

论 著

全容积IVIM直方图分析对乳腺良恶性病变的影响

李俊 蔡小丽 吴奇川
牟方胜*

重庆大学附属三峡医院放射科
(重庆 404000)

【摘要】目的 探讨全容积测量体素内不相干运动(IVIM)直方图参数对乳腺良恶性病变的诊断价值。方法 收集我院2021年2月-2022年10月术前多模态磁共振检查并获得病理的153例女性共158例肿瘤。利用直方图处理软件得到肿瘤IVIM(D、D*、f)的直方图参数。采用两独立样本t检验(正态分布)或Mann-WhitneyU检验(偏态分布)比较乳腺良、恶性病灶的IVIM直方图参数的差异。绘制ROC评价IVIM直方图参数独立和联合鉴别诊断乳腺良、恶性病变的效能, Z检验评价联合诊断ROC下面积(AUC)差异性。单变量及多变量二元logisti回归分析独立影响因素。结果 乳腺恶性病变116个, 良性病变42个。良、恶性病变D(90th、熵、峰度、均值、中位数、最小值、偏度)、f(峰度、D*(90th、熵、峰度、均值、中位数、最大值、偏度)单因素分析有统计学意义。AUC最大为D偏度(0.818); 敏感度最高为D偏(0.957); 特异度最高为D偏度(0.857); 准确度最高为D偏度(0.797)。D直方图联合诊断AUC、敏感度、特异度、准确度分别为0.903、0.948、0.786、0.88; f直方图联合诊断分别为0.604、0.672、0.548、0.73; D*直方图联合诊断为0.833、0.897、0.619、0.823; IVIM直方图联合诊断为0.953、0.982、0.833、0.924; IVIM直方图联合诊断AUC面积最大, 与D值、f值、D*直方图分别联合诊断AUC差异有统计学意义。D偏(OR=2.943; P=0.037)及D中位数(OR=0.984; P=0.029)为乳腺恶性病变独立影响因素。结论 乳腺磁共振IVIM直方图参数联合能显著提高判断乳腺良恶性病变诊断效能, D偏及D中位数为乳腺恶性病变独立影响因素。

【关键词】乳腺病变; 体素内不相干运动成像; 联合诊断; 影响因素

【中图分类号】R44

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.03.026

Effect of full-volume IVIM-DWI histogram analysis for benign and malignant breast lesions

Li Jun, Cai Xiao-li, Wu Qi-chuan, Mou Fang-sheng*.
Department of Radiology, Chongqing University Three Gorges Hospital, Chongqing 404000, China

ABSTRACT

Objective To investigate the diagnostic value of DWI histogram parameters of intravoxel incoherent motion (IVIM) model with full volume measurement in the diagnosis of benign and malignant breast lesions. **Methods** From February 2021 to October 2022, 153 female patients with breast lesions (158 lesions in total) who underwent preoperative multimodal magnetic resonance examination and obtained pathology in our hospital were collected. The histogram parameters of full-volume IVIM (D, D*, f) were obtained by processing software. Two independent samples t-test (normal distribution) or Mann-Whitney U test (skewed distribution) were used to compare the differences of IVIM histogram parameters between benign and malignant breast lesions. Taking pathological results as the gold standard, ROC was drawn to evaluate the efficacy of IVIM histogram parameters in independent and combined differential diagnosis of benign and malignant breast lesions, and the Z test was used to evaluate the difference of area under ROC (AUC) in combined diagnosis. Univariate and multivariate binary logistic regression analysis of independent factors. **Results** There were 116 malignant breast lesions and 42 benign lesions. Benign and malignant lesions D (90th percentile, entropy, kurtosis, mean, median, minimum, skewness), f (kurtosis), D* (P_{90%}, entropy, kurtosis, mean, median, maximum, skewness) single factor analysis was statistically significant. the largest AUC is D_{skewness} (0.818); the highest sensitivity is D_{entropy} (0.957); the highest specificity is D_{skewness} (0.857); the highest accuracy is D_{skewness} (0.797). D value joint diagnosis AUC, sensitivity, specificity, accuracy were 0.903, 0.948, 0.786, 0.88; f value joint diagnosis were 0.604, 0.672, 0.548, 0.73; D* value joint diagnosis were 0.833, 0.897, 0.619, 0.823; IVIM histogram combined diagnosis was 0.953, 0.9982, 0.833, 0.924; IVIM combined diagnosis AUC area was the largest, and the difference with D value, f value, D*value joint diagnosis AUC was statistically significant. D_{entropy} (OR=2.943; P=0.037) and D_{median} (OR=0.984; P=0.029) were independent influencing factors of breast malignant lesions. **Conclusion** The combination of breast magnetic resonance IVIM histogram parameters can significantly improve the diagnostic efficiency of benign and malignant breast lesions, and D_{entropy} and D_{median} are independent influencing factors for breast malignant lesions.

