

# 体素内不相干运动扩散加权成像直方图分析评估浸润性乳腺癌分子亚型及预后因素研究

黄晓妮, 江远亮, 薛阳, 熊飞, 沈桂萍, 黄文才

**【摘要】 目的:**探讨基于体素内不相干运动扩散加权成像 (IVIM-DWI) 直方图参数分析评估浸润性乳腺癌分子亚型及预后因素的价值。**方法:**回顾性分析 105 例浸润性乳腺癌患者的临床、病理及影像资料。其中乳腺 IVIM-DWI 图像经后处理生成真实扩散系数 (D)、伪扩散系数 ( $D^*$ )、灌注分数 (f) 定量参数图, 并对参数图进行直方图分析, 获得各参数的最小值、最大值、平均值、中位数以及第 10、90 百分位数 (10th、90th)、偏度、峰度。应用 Logistic 回归构建乳腺癌分子亚型及预后因素的预测模型, 采用受试者工作特征 (ROC) 曲线评价模型预测能力。**结果:**对于分子亚型的预测, HER2 过表达型与非 HER2 过表达型模型的诊断效能最高, AUC 达 0.897 (95%CI: 0.822~0.948), Luminal 型与非 Luminal 型模型的 AUC 为 0.874 (95%CI: 0.795~0.931), 三阴性型与非三阴性型模型的 AUC 为 0.789 (95%CI: 0.698~0.862)。对于预后因素的预测, Ki-67 表达情况模型的诊断效能最高, AUC 达 0.810 (95%CI: 0.722~0.880), 淋巴结转移模型的 AUC 为 0.718 (95%CI: 0.613~0.808)。**结论:**基于 IVIM-DWI 直方图参数构建的模型能较好地预测浸润性乳腺癌的分子亚型及部分预后因素。

**【关键词】** 乳腺肿瘤; 磁共振成像; 扩散加权成像; 体素内不相干运动; 直方图; 分子亚型; 预后因素

**【中图分类号】** R737.9; R445.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)01-0227-06

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.01.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Assessment of molecular subtypes and prognostic factors in invasive breast cancer by histogram analysis of intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging** HUANG Xiao-ni, XUE Yang, XIONG Fei, et al. The First School of Clinical Medicine, Southern Medical University, Guangzhou 510510, China

**【Abstract】 Objective:** To explore the value of histogram analysis of intravoxel incoherent motion diffusion weighted imaging (IVIM-DWI) in evaluating the molecular subtypes and prognostic factors of invasive breast cancer. **Methods:** Clinical, pathological, and imaging data of 105 patients with invasive breast cancer were retrospectively analyzed. The quantitative parameter graphs of true diffusion coefficient (D), pseudo-diffusion coefficient ( $D^*$ ), and perfusion fraction (f) were generated by post-processing IVIM-DWI. The minimum, maximum, mean, median values, 10th, 90th, skewness and kurtosis of each parameter graph were obtained by analyzing histograms. The prediction model of breast cancer molecular subtypes and prognostic factors was constructed by logistic regression, and the predictive ability of the model was evaluated by the receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results:** HER2 overexpressed and non-HER2 overexpressed models had the highest diagnostic efficacy on predicting molecular subtypes and AUC was 0.897 (95%CI: 0.822~0.948). The AUC was 0.874 (95%CI: 0.795~0.931) for Luminal and non-Luminal models and 0.789 (95%CI: 0.698~0.862) for triple-negative and non-triple-negative models. For prognostic factors, the Ki-67 expression model had the highest diagnostic efficacy with an AUC of 0.810 (95%CI: 0.722~0.880). The AUC for lymph node metastasis model was 0.718 (95%CI: 0.613~0.808). **Conclusion:** The model based on IVIM-DWI histogram can predict the molecular subtypes and some prognostic factors of invasive breast cancer.

