

IVIM-DWI 辅助 DCE-MRI 对良、恶性乳腺非肿块样强化病变的鉴别诊断价值

马德晶, 逯峰, 邹雪雪, 陈亮, 徐明露, 范万峰

【摘要】 目的:探讨体素内不相关运动扩散加权成像(IVIM-DWI)对磁共振动态增强扫描(DCE-MRI)鉴别良、恶性乳腺非肿块样强化病变的辅助诊断效能。**方法:**回顾性分析 56 例呈非肿块样强化的乳腺病变的影像资料,分析病变在 DCE-MRI 上的特征和定量参数[(病变分布特征、内部强化特点、TIC 曲线、最大增强斜率(MSI)]及 IVIM-DWI 定量参数(f 值、D 值、D* 值)并进行良、恶性组间比较;建立单独应用 DCE-MRI 及 DCE-MRI 与 IVIM-DWI 联合应用的 Logistic 回归模型,评价其对良、恶性病变的鉴别诊断效能。**结果:**病变的分布特征、强化特点及 TIC 曲线类型在良、恶性组间的差异具有统计学意义($P < 0.05$);而 MSI(恶性组:2.57、1.89;良性组:1.92、1.43)的组间差异无统计学意义($P > 0.05$);恶性组的 f 值(8.13 ± 2.64)和 D* 值(6.96 ± 2.89)高于良性组(分别为 6.92 ± 2.56 和 6.83 ± 2.58),D 值低于良性组(恶性组: 1.05 ± 0.31 ;良性组: 1.27 ± 0.26),其中 D* 和 D 值在两组间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。两种回归模型诊断乳腺良、恶性病变的敏感度、特异度、符合率、阳性预测值和阴性预测值分别为 88.24%、68.42%、81.13%、79.49%、80.75% 及 91.18%、73.68%、84.91%、83.35%、85.24%。**结论:**IVIM-DWI 作为一种辅助检查方法能提高 DCE-MRI 检查对乳腺非肿块样强化病变的鉴别诊断效能,尤其是诊断特异性。

【关键词】 乳腺病变;非肿块样强化;体素内不相关运动;扩散加权成像;动态增强扫描;磁共振成像

【中图分类号】 R445.2;R739.31 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)12-1337-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.12.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging as an adjunct to dynamic contrast-enhanced MRI to improve accuracy of the differential diagnosis of benign and malignant non-mass-like enhanced breast lesions MA De-jing, LU Feng, ZOU Xue-xue, et al. Binzhou Medical University Hospital, Shandong 256603, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to investigate the value of use of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging (IVIM-DWI) as an adjunct to dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) in distinguishing enhanced benign from malignant non-mass-like breast lesions. **Methods:** 56 patients with non-mass-like breast lesions who underwent MRI examination were retrospective reviewed. The features and quantitative parameters of the lesions on DCE-MRI [distribution, enhancement characteristics, TIC curve and the maximum enhancement slope (MSI)] and quantitative parameters (f, D and D*) on IVIM-DWI were observed and measured, and the differences between benign and malignant groups were compared and analyzed. Multivariate logistic regression was performed to identify variables that distinguished benign from malignant breast lesions. The pathology results were used as a gold standard to evaluate the the diagnostic performance of DCE-MRI and DCE-MRI plus IVIM-DWI. **Results:** The differences of distribution, enhancement characteristic and TIC curve between benign and malignant lesions were statistically significant ($P < 0.05$); but there was no significant difference in MSI (malignant group: 2.57 and 1.89; benign group: 1.92 and 1.43). The values of f (malignant group: 8.13 ± 2.64 ; benign group: 6.92 ± 2.56) and D* (malignant group: 6.96 ± 2.89 ; benign group: 6.83 ± 2.58) were higher in malignant group than those

作者单位: 256600 山东, 山东省滨州市滨州医学院附属医院(马德晶, 逯峰, 邹雪雪, 陈亮, 范万峰); 066300 河北, 河北省秦皇岛市中医医院(徐明露)

作者简介: 马德晶(1984—), 女, 山东德州人, 博士研究生, 主治医师, 主要从事中枢神经及乳腺影像诊断工作。

通讯作者: 范万峰, E-mail: byfyfwf@126.com

in benign group, and the values of D (malignant group: 1.05 ± 0.31 ; benign group: 1.27 ± 0.26) was the opposite ($P < 0.05$). The sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value and negative predictive value of the two regression models in diagnosis of benign and malignant breast lesions were as follows: 88.24%, 68.42%, 81.13%, 79.49%, 80.75% and 91.18%, 73.68%, 84.91%, 83.35%, 85.24%. **Conclusion:** IVIM-DWI can significantly improve the diagnostic efficacy of DCE-MRI in the differential diagnosis of enhanced benign and malignant non-mass-like breast lesions, especially the diagnostic specificity.