Keywords: Breast Lesion; Intravoxel Incoherent Motion Imaging; Joint Diagnosis; Influencing Factors

乳腺癌是女性的主要癌症之一。MRI是乳腺癌筛查、诊断的主要手段。体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)^[1]使用大范围的低b值以及高b值, 能够测量真正的组织扩散(D)、伪扩散系数(D*)和灌注分数(f), 从而量化评价肿瘤组织性质。直方图作为统计工具而广泛用于估计连续变量的概率分布^[2], 描述感兴趣区像素灰度分布情况, 直方图量化参数分布可弥补平均值的不足^[3], 并定量评估肿瘤异质性^[4], 因此能更全面客观地反映病灶的整体特点。既往研究多采用病灶最大层面或上下相邻三个层面的平均定量值, 不能完整反映肿瘤整体情况。基于此, 本研究将以病理结果作为参照, 探讨病灶全容积IVIM直方图参数术前诊断乳腺良、恶性病变的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2021年2月至2022年10月我院符合以下标准的患者。

纳入标准: 因超声或数字乳腺X线摄影发现肿块, 进而行乳腺磁共振检查(包括IVIM序列); MRI检查后2周内行手术或穿刺病理证实病变性质。排除标准: MRI检查前进行过手术等其他治疗; 图像质量不佳, 不能用于分析。最后153例女性(共158个病灶)患者纳入研究, 年龄16~81岁, 平均(52±11)岁。

1.2 MRI成像方法 采用西门子Vida3.0TMR扫描仪和18通道乳腺专用相控阵线圈。患者取俯卧位, 双侧乳腺自然悬垂于线圈的双孔内。扫描序列和顺序如下: (1)横断面T₁WI: TR6.04ms, TE2.46ms, 层厚1.6mm, FOV 360mm×360mm, 采集矩阵448×384, 激励次数1; T₂WI: TR6500ms, TE84ms, 层厚4mm, 采集矩阵448×448mm, 激励次数1; (2)横断面IVIM: TR6100ms, TE54ms, FOV 340mm×340mm, b=0、30、50、100、150、200、400、800、1200、1600s、2000/mm²; (3)DCE-MRI: TR7.14ms, TE3.69ms, 反转角8°, 层厚4mm, 矩阵448×448, FOV 340mm×340mm, 扫描时间9.6s/期, 共35期。对比剂采用Gd-DTPA(469mg/mL)通过肘静脉以3mL/s的流率注射0.2mmol/kg, 再以相同流率注射10mL生理盐水。

1.3 图像分析 由2名分别具有初级和高级职称的放射科诊断医师共同阅片, 达成一致意见。采用成都众影公司提供的MRStation工具, 选择IVIM模型分别生成D、f、D*伪彩图, 逐层选取对应层面勾画ROI, 病灶全容积进行测量, 获得病变三维最长径、D、f、D*的直方图参数。包括第10、90百分位数(10th、90th)、熵值(Entrop)、峰度系数(Kurtosis)、最大值(max)、均值(mean)、中位数(Median)、最小值(min)、偏度系数(Skewness)。

