论著

## 基于动态增强磁共振 成像鉴别HER2阳性乳 腺癌

郭浩东<sup>1</sup> 袁晓凡<sup>1</sup> 朱建国<sup>1</sup> 蔡康杰<sup>1</sup> 崔梦涵<sup>2</sup> 李海歌<sup>1,\*</sup>

 1.南京医科大学第二附属医院医学影像科 (江苏南京 210011)

## 2.南京医科大学第二附属医院病理科 (江苏南京 210011)

【摘要】目的 评价基于动态增强磁共振成像(DCE-MRI)的定量、半定量参数在鉴别HER2阳性乳腺癌中 的作用。**方法** 采用回顾性研究方法,收集女性乳腺 癌患者147例。所有患者接受3.0T MRI检查,采集 到的DCE-MRI的参数包括:容积转运常数(K<sup>trans</sup>)、 速率常数(kep)、血管外细胞外容积分数(ve)、血 浆容积分数(v₀)、达峰时间(TTP)、最大浓度(MAX Conc)、增强曲线下初始面积(AUC)、最大斜率(MAX Slope)。将患者分别分为两组(HER2阳性组vs.非 HER2阳性组)。采用单因素分析参数组间差异;进 一步采用二元Logistic回归,并构建联合诊断模型, 评估DCE-MRI定量、半定量参数及联合诊断模型鉴 别HER2阳性乳腺癌的价值。结果两组的组间比较 中,8个定量、半定量参数具有统计学差异; kep、 TTP和联合模型对于HER2阳性乳腺癌具有诊断价 值(AUC=0.763、0.733、0.832,经DeLong检验比 较,P均<0.020)。结论 DCE-MRI定量参数、半定 量参数是HER2阳性乳腺癌的独立诊断因素; kep、 TTP和联合诊断模型对HER2阳性乳腺癌具有诊断价 值,且联合模型的诊断效能更高。

【关键词】动态增强磁共振成像;速率常数(kep); 乳腺癌分子分型;HER2阳性乳腺癌 【中图分类号】R445.2;R737.9 【文献标识码】A DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.07.031

# Study on Identification of HER2 Positive Breast Cancer Using Dynamic Contrast Enhanced Magnetic Resonance Imaging

 GUO Hao-dong<sup>1</sup>, YUAN Xiao-fan<sup>1</sup>, ZHU Jian-guo<sup>1</sup>, CAI Kang-jie<sup>1</sup>, CUI Meng-han<sup>2</sup>, LI Hai-ge<sup>1,\*</sup>.
 1.Department of Medical Imaging, the Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210011, Jiangsu Province, China

2.Department of Pathology, the Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210011, Jiangsu Province, China

## ABSTRACT

Objective To evaluate the role of quantitative and semi quantitative parameters based on dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) in discriminating three negative breast cancer and HER2 positive breast cancer. Methods A retrospective study was conducted to collect 147 female breast cancer patients (mean age  $52.91 \pm 28$ . 09 years). All patients underwent 3.0T MRI examination. The parameters of DCE-MRI included: volume transport constant ( $K^{trans}$ ), rate constant ( $k_{ep}$ ), extravascular extracellular volume fraction ( $v_e$ ), plasma volume fraction  $(v_0)$ , time to peak (TTP), maximum concentration (Max conc), initial area under enhancement curve (AUC), time to peak (TTP) The maximum slope has four semi quantitative parameters. According to the results of immunohistochemistry, the patients were divided into 2 groups (HER2 positive group vs non HER2 positive group). Univariate analysis was used to analyze the differences between groups; Two variables Logistic regression was used to deal with data with statistical difference between groups, and to study the value of parameters in molecular typing of breast cancer. Results Ktrans, kep, ve, vp, TTP, MAX Conc, AUC, and MAX Slope were statistically different between the HER2-positive breast cancer group and the non-HER2-positive breast cancer group. kep, TTP and the combined model were diagnostic for HER2positive breast cancer (AUC = 0.763, 0.733, 0.832, all P<0.020, by DeLong test). Conclusion DCE-MRI quantitative parameters and semi-quantitative parameters are independent diagnostic factors of HER2-positive breast cancer. The kep, TTP and combination diagnostic models have diagnostic value for HER2-positive breast cancer, and the combined models have higher diagnostic efficiency.

