等. 基于功能磁共振影像组学预测乳腺癌新辅助化疗疗效的应用研究[J]. 肿瘤药学, 2021, 11(3): 332-336.
 [8] 董健, 谢宗源, 李垣婕, 等. 磁共振功能成像在进展期直肠癌新辅助放化疗疗效评估中的应用[J]. 中国临床研究, 2020, 33(6): 759-763.
 [9] 王彦龙, 朱丽娜, 刘艳. 磁共振成像多参数联合对乳腺癌新辅助化疗后病理反应的预测价值[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(7): 1064-1068.
 [10] 王洁, 唐文伟, 田忠甫, 等. 乳腺癌DCE-MRI参数及ADC与病理分子预后标记物的相关性分析[J]. 磁共振成像, 2021, 12(3): 76-79.
 [11] 胡卫, 刘良进. DCE-MRI结合DWI评估肝癌介入治疗疗效的应用价值[J]. 国际医药卫生导报, 2022, 28(5): 719-724.
 [12] 丁芳芳, 王巍巍, 杨素君. DCE-MRI及DWI在乳腺癌诊断及化疗效果评估中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(7): 90-92.
 [13] 张弛, 许国辉. 基于DCE-MRI评价乳腺癌新辅助化疗疗效的研究进展[J]. 肿瘤预防与治疗, 2023, 36(7): 595-600.
 [14] 孙晨, 李鲁, 雷启超, 等. DCE-MRI在乳腺癌新辅助化疗疗效评价中的价值[J]. 浙江临床医学, 2023, 25(9): 1366-1368.

(收稿日期: 2024-06-03)
(校对编辑: 姚丽娜)