【第一作者】李俊, 男, 主管技师, 主要研究方向: 乳腺磁共振扫描。E-mail: 397142022@qq.com

【通讯作者】牟方胜, 男, 主任医师, 主要研究方向: 乳腺磁共振诊断。E-mail: 31390481@qq.com

1.4 病理检查 手术病理标本由2名分别具有8年和20年经验的病理科医师进行共同分析。

1.5 统计方法 采用SPSS25.0软件包进行统计分析。Kolmogorov-Smirnov检验计量资料是否符合正态分布,正态分布的资料以(均值±标准差)表示,偏态分布的资料以中位数(上~下四分位数)表示。采用两独立样本t检验(正态分布)或Mann-Whitney U检验(偏态分布)比较乳腺良、恶性病变的IVIM直方图参数的差异。以病理结果为金标准,绘制ROC以评价IVIM直方图参数独立及联合鉴别诊断乳腺良、恶性病变的效能。Medcalc16.2统计软件包Z检验比较几种联合诊断AUC差异。单变量二元logisti回归分析($P<0.001$)的变量纳入多变量二元logisti回归分析独立影响因素。2个观察者间重复评价的一致性,采用组内相关系数(ICC)进行评估, $ICC>0.7$: 一致性良好。

2 结果

2.1 病理结果 158例病灶有5例患者为双发病变,其余均为单发,乳腺恶性病变116例,良性病变42例。乳腺癌病灶中浸润性导管癌112例(图1A)。导管内原位癌3例。浸润性小叶癌1例。良性病变中纤维腺瘤22例(图2A),导管内乳头肿瘤8例,良性叶状瘤3例,乳腺增生及腺病8例,间质弥漫纤维化1例。

2.2 乳腺良、恶性病变临床、生理特征 乳腺良性病变患者中位年龄47岁,恶性病变患者中位年龄52岁,两者差异有统计学意义。

恶性肿瘤位于双侧乳腺内、外上象限占比大于良性病变,两者差异有统计学意义。恶性病变三维最长径显著大于良性病变(表1)。

2.3 乳腺良、恶性病变的IVIM直方图参数 IVIM定量值参数D直方图(90th、熵、峰度、均值、中位数、最小值、偏度)(图1D)、f直方图(峰度)(图1E)、D*直方图(90th、熵、峰度、均值、中位数、最大值、偏度)(图1F),鉴别乳腺良恶性病变单因素分析有统计学意义(表1)。

2.4 IVIM直方图参数独立及联合预测鉴别诊断乳腺良、恶性病变的效能 直方图参数独立预测ROC下面积最大为D-偏度(0.818);敏感度最高为D-熵(0.957);特异度最高为D-偏度(0.857);准确度最高为D-偏度(0.797)。D值联合诊断AUC、敏感度、特异度、准确度分别为0.903、0.948、0.786、0.88;f值联合诊断分别为0.604、0.672、0.548、0.73;D*值联合诊断为0.833、0.897、0.619、0.823;IVIM直方图联合诊断为0.953、0.982、0.833、0.924;IVIM联合诊断AUC 面积最大(表2),与D值联合($Z=2.290$; $P=0.022$)、D*值联合($Z=3.685$; $P=0.001$)、f值联合($Z=5.993$; $P=0.001$)、IVIM联合($Z=2.004$; $P=0.045$)诊断曲线下面积差异有统计学意义(图3)。单变量二元logisti回归分析有统计学意义变量(表3),其中D-均值、D-熵、D-中位数、D-偏度及D*-熵($P<0.001$)纳入多变量二元logisti回归分析, D-熵($OR=2.943$; $P=0.037$)及D-中位数($OR=0.984$; $P=0.029$)为乳腺恶性病变独立影响因素(表4)。