Keywords: Dynamic Contrast-enhanced MRI; Rate Constant (kep); Molecular Typing of Breast Cancer; HER2 Positive Breast Cancer

乳腺癌是我国女性致死率最高的恶性肿瘤<sup>[1]</sup>。而乳腺癌病理的分子亚型分型与患者 治疗方案及预后的关系密切,2021年全国乳腺癌大会暨中国临床肿瘤学会乳腺癌年会提 出的HER2阳性晚期乳腺癌诊疗指南更新要点中指出,新一代抗体偶联药物丰富了HER2 阳性晚期乳腺癌的治疗选择,可极大延长这部分患者的生存期<sup>[2]</sup>。

目前,MR检查被广泛应用于在乳腺癌的术前分期<sup>[3]</sup>、治疗监测<sup>[4-5]</sup>、检测有无复 发。动态增强磁共振成像(dynamic contrast-enhanced MR, DCE-MRI)对病灶的新生血 管提供特异性的形态学信息以及功能学信息<sup>[6]</sup>,因此也被用于病灶的良恶性鉴别<sup>[7]</sup>,活 动性分级<sup>[8]</sup>,预后因子相关性分析<sup>[9]</sup>以及疗效的评估<sup>[10]</sup>。

在本研究中,使用DCE-MRI技术对乳腺病灶进行分析,评价经DCE-MRI得到的参数 在对鉴别HER2阳性乳腺癌中的作用。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取2017年12月至2019年12月于我院就诊,并术前行3.0T DCE-MRI乳腺 检查的女性乳腺癌患者,共147例。

纳入标准:乳腺检查前未进行过手术或穿刺、放化疗;乳腺DCE-MRI检查的扫描 参数一致、完整;于我院乳腺外科手术,且病理资料完整。排除标准:乳腺病灶体积过 小,勾画肿瘤边界时困难;乳腺检查结果图像质量差,不能用于分析。

结果,经排除直径小于0.5cm的病灶(25例)、非肿块样强化病变(20例)、MRI图像质 量差(4例)以及病理分级及免疫组化表型描述模糊(2例),最终96例患者被纳入研究,其 中HER2阳性39例(42个病灶)、HER2阴性57例(59个病灶)。

**1.2 检查方法** 扫描序列及参数:采用3.0 T MR(Signa,GE,美国)进行检查,常规MR扫 描参数如下:T<sub>2</sub>WI:TR/TE=4000/70ms,层厚=5mm,间距=0.5mm,视野(field angle of view,FOV)=340 × 340,矩阵=448 × 448,激励次数=1次。DCE-MRI参数:TR/TE = 4.5/1.6ms,用可变翻转角法计算T1 mapping,翻转角度=3°、5°、8°、10°、12°、15°, 层厚=3.0mm,间距=10.0mm,矩阵=448×344,FOV=340×340,激励次数=1。用高压 注射器以3.0mL/s的流速静脉注射Gd-DTPA(0.15mmol/kg),最后用20mL生理盐水冲洗。 **1.3 图像处理**本研究中的定量、半定量参数由GE公司离线软件包(omni kinetics,OK) 处理乳腺检查图像的DICOM的原始数据得到。数据采集方面如下:两名具有五年以上乳 腺影像诊断经验的影像科医师,采用双盲法,均不知道另一位医师数据结果及术后肿瘤病理。使用OK软件打开患者的乳腺检查 图像。参照降主动脉血流,选择血流动力学双室(extended tofts linear)模型,自动生成动脉输入函数(arterial input function, AIF)。结合患者原始图像,选取病灶显示最佳层面及上、下共3 层,尽量避开囊变、坏死区,分别勾画感兴趣区,并且得到病灶 处的参数(图1)。OK软件处理DCE-MRI的原始DICOM数据后得到 如下参数:容积转运常数(transfer constant, K<sup>trans</sup>),速率常数 (interstitium-to-plasma rate constant, k<sub>ep</sub>),血管外细胞外容 积分数(fractional extracellular space volum, v<sub>e</sub>),血浆容积分 数(blood plasma volume fractio, v<sub>p</sub>)4个定量参数及达峰时间 (time to peak, TTP),最大浓度(maximum concentration, MAX Conc),增强曲线下初始面积(area under the cure,