**作者单位:** 510510 广州, 南方医科大学第一临床医学院(黄晓妮、黄文才); 430064 武汉, 中部战区总医院放射诊断科(薛阳、熊飞、沈桂萍、黄文才、江远亮)

**作者简介:** 黄晓妮(1995-), 女, 广东湛江人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事乳腺疾病影像诊断和研究工作。

**通讯作者:** 黄文才, E-mail: dr\_hwang@163.com

**基金项目:** 湖北省卫生健康委科研联合项目(WJ2019H113); 湖北省自然科学基金资助项目(2019CFB285)

**【Key words】** Breast tumor; Magnetic resonance imaging; Diffusion weighted imaging; Intra-voxel incoherent motion; Histogram; Molecular subtypes; Prognostic factors

乳腺癌在 2020 年已超过肺癌成为女性最常见的恶性肿瘤<sup>[1]</sup>,随着乳腺癌筛查的普及,越来越多的乳腺癌在早期被检出,并通过个体化治疗大大地提高了患者的生存率。临床上通常根据免疫组化把乳腺癌分为 4 种分子亚型,即 Luminal A 型、Luminal B 型、HER2 过表达型及三阴性型<sup>[2]</sup>。不同亚型的乳腺癌不仅在组织学上存在较大差异,在治疗方法及预后上也有很大不同。另外乳腺癌的预后与肿瘤的组织学分级、腋窝淋巴结是否转移及 Ki-67 表达情况密切相关。

扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)及其表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)已被常规应用于乳腺疾病的评估,但 ADC 值容易受到组织血流微循环灌注的影响。LeBihan 等<sup>[3]</sup>提出的体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)模型,在基于双指数拟合方式分离得出真实扩散系数(D)、与肿瘤血管密度相关的伪扩散系数( $D^*$ )及与肿瘤组织内血容量相关的灌注分数(f),较单指数模型能更准确反映组织的真实微环境<sup>[4]</sup>,因而能更好地用于鉴别乳腺肿瘤良恶性、预测乳腺癌分子亚型和预后、评估乳腺癌新辅助化疗疗效等<sup>[5-8]</sup>。另外,直方图分析作为近年来一种新兴的定量分析方法,能够进行更深层次的数据挖掘,更准确反映病变的异质性<sup>[9]</sup>。因此,本研究旨在探讨 IVIM-DWI 直方图参数分析评估浸润性乳腺癌分子亚型及预后因素的价值,为乳腺癌的个体化治疗提供更多有价值的信息。

## 材料与方法

### 1. 病例资料

回顾性分析 2018 年 1 月至 2021 年 10 月因乳腺病变于我院就诊并行 MRI 检查的患者病例资料,所有患者均在检查前签署知情同意书。病例纳入标准:①乳腺 MRI 检查前未进行过乳腺相关的穿刺活检、化学治疗、放射治疗或切除术等治疗;②MRI 检查后 2 周内经手术或穿刺病理证实为浸润性乳腺癌;③患者临床和病理资料完整。病例排除标准:图像质量不佳,不能用于分析。最后共 105 例患者纳入本研究,均为女性,年龄 30~77 岁,平均(55±13)岁。

### 2. 检查方法

MRI 检查采用美国 GE Signa HDxt 1.5T MRI 扫描仪,乳腺专用 8 通道相控表面线圈。患者取俯卧位,足先进,双侧乳腺自然下垂于线圈内。磁共振常规平扫序列及参数:①轴面 FSE  $T_1$ WI 序列,TR 650.0 ms,TE 9.6 ms,层厚 4.0 mm,层间距 1.0 mm,视

野 300 mm×300 mm,矩阵 320×224;②轴面 STIR 序列,TR 5800.0 ms,TE 42.0 ms,层厚 4.0 mm,层间距 1.0 mm,视野 300 mm×300 mm,矩阵 320×224;③双乳矢状面 FSE  $T_2$ WI 序列,TR 3800.0 ms,TE 85.0 ms,层厚 4.0 mm,层间距 1.0 mm,视野 200 mm×200 mm,矩阵 320×224。DWI 序列及参数:DWI(多 b 值)采用轴面 FSE-EPI 技术扫描,b 值取 0、50、150、200、600、1000、2000 s/mm<sup>2</sup>,TR 5000.0 ms,TE 93.0 ms,层厚 4.0 mm,层间距 1.0 mm,视野 300 mm×300 mm,矩阵 128×128。磁共振动态对比增强(dynamic contrast-enhanced MRI, DCE-MRI)采用轴面 VIBRANT 技术行 3D 动态扫描,扫描参数:TR 5.4 ms,TE 2.6 ms,翻转角 12°,层厚 2.8 mm,层间距 0 mm,视野 320 mm×320 mm,矩阵 416×320。动态增强扫描前先扫蒙片,然后采用高压注射器经肘静脉团注对比剂钆喷酸葡胺注射液,剂量为 0.2 mL/kg,流率为 2.0 mL/s,对比剂注射完成后立即注射 20 mL 生理盐水,即刻连续扫描 10 个时相,单期扫描时间约为 58 s,共需约 10 min。