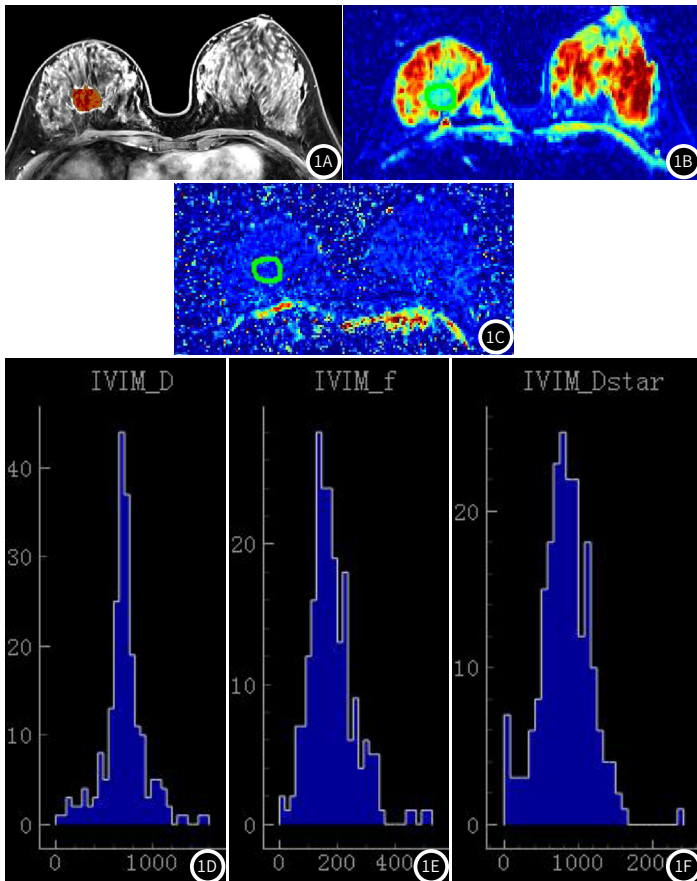


图1A-图1F 女 46岁 右侧乳腺外下象限浸润性导管癌; 图1A: 右乳外下象限强化肿块; 图1B: D伪彩图; 图1C: D*伪彩图; 图1D: D直方图参数 ($P_{90\%}$: $0.953 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 熵: 4.744; 峰度: 5.60; 均值: $0.715 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 中位数: $0.712 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 最小值: $0 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 偏度: 0.194); 图1E: f直方图参数 (峰度: 5.77); 图1F: D*方图 ($P_{90\%}$: $1.239 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 熵: 5.46; 峰度: 4.8; 均值: $0.827 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 中位数: $0.811 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 最大值: $2.44 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$; 偏度: 0.231)

表1 乳腺良恶性病变影像特征单因素表

组别	良性	恶性	$\chi^2/Z/F$	P值
年龄	47(42~51)	52(47~59)	-3.579	0.001
病灶位置			11.74	0.015
内上象限	9(5.7%)	27(17.1%)		
内下象限	4(2.5%)	10(6.3%)		
外下象限	16(10.1%)	22(13.9%)		
外上象限	9(5.7%)	53(33.5%)		
中央区	4(2.5%)	4(2.5%)		
三维最大横径(mm)	23.8(16~33.1)	34.8(27.4~42.6)	-4.532	0.0001
DWI				
D直方图($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)				
熵	4.74(3.93~5.09)	4.92(4.6~5.3)	-2.995	0.003
$P_{90\%}$	1.42(1.22~1.61)	1.20(1.03~1.39)	-3.727	0.0001
均值	1.08(0.91~1.37)	0.89(0.76~0.998)	-4.034	0.0001
峰度	2.96(2.14~3.65)	3.47(3.0~4.67)	-3.452	0.001
中位数	1.14(0.92~1.35)	0.86(0.75~0.97)	-5.016	0.0001
最小值	0.36(0.12~0.60)	0.22(0.08~0.48)	-1.996	0.046
偏度	-0.458(± 0.75)	0.399(± 0.69)	-6.774	0.0001
f直方图				
峰度	2.62(2.03~3.97)	3.43(2.89~4.54)	-2.869	0.004
D*直方图($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)				
$P_{90\%}$	1.24(1.1~1.41)	1.36(1.22~1.55)	-2.651	0.008
熵	4.78(3.75~5.24)	5.47(5.13~5.73)	-5.097	0.0001
峰度	2.77(2.2~4.03)	3.64(2.95~5.55)	-3.987	0.0001
最大值	1.63(1.42~2.15)	2.41(2.05~3.1)	-5.276	0.0001
均值	0.76(0.66~0.84)	0.83(0.74~0.94)	-2.550	0.011
中位数	0.73(0.64~0.82)	0.82(0.72~0.93)	-2.570	0.010
偏度	0.14(-1.02~0.45)	0.54(0.14~1.12)	-3.629	0.0001