AUC),最大斜率(maximum slope, MAX Slope)等4个半定量参数,见图1。

**1.4 统计学分析** 采用SPSS(22.0版本)统计软件对数据进行处理 分析, P<0.05认为有统计学差异。

采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC) 评价两位影像科医师的结果,ICC系数>0.75代表数据重复性好, ICC<0.4代表重复性差;统计分析采用两位医师测量的算术平均 值。采用Kolmogorov-Smirnov检验,符合正态分布的数据以 均值土标准差表示,不符合的数据以中位值(四分位距)的形式 表示。DCE-MRI参数不同分子亚型的组间比较,HER2阳性组vs 非HER2阳性组:数据呈正态分布且组间数据方差齐同(Levene 检验)则采用方差(analysis of variance, ANOVA)分析,否则采 用非参数(Kruskal-Wallis)检验;对有组间差异的参数,采用二 元Logistic回归并构建联合参数;采用受试者工作特征(receiver

## 表1 两位放射科医师测量乳腺病灶DCE-MRI参数的一致性检验

参数	ICC系数	95% CI	
K <sup>trans</sup> (min <sup>-1</sup> )	0.864	0.840~0.912	
k <sub>ep</sub> (min⁻¹)	0.923	0.899~0.935	
Ve	0.915	0.890~0.929	
Vp	0.952	0.922~0.976	
TTP(s)	0.933	0.917~0.959	
MAXConc	0.901	0.893~0.922	
AUC	0.911	0.903~0.924	
MAXSlope(s <sup>-1</sup> )	0.946	0.921~0.967	

注: ICC= intraclass correlation coeffcient = 组内相关系数

95% CI = 95% confidence interval = 95%置信区间

operator characteristic, ROC)曲线,通过DeLong检验比较曲 线下面积(area under curve, AUC),评估各参数及联合参数对 HER2阳性乳腺癌的诊断价值。

## 2 结 果

ICC检验显示DCE-MRI定量参数一致性(可重复性)良好,8 个定量参数ICC系数为系数在0.846~0.952之间(95%置信区间在 0.840与0.976之间),见表1。

HER2阳性乳腺癌组与非HER2阳性乳腺癌组组间比较中, K<sup>trans</sup>、k<sub>ep</sub>、v<sub>e</sub>、v<sub>p</sub>、TTP、MAX Conc、AUC和MAX Slope均具 有统计学差异(图2)。其中,K<sup>trans</sup>(HER2阳性vs.非HER2阳性: 0.423min<sup>-1</sup> vs. 0.222min<sup>-1</sup>, P<0.001)、kep(HER2阳性vs.非HER2 阳性: 0.353 min<sup>-1</sup> vs. 0.112 min<sup>-1</sup>, P<0.001)、v<sub>e</sub>(HER2阳性vs.非 HER2阳性: 0.358 vs. 0.312, P=0.120)、vp(HER2阳性vs.非HER2 阳性: 0.046 vs. 0.005, P<0.001)、TTP(HER2阳性vs.非HER2阳 性: 1.575 s vs. 0.916 s, P<0.001)、MAX Conc(HER2阳性vs.非 HER2阳性: 0.907 vs. 0.507, P=0.015)、AUC(HER2阳性vs.非 HER2阳性: 3.295 vs. 2.129, P=0.011)、MAX Slope(HER2阳性 vs.非HER2阳性: 1.578 vs. 0.409, P<0.001)均为HER2阳性组的 值高于非HER2阳性组(表3)。联合诊断模型=4.34\*kep+1.37\*TTP; ROC曲线显示kep、TTP和联合诊断模型对HER2阳性乳腺癌具有 诊断价值(AUC=0.832、0.763、0.832),且联合模型的诊断效能 更高(经DeLong检验, P均<0.02)(图3)。kep和TTP对于HER2性 乳腺癌病灶的诊断效能无统计学差异(P=0.56)。定量参数keo的 敏感性(69.0%)高于半定量参数TTP(64.8%)和联合诊断模型模型 (63.4%);联合诊断模型的特异性(93.3%)高于定量参数kep(80.0%) 和半定量参数TTP(80.0%)(表4)。