### 3. 图像分析

将多 b 值 DWI 图像输入 Firevoxel 开源软件(CAI<sup>2</sup>R, New York University, NY, USA)进行 IVIM 双指数模型直方图分析。在轴面  $b = 1000$  s/mm<sup>2</sup> DWI 图像从上到下逐层手动勾画整个病灶感兴趣区(region of interest, ROI),包含病灶的囊变、坏死区或出血区域,以此来更好地评估异质性。病灶 ROI 由 1 位具有 3 年乳腺 MRI 诊断经验的放射科医师勾画,肿瘤的大小、形态参考 DCE-MRI 图像,当病灶范围不确定时,由另 1 位具有 10 年以上乳腺 MRI 诊断经验的医师确定。分别在生成的 D、 $D^*$ 、f 值直方图上记录每个病灶相应的最小值(minimum)、最大值(maximum)、平均值(mean)、中位数(median)以及第 10、90 百分位数(10th、90th)、偏度(skewness)、峰度(kurtosis)。

### 4. 病理分析

组织病理学评估包括病理类型、组织学分级、腋窝淋巴结转移情况以及 ER、PR、HER2、Ki-67 表达情况的检测。组织学分级采用 Nottingham 分级系统进行评估,将 I 级定义为低级别组,II 级、III 级定义为高级别组<sup>[10]</sup>。根据腋窝淋巴结是否转移分为淋巴结阳性组和淋巴结阴性组。ER、PR 判定标准参考《乳腺癌雌、孕激素受体免疫组织化学检测指南(2015 版)》<sup>[11]</sup>: ER、PR 细胞核染色  $\geq 1\%$  定义为阳性,反之为阴性。

HER2 判定标准参考《乳腺癌 HER2 检测指南(2019 版)》<sup>[12]</sup>;HER2 标记为阳性(卅)或原位杂交检测为 HER2 基因扩增时定义为 HER2 阳性。Ki-67 根据《中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2021 版)》标准<sup>[13]</sup>; >20%为高表达, ≤20%为低表达。基于免疫组化结果将乳腺癌分为 Luminal A 型、Luminal B 型、HER2 过表达型和三阴性型 4 种分子亚型<sup>[14]</sup>。

### 5. 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量资料以平均值±标准差表示,计数资料以频数(%)表示,采用 Kruskal-Wallis *H* 检验比较 IVIM-DWI 直方图参数在四组分子亚型间的差异, Logistic 逐步回归法进行预测模型的建立,先纳入 *D* 值、*D*\* 值、*f* 值所有直方图参数,再选择向前逐步:(Conditional 条件法)筛选变量,得到预测分子亚型、预后因素模型的二元 logistic 回归方程及预测概率。采用 MedCalc 软件绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,得到各模型的曲线下面积(area under curve, AUC)、敏感度及特异度。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 结果

### 1. 患者一般资料

本研究纳入 105 例乳腺癌患者,均为女性、单发病灶,年龄 30~77 岁,平均(55±13)岁;病灶最大横截面直径为 8.39~49.50 mm,中位数 23.26 mm;肿块型 81 例(77.1%),非肿块型 24 例(22.9%);组织学分级 1 级 2 例(2.3%),2 级 63 例(72.4%),3 级 22 例(25.3%)(部分穿刺活检病例无组织学分级信息);腋窝淋巴结阳性 48 例(53.3%),阴性 42 例(46.7%)(部分穿刺活

检病例无淋巴结相关信息);病理类型均为非特殊类型浸润性乳腺癌,按分子亚型分类,Luminal A 型 29 例(27.6%),Luminal B 型 42 例(40.0%),HER2 过表达型 20 例(19.1%),三阴性型 14 例(13.3%,图 1);Ki-67 高表达 68 例(64.8%),低表达 37 例(35.2%)。

### 2. 不同分子亚型乳腺癌 IVIM-DWI 直方图定量参数分析

*D* 值的平均值、中位数、10th、90th 及偏度在四组间差异有统计学意义(*P* < 0.05);*D*\* 值的所有直方图参数在四组间差异均有统计学意义(*P* < 0.05);*f* 值的最小值、最大值、平均值、中位数及偏度在四组间差异有统计学差异(*P* < 0.05,表 1)。