【Key words】 Breast lesion; Non-mass-like enhanced; Intravoxel incoherent motion; Diffusion-weighted imaging; Dynamic contrast-enhanced; Magnetic resonance imaging

动态增强磁共振成像(dynamic contrast enhanced magnetic imaging, DCE-MRI)是目前公认的诊断乳腺疾病的重要检查手段,具有较高的诊断敏感性,但特异性相对较低^[1]。扩散加权成像(DWI)技术作为一种辅助检查手段,可以提高 DCE-MRI 对乳腺疾病的诊断特异性^[2],但其参数(ADC)值包含了水分子扩散和微循环灌注信息,而体素内不相关运动扩散加权成像(intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging, IVIM-DWI)技术可以分别反映水分子扩散及微循环灌注的信息^[3]。既往有研究发现将 IVIM-DWI 作为一种辅助检查手段,能够较明显地提高 DCE-MRI 对乳腺病变诊断的特异性,并且敏感性亦稍有提高^[4],但其未分析非肿块样强化病变的特点。本研究旨在探讨 IVIM-DWI 作为一种辅助检查手段在非肿块样强化的乳腺病变中对 DCE-MRI 诊断效能的影响。

材料与方法

1. 临床资料

回顾性分析 2017 年 6 月—2018 年 6 月因乳腺病变在我院就诊且 MRI 检查显示乳腺病变呈非肿块样强化的 56 例患者的影像学资料。均为女性患者,年龄 21~65 岁,平均(42.3 ± 6.8)岁。纳入标准:①MRI 扫描前未行穿刺活检或放化疗等诊疗措施,并于 MRI 检查后 2 周内行手术或穿刺活检并获得明确的病理结果;②乳腺内至少有一个病灶直径大于 1.0 cm。

最终入组的经病理证实的病灶共 53 个:良性病灶 19 个,恶性病灶 34 个。良性病变包括导管内乳头状瘤 8 个,肉芽肿性乳腺炎 3 个,浆细胞性乳腺炎和乳腺腺病 4 个;恶性病变包括浸润性导管癌 14 个,导管原位癌 13 个,浸润性小叶癌 3 个,浸润性乳头癌 2 个,基底样癌和样囊性癌各 1 个。

每例患者在检查前签署知情同意书,且本研究经我院医学伦理委员会审查通过。

2. 检查方法

使用 Siemens Magnetom Skyra 3.0T MR 成像仪

和 4 通道乳腺专用线圈。患者扫描时取俯卧位,双乳自然下垂于线圈内。①常规扫描序列及参数: T_1 WI (TR 169 ms, TE 2.6 ms)、 T_2 WI (TR 3500 ms, TE 69 ms)及脂肪抑制序列 T_2 WI (TR 3200 ms, TE 69 ms),层厚 4.0 mm,层间距 0.4 mm,视野 $340 \text{ mm} \times 340 \text{ mm}$,矩阵 269×384 ,激励次数 2;②IVIM-DWI 扫描:采用单次激发 SE-EPI 结合脂肪抑制技术,TR 6400 ms,TE 63 ms,层厚 5 mm,层间距 1 mm,视野 $340 \text{ mm} \times 138 \text{ mm}$,矩阵 192×78 ,选用 12 个 b 值(分别为 0、50、100、150、200、250、300、400、600、800、1000 和 1200 s/mm^2),在 x、y、z 轴 3 个方向上同时施扩散梯度,激励次数分别为 1、1、1、1、1、2、2、4、4、4、6 和 6,扫描时间 13 min 40 s;③DCE-MRI 扫描:采用梯度回波三维容积插值屏息扫描(volumetric interpolated breath-hold examination, VIBE)技术,共扫描 8 期(1 期蒙片+7 期增强),TR 4.49 ms,TE 1.68 ms,视野 $340 \text{ mm} \times 340 \text{ mm}$,矩阵 352×260 ,层厚 1.2 mm,层间距 0.24 mm,翻转角 10° ,每期扫描时间约 45 s;对比剂采用 Gd-DTPA,流率 2.5 mL/s,剂量 0.2 mL/kg,然后以相同流率注射 0.9%氯化钠注射液 20 mL 冲管。