## 表2 HER2阳性、非阳性患者人口学、DCE-MRI参数的比较

		HER2阳性	非HER2阳性	t值/ x <sup>2</sup>	P值
人口学	资料				
性别(身	甼/女)	0/42	0/59	NA	
年龄(岁	岁)	50.60±11.06	53.89±9.612.250	0.137#	
定量	K <sup>trans</sup> (min <sup>-1</sup> )	0.429359(1.033585)	0.222403(0.137415)	17.383	<0.001*
参数	k <sub>ep</sub> (min <sup>-1</sup> )	0.352929(0.442408)	0.112007(0.117107)	27.687	<0.001*
	Ve	0.357978(0.154205)	0.311673(0.125361)	2.413	0.120
	Vp	0.046187(0.217173)	0.005238(0.010971)	18.903	<0.001*
半定量	TTP(s)	1.575100(0.789660)	0.915527(0.976311)	19.752	<0.001*
参数	MAXConc	0.907270(1.791240)	0.506505(1.125020)	5.906	0.015*
	AUC	3.295070(7.160960)	2.129355(4.472288)	6.536	0.011*
	MAXSlope(s <sup>-1</sup> )	1.578270(4.713320)	0.409800(0.775100)	14.198	<0.001*

注: 符合正态分布的数据以均值士标准差表示,不符合则以中位值(四分位距)表示; NA: 不适用 #: 年龄组间(HER2阳性、非HER2阳性)比较采用方差(analysis of variance, ANOVA)检验; \*: 其余数据组间比较采用非参数(Kruskal-Wallis)检验。

表3 二元Logistics回归结果				
	参数	估算值	P值	95%CI
定量参数	k <sub>ep</sub> (min⁻¹)	4.34	<0.001	3.98~4.42
半定量参数	TTP(s)	1.37	0.021	1.10~1.53

注: 95% CI = 95% confidence interval = 95%置信区间

#### 表4 定量、半定量参数及联合诊断模型对HER2阳性乳腺癌诊断效能的比较

	AUC	敏感性	特异性	P值	95%CI
定量参数k <sub>ep</sub>	0.763	0.690	0.800	< 0.001	0.762~0.846
半定量参数TTP	0.733	0.648	0.800	0.021	0.695~0.831
联合诊断模型	0.832	0.634	0.933	0.015	0.794~0.882

注: 95% CI = 95% confidence interval = 95%置信区间



图1 瘤区勾画生成的DCE-MRI伪彩图及患者病理图;图1A-图1I 女,43岁,HER2阳性乳腺癌。图 1A-1H为避开病灶囊变坏死,勾画ROI得到的K<sup>trans</sup>、k<sub>ep</sub>、v<sub>e</sub>、v<sub>p</sub>、TTP、MAX Conc、AUC、MAX S1ope伪彩图;1I为瘤体组织切片光学显微镜下Giemsa染色图,提示病人HER2阳性乳腺癌(肿瘤 细胞呈金黄色)。



**图2A-图2B** K<sup>1rans</sup>、k<sub>ep</sub>、v<sub>e</sub>、v<sub>p</sub>、TTP、MAX Conc、AUC、MAX Slope箱线图。 **图3** ROC曲线。联合诊断模型=4.34\*k<sub>ep</sub>+1.37\*TTP; 经DeLong检验,联合诊断模型的AUC高于k<sub>ep</sub>和TTP(0.832vs.0.763; 0.832vs.0.733, P均<0.02)。

#### 3 讨 论

本研究按照免疫组化结果将乳腺癌病灶分别分为HER2阳性 组和HER2非阳性组,基于DCE-MRI的定性和定量参数的比较, 从而分别进行乳腺癌病灶的分子分型判别,结果显示kep对HER2 阳性乳腺癌具有诊断价值。

由于单纯依靠扩散提供的营养物质,肿瘤不能生长超过 2mm,血管生成成为肿瘤持续生长的关键。新生血管的壁趋于渗 漏,通透性的增加导致早期和快速的磁共振增强。药代动力学参 数在描述乳腺癌血管生成方面非常有用,并已被证明与乳腺癌的 扩散和患者预后相关<sup>[11]</sup>。

在既往的研究中,Monti<sup>121</sup>等人纳入了49例病灶,分析了基 于DCE-MRI药代动力学模型来鉴别组织学结果的可行性,提出可 以进一步构建模型分析分析亚型的可能性。除此之外,Kang<sup>113]</sup> 等提出DCE-MRI灌注参数可能在实际应用中决定抗血管生成治疗 的成功、治疗或新辅助化疗的反应,甚至长期生存结果,因为在 HER2阳性的肿瘤中,血管成熟度与其他非血管干扰剂因素呈正 相关性,本研究结果与其是相符的。这可能和HER2阳性的病灶 中血流动力学发生改变,也就会反映到DCE-MRI的定量参数、半 定量参数当中有关。