### 3. 构建基于 IVIM-DWI 直方图参数的乳腺癌分子亚型预测模型

采用 Logistic 逐步回归法筛选直方图参数,分别得到预测 Luminal 型与非 Luminal 型乳腺癌模型的回归方程为:Logit(*P*) = 4.202 + 5.185 × *D*<sub>min</sub> - 9.340 × *D*\*<sub>10th</sub>;预测 HER2 过表达型与非 HER2 过表达型乳腺癌模型的回归方程为:Logit(*P*) = -1.349 - 7.178 × *D*<sub>min</sub> + 9.382 × *D*\*<sub>10th</sub> - 0.08 × *f*<sub>median</sub>;预测三阴性型与非三阴性型乳腺癌模型的回归方程为:Logit(*P*) = -6.553 + 4.454 × *D*<sub>10th</sub> + 0.006 × *f*<sub>median</sub>;两组间不同分子亚型乳腺癌预测模型的 ROC 曲线分析结果见表 2。

### 4. 构建基于 IVIM-DWI 直方图参数的乳腺癌预后因素预测模型

采用 Logistic 逐步回归法筛选直方图参数,得到预测组织学分级模型的回归方程为 Logit(*P*) = 3.750,由于此模型方程是常量,无预测能力。预测腋窝淋巴结是否转移模型的回归方程为:Logit(*P*) =

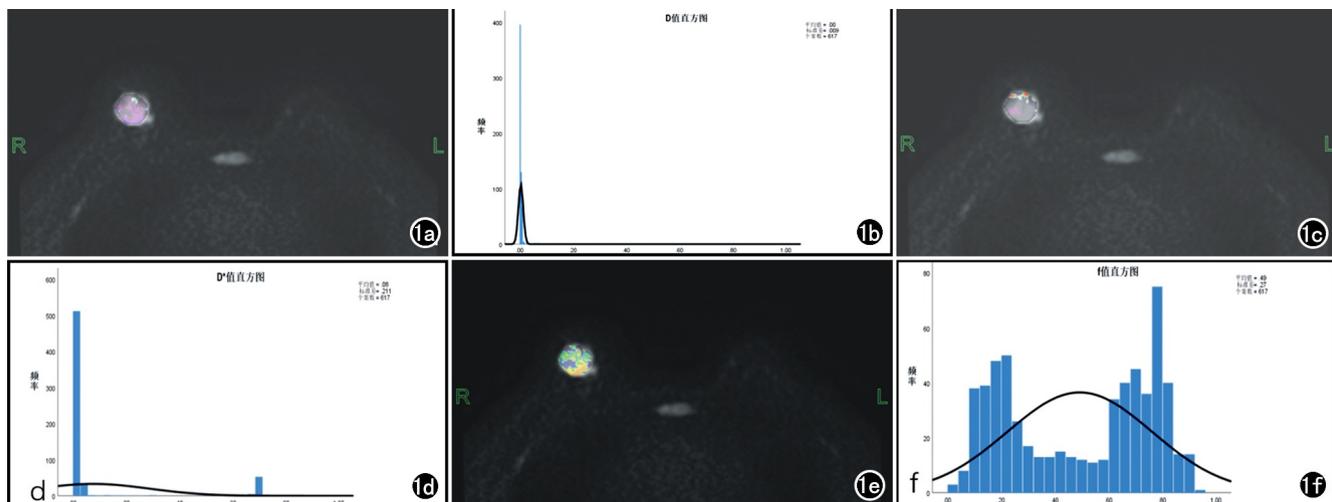


图 1 三阴性型乳腺癌患者,女,32 岁,R-IDC(非特殊类型),组织学 3 级。肿瘤大小为 27.4 mm × 20.3 mm × 31.5 mm,ALN 3/13。ER(-),PR(-),HER2(-),Ki-67 约 70%。a)D 值伪彩图;b)D 值直方图;c)D\* 值伪彩图;d)D\* 值直方图;e)f 值伪彩图;f)f 值直方图。