3. 图像分析和数据处理

所有图像均由 2 位具有 5 年以上乳腺病变诊断经验的放射科医师采用双盲法阅片,对两位医师的诊断结果(良、恶性的判别)进行一致性检验。为减少由于 ROI 选择位置偏倚引起的测量误差,所有数据均测量 3 次,取其平均值;ROI 选取标准:尽量包括病灶所有的实质部分,并尽量避开病变内的囊变、坏死区。

利用 MITK-Diffusion 后处理软件分析患者的 IVIM-DWI 数据,结合 DCE-MRI 在病灶内勾画 ROI (面积 $46.10 \sim 234.70 \text{ mm}^2$),经 MITK-Diffusion 后处理软件自动计算出 ROI 的灌注分数(f)、真扩散系数(D)值和假扩散系数(D^*)值。

将 DCE-MRI 图像传至 Syngo MMWP VE40B 工作站。观察病变的分布(线样/叶段分布记为 L1 分,其它分别方式如局灶性、区域性、多区域性和弥漫性记为 L0 分)和强化方式(集丛样或簇样环形强化记为 C1

分,其它方式如均匀性或不均匀性强化记为 C0 分)。在病灶内选取 ROI,面积 5.00~10.00 mm²,利用 Mean-Curve 后处理软件获得 ROI 的时间-信号强度曲线(time-signal intensity curve, TIC)和最大增强斜率(maximum slope of increase, MSI),按照公式(1)或(2)计算 MSI:

$$MSI = \frac{(SI_{peak} - SI_0) \times 100\%}{TTP} \quad (1)$$

$$MSI = \frac{SI_{end} - SI_{prior}}{SI_0 \times (T_{end} - T_{prior})} \quad (2)$$

其中,SI_{peak}为增强后的最大信号强度;SI₀为初始信号强度(即平扫 SI),SI_{end}及 SI_{prior}分别代表曲线上阶段信号强度变化最大的两个相邻扫描时相的信号强度,T_{end}及 T_{prior}分别表示相应的时间点^[5]。

根据病灶的信号强化率(the slope of signal intensity, SI_{slope}),将 TIC 分为 3 型: I 型为缓升型,SI_{slope}>10%; II 型为平台型,-10%≤SI_{slope}≤10%; III 型为流出型,SI_{slope}<-10%。本研究中将 I 型 TIC 记为 0 分,II 型和 III 型均记为 1 分。

4. 统计分析

使用 SPSS 19.0 统计软件,首先采用 Kappa 一致性检验分析两位医师诊断结果的一致性。其它定量参数均应用 Shapiro-Wilktest 法进行正态性检验,符合正态分布者以均数±标准差来描述,并采用两独立样本 *t* 检验进行分析;不符合正态分布的定量资料,采用中位数和四分位数间距进行描述,组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验;定性资料的统计描述采用例数(构成

比)的方式进行,组间比较采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。然后采用 Logistic 回归分析确定单独应用 DCE-MRI 及 DCE-MRI 联合 IVIM-DWI 对鉴别乳腺良恶性病变的独立影响因素。以病理结果为金标准,绘制二者的 ROC 曲线,分析单独应用 DCE-MRI 检查、DCE-MRI 与 IVIM-DWI 联合应用对良、恶性乳腺病变的鉴别诊断效能。

结 果

1. 两位医师诊断结果一致性

对两位医师诊断结果的一致性进行检验,详细结果见表 1。统计分析结果显示:不论是单独分析 DCE-MRI 图像还是综合分析 DCE-MRI 和 IVIM-DWI 图像,两位医师诊断病变的良、恶性均具有较好的一致性(Kappa 值分别为 0.797 和 0.918)。