Du<sup>[14]</sup>等人的研究发现,k<sub>ep</sub>值与HER2的表达在统计学上存在 正相关,除此之外,Zhou<sup>[15]</sup>等研究显示k<sub>ep</sub>和TTP是区分HER2分 子亚型乳腺癌的独立诊断因素。本研究与这些观点是一致的,k<sub>ep</sub> 反映了药物从组织间隙返回血管的速率,在除外血管自身因素的 情况下,非血管因素如受体蛋白、载体蛋白、信号通路等,也可 能会使得k<sub>ep</sub>的值产生改变,都是由于血流动力学收到了影响;而 TTP是病灶中对比剂浓度达到最高时所需要的时间,与HER2阳性 肿瘤的细胞形态大小、密集程度都是都是有关系的。

Nagasaka<sup>[5]</sup>等人发现,在鉴别乳腺癌分子亚型分类时,与 K<sup>trans</sup>和k<sub>ep</sub>相比,v<sub>e</sub>更具有相关性。本研究结果与其不同,这可能 与ROI绘制时选取瘤体的位置的不同、药代动力学分析软件的差 异以及各乳腺癌分子亚型间本身的异质性是有关系的。

本研究与既往研究的不同之处在于:在研究对象方面,纳 入了更多参数,既包括K<sup>trans</sup>、k<sub>ep</sub>、v<sub>e</sub>、v<sub>p</sub>定量参数,又包括了 TTP、MAX Conc、AUC、MAX Slope半定量参数;本研究以降主 动脉为参照建立动脉输入函数模型,一定程度上消除了研究对象 的个体间差异。在研究方法方面,本研究不仅局限于单因素分析 各参数与HER2阳性乳腺癌分子亚型的关系,还采用多因素分析 评价各参数与HER2阳性乳腺癌分子亚型的诊断效能,更进一步 探究了DCE-MRI与HER2阳性乳腺癌两者之间的关系。 组K<sup>trans</sup>、K<sub>ep</sub>、V<sub>e</sub>值低于未缓解组,证实化疗有效者的乳腺癌病灶 肿瘤血管数量会逐渐减少,管壁通透性、局部血流灌注降低及肿 瘤强化程度也随之下降。DCE-MRI定量参数中K<sup>trans</sup>值可反应对比 剂在血管内转运到组织间隙的能力,可评估毛细血管通透性;V<sub>e</sub> 值每单位体积组织的血管外细胞外间隙容积;K<sub>ep</sub>值为对比剂从组 织间隙中转移到血管内的能力<sup>[14]</sup>。结合以往研究分析,乳腺癌肿 瘤组织内新生血管发育不完全且脆弱,新生血管缺乏完善的管壁 结构,因此通透性高,这是引起K<sup>trans</sup>、K<sub>ep</sub>值升高的病理机制原 因;NAC治疗后肿瘤组织及血管被破坏,肿瘤细胞逐渐坏死,血 管外细胞间隙改变,血、氧供给减少后,血管通透性降低,对比 剂反流入血量降低,K<sup>trans</sup>、K<sub>ep</sub>值会随之降低;V<sub>e</sub>值可坏死及组织 细胞化程度,V<sub>e</sub>值的增高提示肿瘤组织细胞化程度越高<sup>[15-16]</sup>。

本次研究进一步发现TNM分期、K<sup>trans</sup>、Ve、Kep为影响pCR的 危险因素,同时K<sup>trans</sup>、Kep、Ve值联合诊断可提高对pCR预测灵敏 度及特异度,提示K<sup>trans</sup>、Kep、Ve值对肿瘤化疗效果及化疗后pCR 情况评估有一定参考价值。以往有研究显示,DCE-MRI定量参数 K<sup>trans</sup>、Kep、Ve值在治疗有效组与无效组中存在明显差异,可预测 NAC治疗效果<sup>[17]</sup>。但也有研究认为<sup>[18]</sup>,Ktrans、Kep可评估乳腺癌 NAC治疗后pCR情况,而Ve值并无明显预测价值,与本研究结果 不一致,分析可能与Ve易受病变周围水肿影响,稳定性较差,或 是动脉选择不同有关。本次研究的不足在于未纳入乳房假体植入 者,考虑受乳腺植入物材料(含硅)的影响,脂肪抑制效果不佳, 虽已有设备自带针对性压脂序列,如Silicone-Sup序列,但对于 乳房假体植入背景下合并乳腺癌初诊或接受乳腺癌乳房重建术复 诊者,仍然需优化扫描参数。