表 1 不同分子亚型间 IVIM-DWI 直方图参数比较结果

指标	Luminal A (n=29)	Luminal B (n=42)	HER2 过表达 (n=20)	三阴性型 (n=14)	H 值	P 值
<b>D 值</b>						
最小值	0.03±0.14	0.01±0.06	0.01±0.05	0.01±0.02	7.587	0.055
最大值	9.27±1.29	9.15±1.12	9.26±0.90	9.51±0.63	1.038	0.792
平均值	1.74±0.41	1.90±0.55	2.02±0.36	2.29±0.51	12.356	0.006
中位数	0.81±0.30	1.39±0.75	1.59±0.55	1.64±0.56	29.350	0.01
10th	0.09±0.17	0.16±0.20	0.22±0.22	0.38±0.29	18.166	0.01
90th	4.83±1.25	4.41±1.19	4.41±0.64	5.20±1.21	8.428	0.038
偏度	1559.23±609.18	1330.58±1092.60	1258.45±503.57	1065.10±455.90	12.872	0.005
峰度	2323.03±3950.98	3066.16±10336.23	1992.90±2093.01	795.40±1678.90	7.701	0.053
<b>D* 值</b>						
最小值	0.02±0.09	0.01±0.02	0.01±0.03	0.08±0.19	10.344	0.016
最大值	827.62±122.39	708.18±213.68	745.88±189.63	743.20±61.62	8.596	0.035
平均值	68.09±64.52	45.29±55.26	64.64±41.67	54.80±42.46	11.973	0.007
中位数	15.45±74.25	3.04±7.47	1.92±1.22	5.11±15.46	12.042	0.007
10th	0.23±0.16	0.26±0.17	0.54±0.17	0.45±0.18	37.718	0.01
90th	215.68±292.94	121.15±222.54	246.59±286.86	158.42±240.76	13.057	0.005
偏度	3604.50±1761.33	5688.98±3744.13	3796.82±2231.41	4163.53±1756.12	9.215	0.027
峰度	714870.31±13786.06	46657.43±72638.25	18197.61±25019.18	18668.40±16263.80	9.400	0.024
<b>f 值</b>						
最小值	7.51±38.58	13.30±28.26	7.88±26.71	12.49±18.67	21.246	0.01
最大值	988.45±55.94	984.10±35.14	988.99±37.17	987.00±26.12	13.464	0.004
平均值	525.27±58.38	519.94±77.26	473.21±44.89	525.55±44.47	16.957	0.001
中位数	541.86±124.85	575.82±173.63	429.65±106.85	617.33±121.68	21.795	0.01
10th	120.31±56.55	108.71±51.27	117.25±33.44	124.48±28.77	1.604	0.658
90th	917.28±85.22	888.67±70.06	901.59±83.10	872.43±45.74	7.172	0.067
偏度	-86.16±270.70	-164.65±433.65	219.19±311.71	-262.66±288.80	20.748	0.01
峰度	-1209.28±268.43	-1086.29±945.78	-1225.88±325.74	-1386.50±225.91	4.224	0.238

注: D、D\*、f 值单位为  $\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 。

表 2 不同分子亚型乳腺癌预测模型的 ROC 曲线分析结果

项目	AUC(95%CI)	敏感度(%)	特异度(%)
Luminal 型 vs 非 Luminal 型	0.874 (0.795~0.931)	80.28	85.29
HER2 过表达型 vs 非 HER2 过表达型	0.897 (0.822~0.948)	85.00	85.88
三阴性型 vs 非三阴性型	0.789 (0.698~0.862)	71.43	81.32

$12.632 - 3.573 \times D_{10\text{th}} - 2.403 \times D_{10\text{th}}^* - 0.012 \times f_{90\text{th}}$ ; 预测 Ki-67 表达情况模型的回归方程为:  $\text{Logit}(P) = -3.784 + 3.046 \times D_{\text{median}} + 0.001 \times D_{\text{skewness}}$ ; 乳腺癌预后因素预测模型的 ROC 曲线分析结果见表 3。

表 3 乳腺癌预后因素预测模型的 ROC 曲线分析结果

项目	AUC(95%CI)	敏感度(%)	特异度(%)
淋巴结转移	0.718 (0.613~0.808)	77.08	57.14
Ki-67	0.810 (0.722~0.880)	63.24	94.59