表 1 两位医师诊断结果一致性分析 (个)

| 方法/医生 A | 医生 B | | Kappa 值 | P 值 |
|------------------|------|----|---------|--------|
| | 良性 | 恶性 | | |
| DCE-MRI | | | 0.797 | <0.001 |
| 良性 | 17 | 3 | | |
| 恶性 | 2 | 31 | | |
| DCE-MRI+IVIM-DWI | | | 0.918 | <0.001 |
| 良性 | 18 | 1 | | |
| 恶性 | 1 | 33 | | |

2. 良恶性病变各指标的比较

良、恶性病变各征象的评估和各参数的测量值及统计分析结果见表 2。

恶性组中乳腺病变呈线样/叶段分布(图 1)和集

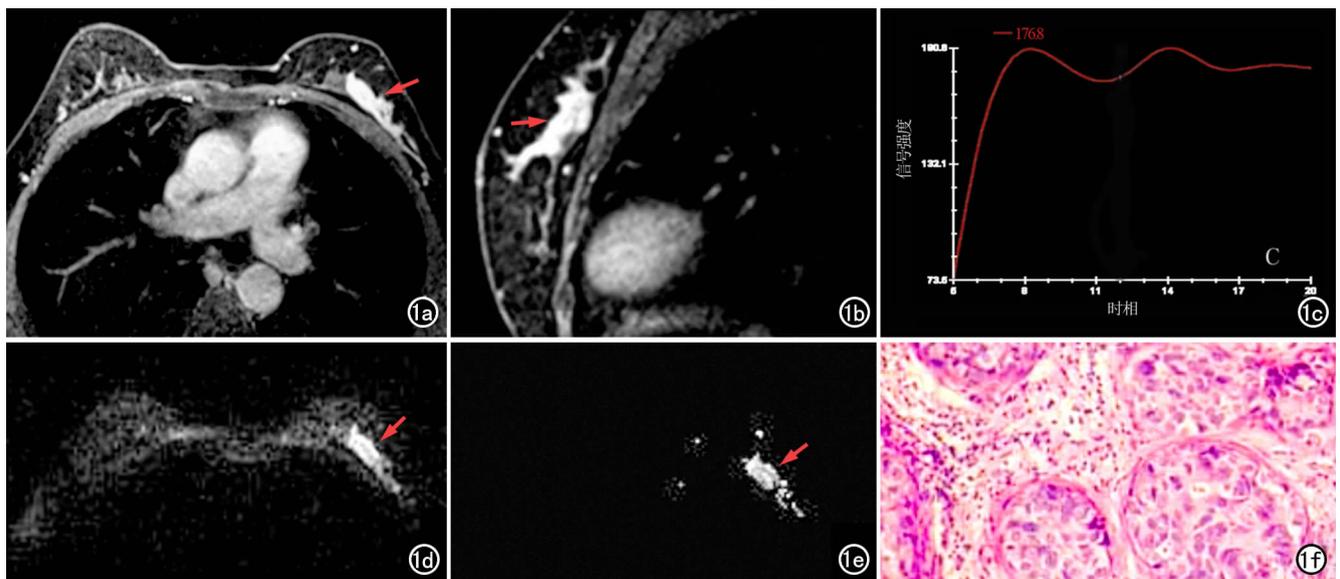


图 1 患者,女,49 岁,左侧乳腺导管原位癌。a)对比增强横轴面抑脂 T₁WI,左乳外侧份可见非肿块样不均匀强化病灶(箭),呈叶段分布;b)矢状面抑脂 T₁WI 动态增强图像,显示病灶位于乳腺偏上象限(箭),边界不清,相邻皮肤无明显变化;c)TIC 曲线呈平台型(II 型);d)IVIM-DWI 显示病变呈稍高信号(箭);e)ADC 图示病灶呈等~稍低信号(箭);f)病理图镜下示肿瘤细胞增生局限于导管内,细胞形态较一致,腺泡外层的肌上皮细胞明显,间质纤维细胞轻度增生(HE,×200)。