综上,NAC治疗前后DCE-MRI定量参数K<sup>trans</sup>、Ve、Kep值存 在明显变化,于NAC治疗后pCR患者中呈现更低水平;通过获取 DCE-MRI的影像数据,以预测NAC治疗后pCR的可行性高,有益 于后续指导临床完善个体化治疗方案。

#### 参考文献

[1] 郑少燕,林少帆,陈少贤,等. 乳腺癌新辅助化疗后MRI退缩模式及与病理反应的相关 性探讨[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32 (10): 1725-1730.

- [2]潘鑫源,李孟宇,吴佳星,等.增强磁共振成像对乳腺癌新辅助化疗后病理完全缓解的预测价值[J].中国普外基础与临床杂志,2023,30(3):320-326.
- [3]康晶,薛志伟,王伟.增强磁共振成像病灶-背景实质信号增强比预测乳腺癌新辅助化 疗病理性完全缓解的临床研究[J].东南大学学报: 医学版,2020,39(2):184-190.
- [4] 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(2017年版)
  [J].中国癌症杂志, 2017, 27(9): 695-759.
- [5]Tofts P S,Berkowitz B,Schnall M D.Quantitative analysis of dynamic Gd-DTPA enhancement in breast tumors using a permeability model[J].Magn Reson Med, 1995, 33 (4): 564-568.
- [6] Cho N, Ims A, Park I A, et al. Breast cancer : early prediction of response to neoadjuvant chemotherapy using parametric response maps for MR imaging [J]. Radiology, 2014, 272 (2): 385-396.
- [7]徐晓曦,宋琼.磁共振多征象分析对三阴性乳腺癌新辅助化疗病理完全缓解的预测价值[J].临床肿瘤学杂志,2019,24(1):71-75.
- [8]林小慧,许梅,马捷.采用MRI评估不同分子分型乳腺癌新辅助化疗的疗效[J].中华 放射学杂志,2019,53(11):1020-1024.
- [9]薛珂,丁莹莹,李振辉,等.利用磁共振成像动态增强纹理特征预测不同分子亚型乳腺癌[J].实用放射学杂志,2020,36(8):1235-1239.
- [10] 夏林林,张寅斌,晋瑞,等.磁共振与超声评估乳腺癌患者新辅助化疗后病理完全缓 解价值的比较[J].现代肿瘤医学,2020,28(21):3776-3779.
- [11] Tamayo Carabano D, Alvarez Perez R, de Bonilla Damia A, et al. Sentinel lymph node biopsy in N + breast cancer with conversion into No after neoadjuvant chemotherapy[J]. Revista Espanola de Medicina Nuclear e Imagen Molecular, 2019(3):140-146.
- [12] 贺春燕,张啸飞,刘兵,等.动态增强MRI预测乳腺癌新辅助化疗后病理完全缓解的 准确性[J].中国临床医学影像杂志,2022,33(2):96-100.
- [13] Choi WJ, Kim HH, Cha JH, et al. Complete response on MR imaging after neoadjuvant chemotherapy in breast cancer patients: Factors of radiologic- pathologic discordance [J]. Eur JRadiol, 2019, 118: 114-121.
- [14]杨志金,陈小凤,杨佳达,等.基于动态对比增强MRI的影像组学模型预测乳腺癌新 辅助化疗病理完全缓解的价值[J].中华放射学杂志,2019,53(9):547-551.
- [15] Cavallo Marincola B, Telesca M, Zaccagna F, et al. Can unenhanced MRI of the breast replace contrast-enhanced MRI in as-sessing response to neoadjuvant chemotherapy [J]. Acta Radiologica, 2019, 60 (1): 35-44.
- [16]万芸,黄燕,陈丽君,等.乳腺癌新辅助化疗后MR完全缓解与病理不一致的原因分析 [J].临床放射学杂志,2021,40(10):1888-1894.
- [17]张靖,宋君,徐卫云,等. MRI检查预测乳腺癌新辅助化疗后病理完全缓解的准确性 分析[J].中国普外基础与临床杂志,2020,27(8):975-979.
- [18] 佟颖,米楠,张荣,等.动态增强磁共振成像定量参数评估乳腺癌新辅助化疗效果及 相关性[J].中国老年学杂志,2020,40(16):3410-3414.