## 讨论

双指数模型 IVIM-DWI 通过多 b 值区分组织扩散和灌注, 较传统的 DWI 能提供更多的微环境信息。本研究探讨了 IVIM-DWI 定量参数直方图分析评估浸润性乳腺癌分子亚型及预后因素的价值, 通过 Logistic 逐步回归法共建立了 6 个预测模型, 研究结果显示除了预测组织学分级的模型外, 其余预测模型 AUC 均大于 0.7, 最高可达 0.874。研究结果表明基于 IVIM-DWI 定量参数直方图构建的模型能较好地预测

浸润性乳腺癌的分子亚型及部分预后因素。

### 1. IVIM-DWI 定量参数直方图评估乳腺癌分子亚型

本研究中, 除了 D 值的最大值、最小值、峰度和 f 值的峰度、10th、90th, 其余参数在不同分子亚型乳腺癌间差异均有统计学意义。而刘瑜琳等<sup>[15]</sup>的研究发现, 只有  $D_{\text{max}}$ 、 $D_{\text{偏度}}$ 、 $D_{\text{峰度}}$ 、 $D_{\text{min}}^*$ 、 $D_{\text{max}}^*$ 、 $D_{\text{偏度}}^*$ 、 $f_{10\text{th}}$ 、 $f_{25\text{th}}$  和  $f_{\text{偏度}}$  在不同分子亚型乳腺癌间差异具有统计学意义。两项研究的结果不完全相同, 分析原因可能与 b 值的数量及分布不同有关。刘瑜琳等<sup>[15]</sup>采用了 12 个不同 b 值(范围 0~1500  $\text{s}/\text{mm}^2$ ) 计算 IVIM 定量参数的直方图数值, 而本研究采用了 7 个不同 b 值(范围 0~2000  $\text{s}/\text{mm}^2$ ) 进行计算。目前 IVIM 的研究对于 b 值的数量、分布以及最佳阈值无统一标准, 尚需进一步研究<sup>[16]</sup>。

冯雯等<sup>[17]</sup>基于 IVIM-DWI 定量参数直方图构建诊断模型, 预测 Luminal A 型的模型 AUC 最大(AUC = 0.857, 95%CI: 0.751~0.962), 而预测 Luminal B 型

的模型 AUC 最小 ( $AUC = 0.645$ ,  $95\% CI: 0.546 \sim 0.743$ )。本研究通过 Logistic 回归构建模型发现, Luminal 型与非 Luminal 型、HER2 过表达型与非 HER2 过表达型、三阴性型与非三阴性型乳腺癌预测模型 AUC 均大于 0.7, 具有良好的诊断效能, 其中 HER2 过表达型与非 HER2 过表达型预测模型的诊断效能最高, AUC 达  $0.897$  ( $95\% CI: 0.822 \sim 0.948$ ), 该模型纳入的参数包括  $D_{\min}$ 、 $D_{10th}^*$  及  $f_{\text{median}}$ ; 三阴性型与非三阴性型预测模型的诊断效能最低, AUC 为  $0.789$  ( $95\% CI: 0.698 \sim 0.862$ ), 该模型纳入的参数包括  $D_{10th}$ 、 $f_{\text{median}}$ 。分析其原因, 可能是由于 HER2 不仅可阻碍肿瘤细胞凋亡机制, 还可诱导血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor, VEGF) 的生成, 促进血管通透性增加和血管形成<sup>[18]</sup>, 而 HER2 过表达型与非 HER2 过表达型预测模型同时纳入了代表肿瘤细胞真实扩散情况的 D 值及反映肿瘤内部血流灌注和分布的  $D^*$  值、 $f$  值, 能够全面分析病灶的肿瘤微环境, 从而提高模型的预测效能; 而三阴性型与非三阴性型预测模型只纳入了 D 值及  $f$  值的直方图参数, 缺少了  $D^*$  值的直方图参数; 再者两个预测模型在 D 值的直方图参数上也存在差异, 可能与  $D_{\min}$  在 HER2 过表达型乳腺癌预测模型中所占的权重较  $D_{10th}$  在三阴性型乳腺癌预测模型中所占权重高有关。