注: 峰度、偏度、熵无单位。

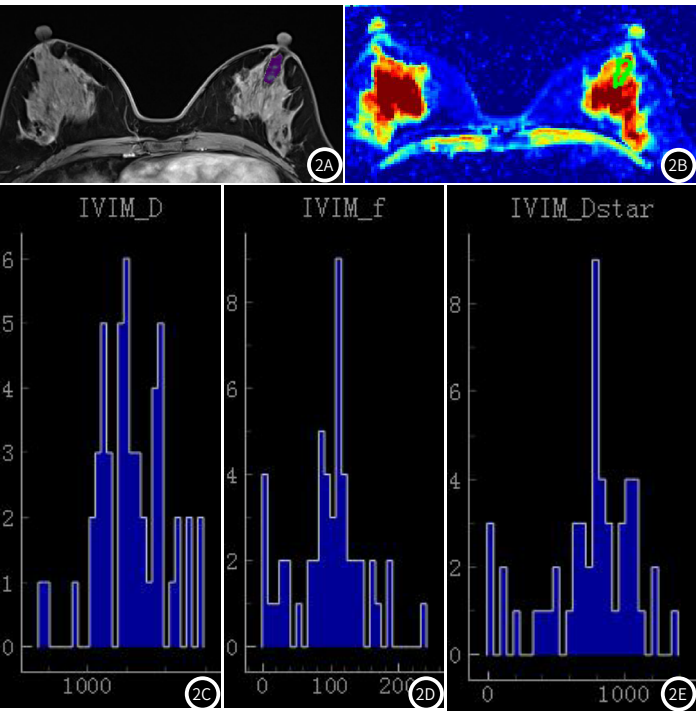


图2A-图2E 女，51岁，左侧乳腺外下象限纤维腺瘤；图2A：左乳外下象限强化肿块；图2B：D*直方图伪彩图；图2C：D参数(P₉₀: 1.462 × 10⁻³mm²/s; 熵: 3.961; 峰度: 3.275; 均值: 1.224 × 10⁻³mm²/s; 中位数: 1.201 × 10⁻³mm²/s; 最小值: 0.749 × 10⁻³mm²/s; 偏度: -0.189); 图2D: f直方图参数(峰度: 3.211); 图2E: D*方图(P₉₀: 1.077 × 10⁻³mm²/s; 熵: 4.703; 峰度: 3.248; 均值: 0.752 × 10⁻³mm²/s; 中位数: .801 × 10⁻³mm²/s; 最大值: 1.391 × 10⁻³mm²/s; 偏度: -0.786)