表2 良恶性病变 DCE-MRI 及 IVIM-DWI 各参数比较 (个)

| 参数 | 良性 (n=19) | 恶性 (n=34) | 统计量 | P 值 |
|---|--------------------------|--------------------------|-------|--------|
| 分布 | | | 8.835 | 0.003 |
| 线样/叶段分布 | 6(31.58%) | 25(73.53%) | | |
| 其它 | 13(68.42%) | 9(26.47%) | | |
| 强化特点 | | | 6.399 | 0.011 |
| 集丛样/簇样环形 | 6(31.57%) | 23(67.65%) | | |
| 其它 | 13(68.42%) | 11(32.35%) | | |
| MSIa | 1.92±1.43 (0.31~5.16) | 2.57±1.89 (0.59~5.81) | 4.151 | 0.059 |
| TIC 类型 | | | 5.306 | 0.021 |
| I 型 | 9(47.37%) | 6(17.65%) | | |
| II、III 型 | 10(52.63%) | 28(82.35%) | | |
| f(%) | 6.92±2.56 | 8.13±2.64 | 1.824 | 0.074 |
| D($\times 10^{-3}$ s/mm ²) | 1.27±0.26 | 1.05±0.31 | 2.534 | <0.001 |
| D* ($\times 10^{-3}$ s/mm ²) | 6.83±2.58 | 6.96±2.89 | 2.086 | 0.042 |

注: *相应指标值采用中位数±四分位间距表示。

表3 两种诊断方法的 Logistic 回归方程的诊断效能

| 检查方法 | 敏感度 (%) | 特异度 (%) | 符合率 | 阳性预测值 (%) | 阴性预测值 (%) |
|------------------|------------|------------|-------|--------------|--------------|
| DCE-MRI | 88.24 | 68.42 | 81.13 | 79.49 | 80.75 |
| DCE-MRI+IVIM-DWI | 91.1 | 73.68 | 84.91 | 83.35 | 85.24 |

丛样/簇样环形强化的出现率均明显高于良性组,组间差异均有统计学意义($P<0.05$)。良、恶性组间 MSI 的差异无统计学意义($P>0.05$)。恶性组中 TIC 曲线以 II、III 型多见,良性组中 I 型与 II、III 型(图 2)的出现率接近,良恶性组间 TIC 曲线类型的差异有统计学意义($P<0.05$)。

恶性组中乳腺病变的 f 值和 D* 值均高于良性组,

两组间 D* 值的差异有统计学意义($P<0.05$),但 f 值的差异无统计学意义($P>0.05$);恶性组中乳腺病变的 D 值低于良性组,差异有统计学意义($P<0.05$)。