## 2. IVIM-DWI 定量参数直方图评估乳腺癌预后因素

安婷婷等<sup>[19]</sup>的研究表明乳腺癌分级与 D 值呈负相关, 与  $D^*$  值呈正相关,  $f$  值组间差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。刘瑜琳等<sup>[20]</sup>研究指出 D 值、 $D^*$  值的直方图参数与乳腺癌 Ki-67 增殖指数存在相关性。本研究没有对 IVIM 直方图参数与乳腺癌预后因素进行 Spearman 相关性分析, 而是进一步使用 Logistic 回归构建预测预后因素的模型。本研究中除组织学分级预测模型外, 淋巴结转移、Ki-67 表达情况的预测模型 AUC 均大于 0.7, 具有良好的诊断效能, Ki-67 表达情况预测模型的诊断效能较淋巴结转移预测模型高 (AUC 分别为 0.810、0.718)。冯雯等<sup>[17]</sup>的研究中基于 Logistic 回归的诊断模型较单个直方图参数 (AUC 均  $> 0.5$ ) 具有更高的诊断效能, 其中鉴别 Ki-67 表达情况的模型效能最高, AUC 为  $0.861$  ( $95\% CI: 0.761 \sim 0.960$ ), 与本研究结果相似。Ki-67 是一种与有丝分裂关系密切的蛋白质抗原, 是反映细胞增殖情况的指标, 其数值越大, 表示肿瘤细胞密度越高, 导致水分子扩散受限, D 值降低。本研究 Ki-67 表达情况预测模型同时纳入了  $D_{\text{median}}$ 、 $D_{\text{skewness}}$ , 提高了模型的诊断效能。虽然淋巴结转移预测模型同时纳入了 D 值、 $D^*$  值及  $f$  值直方图参数, 但模型的诊断效能没有只纳入 D 值的

Ki-67 表达情况预测模型高, 分析其原因, 可能是由于淋巴结状态与 IVIM 定量参数的相关性较弱。车树楠等<sup>[10]</sup>、李晓芳等<sup>[21]</sup>研究表明双指数模型各参数在淋巴结阴性组与阳性组间差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 通过病灶的 IVIM 参数判断腋窝淋巴结是否转移仍有待进一步研究。

本研究存在以下局限性: ①样本量相对较小, 尤其是三阴性型乳腺癌病例占比少, 可能对结果造成一定的偏差; ②手动勾画 ROI 可能导致肿瘤边界存在人工偏差, 应用自动分割算法可以减少人为偏差; ③本研究采用的直方图分析方法, 只是影像组学的一阶特征, 后续将进一步运用影像组学的方法进行更深入的研究。

综上所述, 基于 IVIM-DWI 定量参数直方图构建的模型能较好地预测乳腺癌分子亚型和部分预后因素, 可为乳腺癌患者个性化治疗提供更多有价值的信息。

## 参考文献:

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, 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] Coates AS, Winer EP, Goldhirsch A, et al. Tailoring therapies—improving the management of early breast cancer: St Gallen international expert consensus on the primary therapy of early breast cancer 2015[J]. Ann Oncol, 2015, 26(8): 1533-1546.
- [3] Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders[J]. Radiology, 1986, 161(2): 401-407.
- [4] 魏清顺, 周祖邦, 李淑兰, 等. 体素内不相干运动成像应用于乳腺癌研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(6): 938-941.
- [5] 王志远, 吴海龙, 李淑豪, 等. IVIM-DWI 与 DCE-MRI 定量参数鉴别乳腺良恶性肿瘤的对照研究[J]. 放射学实践, 2021, 36(12): 1514-1519.
- [6] Ma Y, Shan D, Wei J, et al. Application of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging in differential diagnosis and molecular subtype analysis of breast cancer[J]. Am J Transl Res, 2021, 13(4): 3034-3043.
- [7] He M, Ruan H, Ma M, et al. Application of diffusion weighted imaging techniques for differentiating benign and malignant breast lesions[J]. Front Oncol, 2021, 11(6): 694634.
- [8] Zhao M, Wu Q, Guo L, et al. Magnetic resonance imaging features for predicting axillary lymph node metastasis in patients with breast cancer[J]. Eur J Radiol, 2020, 129(8): 109093.
- [9] 汤卫霞, 盛美红, 龚沈初, 等. 乳腺 MR 图像纹理分析在乳腺癌中的研究进展[J]. 放射学实践, 2021, 36(7): 930-933.
- [10] 车树楠, 李静, 欧阳汉, 等. 扩散加权成像体素内不相干运动模型参数与乳腺癌预后因素及分子亚型的相关性[J]. 中国医学影像技术, 2016, 32(3): 367-371.
- [11] 杨文涛, 步宏. 乳腺癌雌、孕激素受体免疫组织化学检测指南[J]. 中华病理学杂志, 2015, 44(4): 237-239.
- [12] 乳腺癌 HER2 检测指南(2019 版)编写组. 乳腺癌 HER2 检测指