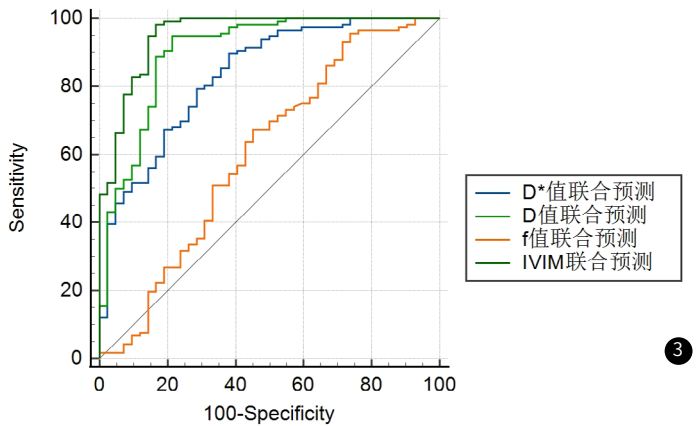


图3 IVIM直方图联合诊断ROC曲线

表4 多变量二元logistic回归分析乳腺恶性肿瘤影响因素

B	标准误差	瓦尔德	自由度	显著性	OR	OR的95%置信区间	
						下限	上限
D-均值	0.012	0.007	2.794	1	0.095	1.012	0.998 1.027
D-熵	1.079	0.516	4.368	1	0.037	2.943	1.069 8.096
D-中位数	-0.016	0.008	4.763	1	0.029	0.984	0.969 0.998
D-偏度	0.789	0.503	2.466	1	0.116	2.202	0.822 5.897
D*-熵	0.525	0.342	2.358	1	0.125	1.690	0.865 3.301

表2ADC、IMM、DKI直方图、DCE-MRI参数鉴别诊断乳腺良、恶性病变的效能

参数	ROC下面积	最大约登指数	最佳阈值	敏感度	特异度	准确度
D-均值	0.710	0.367	1.053	0.819	0.547	0.785
D-熵	0.656	0.338	4.107	0.957	0.381	0.778
D-P ₉₀	0.694	0.325	1.186	0.49	0.83	0.741
D-峰度	0.680	0.293	2.931	0.793	0.50	0.734
D-中位数	0.762	0.481	1.047	0.862	0.619	0.772
D-最小值	0.604	0.208	0.232	0.517	0.691	0.766
D-偏度	0.818	0.503	0.142	0.647	0.857	0.797
f-峰度	0.650	0.369	2.632	0.845	0.524	0.734
f-差	0.592	0.186	0.257	0.948	0.238	0.734
D*-P ₉₀	0.638	0.289	1.293	0.647	0.643	0.734
D*-熵	0.766	0.443	5.249	0.681	0.762	0.772
D*-峰度	0.708	0.363	2.906	0.767	0.595	0.734
D*-最大值	0.775	0.524	1.778	0.905	0.619	0.734
D*-均值	0.633	0.227	0.843	0.465	0.762	0.728
D*-中位数	0.634	0.269	0.702	0.793	0.476	0.734
D*-差	0.769	0.514	1.796	0.871	0.643	0.734
D*-偏度	0.689	0.387	0.273	0.672	0.714	0.734
D值联合预测	0.903	0.734	0.635	0.948	0.786	0.88
f值联合预测	0.604	0.22	0.715	0.672	0.548	0.73
D*联合预测	0.833	0.516	0.567	0.897	0.619	0.823
IVIM直方图联合	0.953	0.816	0.44	0.982	0.833	0.924

表3 单变量二元logistic回归分析乳腺恶性肿瘤影响因素

B	标准误差	瓦尔德	自由度	显著性	OR	OR的95%置信区间	
						下限	上限
MD-P ₉₀	-0.002	0.001	6.864	1	0.009	0.998	0.997 1.000
MD-峰度	0.169	0.129	1.721	1	0.190	1.184	0.920 1.525
D-均值	-0.003	0.001	14.186	1	0.000	0.997	0.996 0.999
D-熵	1.164	0.316	13.553	1	0.000	3.204	1.724 5.954
D-中位数	-0.004	0.001	21.495	1	0.000	0.996	0.995 0.998
D-最小值	-0.002	0.001	6.743	1	0.009	0.998	0.997 1.000
D-偏度	1.866	0.362	26.582	1	0.000	6.462	3.179 13.136
f-峰度	0.048	0.075	0.406	1	0.524	1.049	0.905 1.217
f-差	0.002	0.001	2.505	1	0.114	1.002	1.000 1.004
D*-偏度	0.598	0.254	5.541	1	0.019	1.818	1.105 2.990
D*-P ₉₀	0.000	0.000	0.364	1	0.546	1.000	1.000 1.001
D*-熵	1.015	0.258	15.435	1	0.000	2.761	1.663 4.582
D*-峰度	0.009	0.014	0.408	1	0.523	1.009	0.982 1.037
D*-最大值	0.000	0.000	1.725	1	0.189	1.000	1.000 1.000
D*-均值	0.001	0.001	2.114	1	0.146	1.001	0.999 1.003
D*-中位数	0.001	0.001	2.366	1	0.124	1.001	1.000 1.003
D*-差	0.000	0.000	1.774	1	0.183	1.000	1.000 1.000