3. 各方法的诊断效能

将良、恶性组间有统计学差异的指标纳入 Logistic 回归分析,分别建立 DCE-MRI 及 DCE-MRI 联合

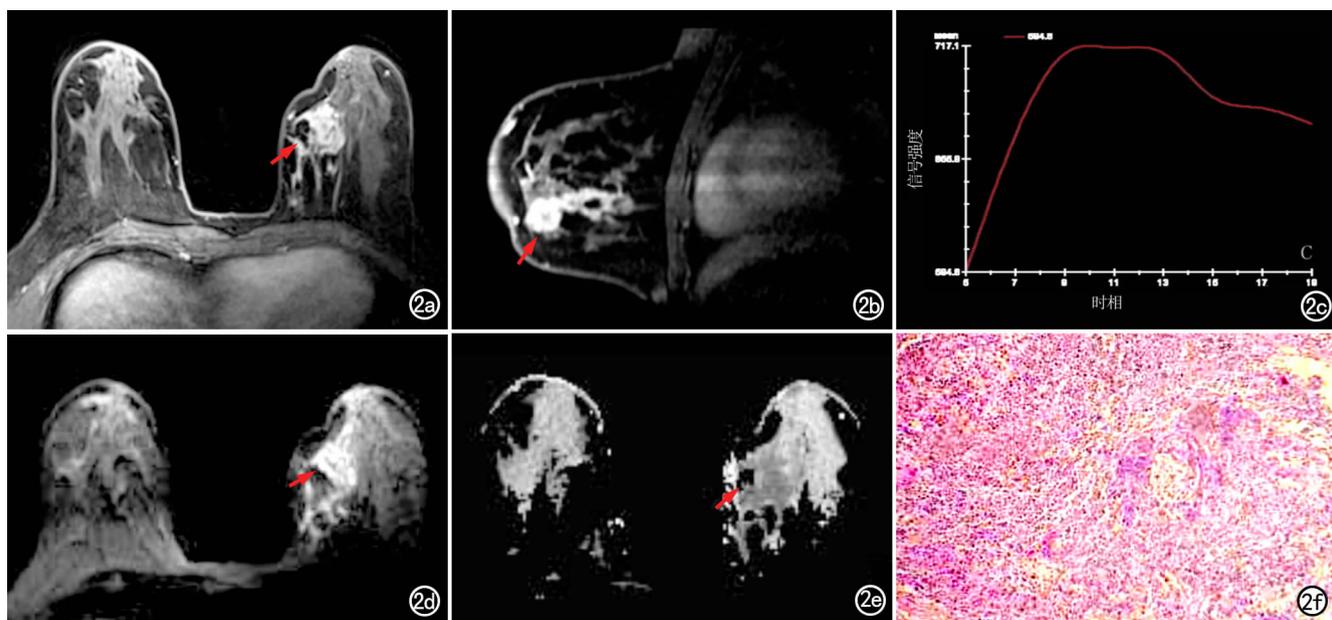


图2 患者,女,27岁,左侧乳腺肉芽肿性乳腺炎。a)对比增强横轴面抑脂 T₁WI,显示左乳内侧非肿块样明显强化灶(箭),呈区域分布,不均匀强化;b)对比增强矢状面抑脂 T₁WI,显示病灶位于乳腺偏下部,病灶边缘不清(箭),左乳皮肤局部增厚并可见凹陷;c)TIC 曲线呈流出型(III 型);d)IVIM-DWI 显示病灶呈较高信号(箭);e)ADC 图像显示病变区呈较低信号(箭);f)病理图镜下示结节状病灶内可见多量泡沫细胞及多核巨细胞,并伴有淋巴细胞和浆细胞浸润(HE,×200)。

IVIM-DWI 诊断非肿块样强化乳腺良恶性病变的 Logistic 回归方程(P3, P4), 分别为:

$$P3 = -4.242 + 4.211 \times L + 2.722 \times C + 2.568 \times \text{TIC 类型} \quad (3)$$

$$P4 = 2.946 + 1.190 \times L + 0.591 \times C + 2.582 \times \text{TIC 类型} - 2.938 \times D \quad (4)$$

当 $P > 0.5$ 时诊断为恶性病变, $P \leq 0.5$ 时诊断为良性病变。根据所建立的 Logistic 方程, 两种诊断方法的诊断效能相关指标值见表 3。以建立的方程判断乳腺良恶性病变的预测值来绘制 ROC 曲线, 曲线下面积分别为 0.783 和 0.824(图 3)。

讨 论

2017 年《乳腺磁共振检查及诊断规范专家共识》指出, 在临床工作中对乳腺病变性质的判断需要结合病变的形态、强化特点、MSI 和 TIC 曲线等信息进行综合分析^[6]。2013 年美国放射学会(American College of Radiology, ACR)修订的 BI-RADS MRI 对 NME 病变的分布特征的描述分为局灶性、线样、叶段性、区域性、多区域性及弥漫性分布 6 种类型; 内部强化方式包括均匀性、不均匀、集丛样及簇样环形强化这 4 种类型。以往有研究显示, 非肿块样强化的病变中线样及叶段型分布多见于恶性病变中, 并且其对乳腺癌的诊断有较高的特异性^[7]。本研究中, 恶性病变组线样/叶段分布的病例所占比例为 73.53%, 而良性组中其比例为 31.58%, 与以往的研究结果基本相符。以往有国外学者在对非肿块样强化病变的研究中发现 63% 的恶性病变中出现成簇小环形强化, 其鉴别恶性肿瘤的特异度高达 96%^[8]。本研究中, 34 个恶性病变中 23 个(67.65%) 出现集丛/簇样强化, 而 19 个良性病变中仅 6 个(31.57%) 出现这种强化方式, 这种强化方式在恶性病变中出现比率与以往的研究结果基本