- 南(2019版)[J].中华病理学杂志,2019,48(3):169-175.
- [13] 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(2021年版)[J].中国癌症杂志,2021,31(10):954-1040.
- [14] 孙向洁,杨文涛.免疫组织化学在乳腺癌分子分型中的作用及目前存在的问题[J].中国癌症杂志,2019,29(3):161-165.
- [15] 刘瑜琳.IVIM-DWI定量参数直方图分析与乳腺癌免疫组化指标及分子分型的相关性研究[D].兰州:兰州大学,2020.
- [16] 王铭,田为中.体素内不相干运动扩散加权成像在乳腺癌中的临床应用进展[J].临床放射学杂志,2021,40(2):401-404.
- [17] 冯雯.IVIM直方图参数评价非特殊型浸润性乳腺癌预后因素的初步研究[D].兰州:兰州大学,2021.
- [18] Lee EY, Yu X, Chu MM, et al. Perfusion and diffusion characteristics of cervical cancer based on intravoxel incoherent motion MR imaging—a pilot study[J]. Eur Radiol, 2014, 24(7): 1506-1513.
- [19] 安婷婷,靳先文,王大伟,等.磁共振体素内不相干运动成像在乳腺癌分级中的应用[J].医学影像学杂志,2017,27(3):479-483.
- [20] 刘瑜琳,章蓉,岳丽娜,等.IVIM定量参数直方图与乳腺癌 Ki-67增殖指数的相关性研究[J].磁共振成像,2020,11(2):118-123.
- [21] 李晓芳.DWI单、双指数模型在浸润性乳腺癌预后因素中的应用价值研究[D].湖南:南华大学,2021.

(收稿日期:2022-01-18 修回日期:2022-06-29)



北京大学图书馆  
PEKING UNIVERSITY LIBRARY

## 《中文核心期刊要目总览》入编通知

《放射学实践》主编先生/女士:

我们谨此郑重通知:依据文献计量学的原理和方法,经研究人员对相关文献的检索、统计和分析,以及学科专家评审,贵刊《放射学实践》入编《中文核心期刊要目总览》2020年版(即第9版)临床医学/特种医学类的核心期刊。该书由北京大学出版社出版。书中按《中国图书馆分类法》的学科体系,列出了74个学科的核心期刊表,并逐一核心期刊进行了著录。著录项目包括:刊名、并列刊名、主办单位、出版年、出版频率、中图分类号、ISSN号、CN号、邮发代号、编辑部地址、电话、网址、内容简介等。

评选核心期刊的工作是运用科学方法对各种刊物在一定时期内所刊载论文的学术水平和学术影响力进行综合评价的一种科研活动,研究工作量大。北京地区十几所高校图书馆、中国科学院文献情报中心、重庆维普资讯有限公司、中国人民大学书报资料中心、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国科学技术信息研究所、北京万方数据股份有限公司、国家图书馆和北京世纪超星信息技术发展有限责任公司等相关单位的百余名专家和期刊工作者参加了研究。

项目组对核心期刊的评价理论、评价方法等问题进行了深入研究,进一步改进了核心期刊评价方法,使之更趋科学合理,力求使评价结果符合客观实际。对于核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被摘量(全文、摘要)、被摘率(全文、摘要)、被引量、他引量(期刊、博士论文)、影响因子、他引影响因子、5年影响因子、5年他引影响因子、特征因子、论文影响分值、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索系统收录、基金论文比(国家级、省部级)、Web下载量、Web下载率16个评价指标,选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达48种,统计到的文献数量共计142亿余篇次,涉及期刊13764种。参加核心期刊评审的学科专家1万多位。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出1990种核心期刊。

需要特别指出的是,该研究成果只是一种参考工具书,主要是为图书情报界、出版界等需要对期刊进行评价的用户提供参考,例如为各图书情报部门的中文期刊采购和读者导读服务提供参考帮助等,不应作为评价标准。谨此说明。

顺颂  
撰安

《中文核心期刊要目总览》2020年版编委会