(收稿日期: 2023-08-08) (校

(校对编辑: 翁佳鸿)

本研究尚存在一些不足:本研究为单中心、回顾性研究,本 研究中样本量相对偏小,拟在以后进行多中心研究,进一步扩大 研究样本量,在具备内部和外部验证集的基础上,除了诊断效能 的评价之外,进行预测模型的建立和验证;在研究对象方面,为 主观选取ROI,拟在今后与人工智能图像勾画相结合,达成相对 客观的参数获取条件。

k<sub>ep</sub>、TTP作为DCE-MRI的定量、半定量参数,在HER2阳性 的乳腺癌鉴别中表现良好,具有一定的诊断价值,且联合诊断价 值更高。

## 参考文献

- [1] Dorling L, Carvalho S, Allen J, et al. Breast cancer risk genes-association analysis in more than 113,000 women [J]. N Engl J Med, 2021, 428-439.
- [2]朱逸晖,李婷,胡夕春.Trastuzumab deruxtecan 的临床研究进展及展望——HER2 耐药患者的新希望[J].中国癌症杂志,2021,31(8):754-761.
- [3]郭浩东,李海歌,李燕,等.基于动态增强磁共振成像对乳腺癌浸润程度的研究[J]. 临床放射学杂志,2022,41(2):260-264.
- [4] 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): 90-93.
- [5] Nagasaka K, Satake H, Ishigaki S, et al. Histogram analysis of quantitative pharmacokinetic parameters on DCE-MRI: correlations with prognostic factors and molecular subtypes in breast cancer [J]. Breast Cancer, 2019, 26 (1): 113-124.
- [6] 丁健, 王延春, 王立章, 等. 动态对比增强磁共振成像评价肢体冷感症患者下肢肌肉 微循环状况[J]. 实用放射学杂志, 2020, (12): 1989-1993.

- [7]徐杰,李海歌,朱建国,等.基于增强CT直方图分析在胃间质瘤的分级诊断及良恶性鉴别中的初步研究[J].临床放射学杂志,2019,38(11):2105-2109.
- [8] 吴亚红. MRI动态增强定量参数在评估肠道克罗恩病病变活动性中的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2017, 33(1): 59-62.
- [9] 王倩、刘万花, 王瑞, 等. 3.0 T动态增强MRI定量参数, 表观扩散系数与乳腺癌预后因 子及分子分型的相关性[J]. 中国医学影像学杂志, 2019, 27(7): 517-521.
- [10]徐校胜,时高峰,杨丽,等.DCE-MRI定量参数及ADC值在局部进展期胃癌新辅助治疗 疗效评价的应用[J].实用放射学杂志,2021,37(1):132-136.
- [11]罗红兵,王闽,周鹏,等. 乳腺癌DCE-MRI量化参数与组织病理相关性分析[J]. 临床 放射学杂志, 2017, 36 (7): 952-957.
- [12] Monti S, Aiello M, Incoronato M, et al. DCE-MRI pharmacokinetic-based phenotyping of invasive ductal carcinoma: a radiomic study for prediction of histological outcomes[J]. Contrast Media & Molecular Imaging, 2018, 2018.
- [13]Kang SR, Kim HW, Kim HS. Evaluating the relationship between dynamic contrast - enhanced MRI (DCE - MRI) parameters and pathological characteristics in breast cancer[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging 2020, 52 (5): 1360-1373.
- [14]DU S, GAO S, ZHANG L, et al. Improved discrimination of molecular subtypes in invasive breast cancer: comparison of multiple quantitative parameters from breast MRI[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2021, 77: 148-158.
- [15] Zhou X, Gao F, Shaofeng D, et al. Radiomic features of Pk-DCE MRI parameters based on the extensive Tofts model in application of breast cancer [J]. Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine 2020, 43 (2): 517-524.

(收稿日期: 2023-08-23)