相一致, 但特异度较上述学者研究低^[7-8]。分析原因是由于本组良性病变中出现集丛/簇样强化的比例较之前研究高, 可能是由于本组非肿块样强化的良性病变中有较多肉芽肿性乳腺炎及浆细胞性乳腺炎的病例, 其在脓肿形成时期易形成近似簇样强化方式^[9]。

Smith 等^[10]的研究结果显示, TIC 曲线具有较大的鉴别乳腺病变良、恶性的价值。本研究中恶性组 TIC 曲线以 II、III 型为主, 比例达 82.35%, 这与以往的研究结论均相符^[11-12]。但良性病变中 II、III 型 TIC 曲线的比例亦高达 52.63%, 分析原因可能是 TIC 曲线反映病变的血供情况, 与病变微循环中血管密度、毛细血管壁的通透性及肿瘤间质的压力等因素均有关, 由于本组 19 个良性病例中乳腺炎病例有 7 个, 其中包括浆细胞性乳腺炎及肉芽肿性乳腺炎, 而炎性病变的实性部分血供较丰富, 能够呈现 II 型甚至 III 型 TIC 曲线, 由此导致 II、III 型曲线类型在非肿块样强化的良性病变中所占比例亦较高。本研究中良恶性组间 MSI 的差异无统计学意义($P > 0.05$), 分析原因可能是由于乳腺病灶增强速度与病变的血管化程度相关, 部分血供丰富的乳腺良性肿瘤, 信号增强上升显著, 与恶性病变之间存在重叠有关。

在 IVIM-DWI 参数方面, 恶性乳腺病变组的 D 值低于良性组, f 值、D* 值高于良性病变, 与 Louisa 等^[13]报道的结果基本一致; 且通常非肿块样强化的病灶, 其 D 值较肿块样强化的病变偏高^[14], 分析原因可能是由于非肿块样强化的病变无明确的边界, 病变区域内有少许乳腺组织参杂其中, 在选取 ROI 的时候, 不可避免的会包括进去, 导致所测量的 ROI 值并不如肿块样强化的病变准确。f 值和 D* 值主要反映血流灌注信息, 大部分恶性肿瘤的血流灌注较丰富, 与良性病变组间存在差异, 但是需要注意的是部分良性病变血流灌注亦可较丰富(如纤维腺瘤、炎性病变等), 与恶性病变之间存在重叠。

Logistic 回归分析将病变的分布特征、强化特点、TIC 类型均纳入诊断乳腺良恶性病变的方程。由于本组病变中, 线样/叶段分布及集丛/簇样强化对恶性病变的诊断特异度非常高, 并且本组病例中浸润性导管癌、导管原位癌所占比例较大, 导致这种差异更加明显, 因此其均能被纳入方程。TIC 曲线被纳入回归方程的原因可能是良恶性病变血管系统相关结构存在差异^[15], 恶性肿瘤血管通透性高, 存在动-静脉分流, 对比剂流经病灶进入间质的量少, 经静脉迅速流出的量多, TIC 多为平台型或流出型^[10]; 而良性肿瘤血管发育相对成熟, 对比剂进入间质的量多, 经静脉流出的量少, TIC 多为缓升型。本研究中 DCE-MRI 的诊断敏感度、特异度、符合率、阳性和阴性预测值分别为