3 讨论

3.1 IVIM-DWI术前诊断乳腺良、恶性病变的价值 IVIM-DWI 是一种新型的DWI技术,利用多b值扫描及双指数模型拟合出定量参数D、D*及f值,可更真实地反映组织内的水分子扩散。基于整个病变的直方图分析法可提供比常规IVIM定量参数更多的信息,除包括多个百分位数定量值和最小值、最大值、均值,还可获得反映病变内部定量值分布情况的参数,包括熵、偏度、峰度,可用于更好地区分良恶性病变。魏乐群等^[5]研究得到乳腺恶性组D值均小于良性组,而f值和D*值均高于良性组。王志远等^[6]研究得到乳腺恶性肿瘤组的D和f值明显低于良性组。D*值在两组间的差异无统计学意义。ROC 曲线分析显示,D、f、D+f值鉴别乳腺良恶性病变的 AUC 分别:0.891、0.827、0.937。IIMA M^[7]研究得到乳腺恶性肿瘤f显著高于良性组,D*值在两组间的差异无统计学意义。本研究D均值乳腺恶性病低于良性病变,D*值高于乳腺良性病变,两者差异有统计学意义,f均值差异无统计学意义。f、D*值与前面作者结论部分不一致,可能原因,本研究采用病变全容积测量,更能全面反应病变的内部特征。阮惠萍等^[8]研究也得到IVIM-D值良性组显著高于恶性组。刘克明等^[9]研究得到除峰度值及偏度值之外,良恶性病变D和D*值的直方图参数均存在显著差异,D值的第10百分位数及D*值的第90百分数曲线下面积(AUC)值最高,分别为0.910和0.821。本研究中D直方图(P_{90%}、熵、均值、峰度、中位数、最小值、偏度)、f直方图(峰度)、D*直方图(P_{90%}、熵、峰度、最大值、均值、中位数、偏度)鉴别乳腺良恶性病变单因素分析有统计学意义。ROC下面积最大为D-偏度(0.818)。本研究单因素ROC面积最大、特异度、准确度最高为D-偏度,分析与刘克明等^[9]结论不同的原因可能为前者病例数较少,没有纳入非肿块样强化良恶性病变。

3.2 IVIM直方图参数联合诊断乳腺良、恶性病变的价值 刘阳等^[10]通过多b值DWI检查和MRI动态增强两者联合使用可以有效提高临床诊断效能。李嫣等^[11]研究体素内不相干运动与扩散峰度成像中联合D值和MK值的AUC达0.92。史倩菲等^[12]研究得到DCE-MRI联合DWI能提高诊断乳腺癌良恶性病变的准确率。孟存忠等^[13]研究得到ADC 直方图和 DCE-MRI半定量参数联合能提高乳腺恶性肿瘤诊断的准确性。李红英^[14]研究报道使用DCE、DWI和¹H-MRS三个参数的MRI联合诊断乳腺良恶性病变的效能明显大于单个参数或任何两个参数联合的诊断效能。而直方图分析则拓宽了单一定量值的诊断价值,直方图的联合理论上进一步提高了诊断的特异性和准确性。本研究通过IVIM直方图分析,得到单因素有统计学意义参数ROC曲线面积最大为D-偏度(0.818),D直方图参数联合ROC下面积能提高到0.903,IVIM直方图联合诊断曲线下面积最大(0.953),并且与单变量、D、f、D*直方图各参数联合的曲线下面积差异有统计学差异。阮惠萍^[8]等通过比较表观扩散系数(ADC)、IVIM、扩散峰度成像(DKI)定量值鉴别乳腺良恶性病变效能,得到ADC值及DKI-K值为鉴别乳腺良恶性病变的独立影响因素。本研究将单变量二元logisti回归分析(P<0.001)的变量纳入多变量二元logisti回归分析独立影响因素,得到D-熵(OR=2.943;P=0.037)及D-中位数(OR=0.984;P=0.029)为乳腺恶性病变独立影响因素,其预测准确率达0.88。