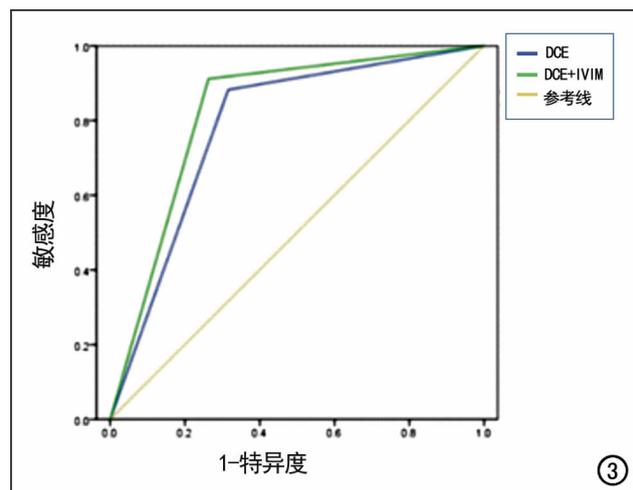


图 3 DCE-MRI 和 DCE-MRI 联合 IVIM-DWI 诊断良、恶性乳腺病变的 ROC 曲线图。

88.24%、68.42%、81.13%、79.49% 和 80.75%；由此可见其敏感性较高，但特异性较低。

DCE-MRI 与 IVIM-DWI 联合鉴别诊断乳腺病变良恶性，纳入 Logistic 回归方程的独立影响因素为病变分布、强化特点、TIC 类型及 D 值，其诊断敏感度、特异度、准确率、阳性和阴性预测值分别为 91.18%、73.68%、84.91%、83.35% 和 85.24%，较单独应用 DCE-MRI 的诊断效能有提高，尤其是诊断特异度有明显提高。由此可见在非肿块样强化的乳腺病变中 IVIM-DWI 也可为乳腺良恶性病变的鉴别诊断提供有价值的信息，临床工作中可以将二者联合应用于乳腺良、恶性病变的鉴别诊断中。

参考文献：

- [1] Medeiros LR, Duarte CS, Rosa DD, et al. Accuracy of magnetic resonance in suspicious breast lesions: a systematic quantitative review and meta-analysis [J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2011, 126(2):273-285.
- [2] Zhang L, Tang M, Min Z, et al. Accuracy of combined dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and diffusion-weighted imaging for breast cancer detection: a meta-analysis [J]. *Acta Radiol*, 2016, 57(6):651-660.
- [3] Tamura T, Usui S, Murakami S, et al. Comparisons of multi b-value DWI signal analysis with pathologic specimen of breast cancer [J]. *Magn Reson Med*, 2012, 68(3):890-897.
- [4] 邹雪雪, 秦东京, 姜兴岳, 等. DCE-MRI 联合 IVIM-DWI 鉴别诊断乳腺良恶性病变 [J]. *中国医学影像技术*, 2016, 32(4):534-538.
- [5] 赵莉芸. 动态增强 MRI 预测乳腺癌新辅助化疗疗效及其与乳腺癌分子亚型的关系研究 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2014: 1-96.
- [6] 中华医学会放射学分会乳腺专业委员会专家组. 乳腺磁共振检查及诊断规范专家共识 [J]. *肿瘤影像学*, 2017, 26(4):241-249.
- [7] 邵莹莹, 杨爱梅, 彭杰, 等. BI-RADS 4 类非肿块乳腺癌与非肿块乳腺良性病变 MRI 动态增强特征及 ADC 值分析 [J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(7):1101-1105.
- [8] Delen D, Walker G, Kadam A. Predicting breast cancer survivability: a comparison of three data mining methods [J]. *Artif Intell Med*, 2005, 34(2):113-127.
- [9] 陈圆圆, 张嫣, 王霞, 等. 肉芽肿性乳腺炎的 MRI 诊断 [J]. *放射学实践*, 2015, 30(2):145-148.
- [10] Smith H, Chetlen AL, Schetter S, et al. PPV (3) of suspicious breast MRI findings [J]. *Acad Radiol*, 2014, 21(12):1553-1562.
- [11] Agner SC, sen MA, Englander S, et al. Computerized image analysis for identifying triple-negative breast cancers and differentiating them from other molecular subtypes of breast cancer on dynamic contrast-enhanced MR images: a feasibility study [J]. *Radiology*, 2014, 272(1):91-99.
- [12] 尉丽君, 罗娅红. 乳腺非肿块型癌与肿块型癌的 MR 表现差异研究 [J]. *放射学实践*, 2017, 32(6):561-565.
- [13] Bokacheva L, Kaplan JB, Giri DD, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MRI at 3.0T differentiates malignant breast lesions from benign lesions and breast parenchyma [J]. *Magn Reson Imaging*, 2014, 40(4):813-823.
- [14] 郭吉敏, 刘春霖, 曹满瑞, 等. 体素内不相干运动双指数模型评价乳腺肿块样病变 [J]. *中国医学影像技术*, 2015, 31(7):1037-1040.
- [15] Sinkus R, Tanter M, Siegmann K, et al. Breast cancer exhibits liquid-like mechanical properties: a comparative study between MR-mammography and MR-elastography [C]. *Proc Intl: ISMRM*, 2007:963.

(收稿日期:2019-04-01 修回日期:2019-05-30)