本研究的局限性:第一,本研究为单中心研究;第二,样本量相对较少,特别是乳腺良性病变;第三,IVIM参数为全容积测量,可能少部分把肿瘤坏死区域纳入了感兴趣区。

综上所述,IVIM直方图参数联合诊断AUC面积最大,与D值、f值、D*值联合诊断曲线下面积差异有统计学意义。D-熵及D-中位数为乳腺恶性病变独立影响因素。

参考文献

- [1] I Ima M, Le Bihan D. Clinical intravoxel incoherent motion and diffusion MR imaging: past, present, and future [J]. Radiology, 2016, 278 (1): 13-32.
- [2] Sun K, Zhu H, Chal W M, et al. Whole-lesion histogram and texture analyses of breast lesions on inline quantitative DCE mapping with CAIPRI-NHA-Dixon-TWIST-VIBE [J]. Eur Radiol, 2020, 30 (1): 57-65.
- [3] Yankeelov T E, Lepage M, Chakravarthy A, et al. Integration of quantitative DCE-MRI and ADC mapping to monitor treatment response in human breast cancer: Initial results [J]. Magn Reson Imaging, 2007, 25 (1): 1-13.
- [4] Ma X, Zhao X, Ouyang H, et al. Quantified ADC histogram analysis: a new method for differentiating mass-forming focal pancreatitis from pancreatic cancer [J]. Acta Radiol, 2014, 55 (7): 785-792.
- [5] 魏乐群, 陈殿森, 孙聚葆, 等. MR体素内不相干运动成像对乳腺良恶性病变的鉴别诊断价值 [J]. 中国医学影像学杂志, 2016, 24 (12): 906-908.
- [6] 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.
- [7] Iima M, Kataoka M, Kanao S, et al. Intravoxel incoherent motion and quantitative non-gaussian diffusion MR imaging: evaluation of the diagnostic and prognostic value of several markers of malignant and benign breast lesions [J]. Radiology, 2018, 287 (2): 432-441.
- [8] 阮惠萍, 何慕真. 弥散加权成像模型鉴别乳腺良恶性病变 [J]. 中国医学影像技术, 2022, 38 (1): 78-82.
- [9] 刘克明, 郭华, 刘烁. 体素内不相干运动成像直方图分析鉴别乳腺病变 [J]. 实用放射学杂志, 2022, 38 (1): 56-59, 76.
- [10] 刘阳, 朱志军, 曹满瑞, 等. 多b值DWI联合MRI动态增强在乳腺癌诊断的效能分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19 (4): 39-42.
- [11] 李嫣, 艾涛, 胡益祺, 等. 体素内不相干运动联合扩散峰度成像模型对乳腺良恶性病灶的鉴别诊断价值 [J]. 放射学实践, 2016, 31 (12): 1191-1195.
- [12] 史倩菲, 丁军明, 赵妍. DCE-MRI联合DWI诊断乳腺良恶性病变的临床价值分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (4): 88-90.
- [13] 孟存忠, 赵长秀, 赵帆, 等. 表观扩散系数直方图联合动态对比增强磁共振成像半定量参数在乳腺肿瘤诊断中的应用 [J]. 实用放射学杂志, 2020, 36 (9): 1414-1417.
- [14] 李红英. 比较3.0T磁共振多参数联合检查对乳腺肿瘤良恶性的诊断准确性 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (3): 96-99.

(收稿日期: 2023-07-20)

(校对编辑: 韩敏求)