

论 著

MRI动态增强、DWI联合IVIM参数对乳腺癌及其分子分型诊断价值分析*

陈喜裕 莫丹 蒋奕
黄拓树 蒋清华*

1.广西壮族自治区妇幼保健院

乳腺·甲状腺科

2.广西医科大学附属肿瘤医院

乳腺科一病区(广西南宁530000)

【摘要】目的 探讨MRI动态增强磁共振(DCE-MRI)、弥散加权成像(DWI)联合高分辨磁共振成像(IVIM)参数对乳腺癌(BC)及其分子分型诊断价值。**方法** 选取2020年1月至2023年12月本院收治的236例乳腺疾病患者,根据病理检查分为BC组130例和良性病变组106例,均完成DCE-MRI、DWI和IVIM检查。比较BC组和良性病变组DCE-MRI、DWI、IVIM参数;受试者工作特征曲线(ROC)分析DCE-MRI、DWI联合IVIM参数对BC的诊断效能;以病理结果确定分子分型,比较不同分子分型BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数及微血管密度(MVD)、血管生成因子(VEGF)水平;Pearson相关性分析BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数与MVD、VEGF的关系。**结果** BC组容积转移常数(K^{trans})、回流速率常数(K_{ep})和快速表观扩散系数(D^*)高于良性病变组,血管外细胞外间隙容积比(V_e)、表观扩散系数(ADC)、快速表观扩散系数(D^*)和灌注分数(f)低于良性病变组($P < 0.05$)。DCE-MRI、DWI和IVIM参数联合诊断BC的曲线下面积(AUC)为0.902,敏感度为85.38%,高于各指标单独诊断的AUC和敏感度($P < 0.05$)。HER-2阳性型和三阴性BC患者 K^{trans} 、 K_{ep} 、 D^* 和MVD、VEGF水平最高,三阴性 V_e 、ADC和 f 值最低($P < 0.05$)。三阴性MVD、VEGF水平与 K^{trans} 、 K_{ep} 、 D^* 呈正相关,与 V_e 、ADC值呈负相关($P < 0.05$);HER-2阳性型MVD水平与 K^{trans} 呈正相关,与ADC值、 D 值呈负相关($P < 0.05$)。**结论** DCE-MRI、DWI联合IVIM参数有助于BC临床诊断和分子分型的评估,值得临床推广应用。

【关键词】 乳腺癌;临床诊断;分子分型;
MRI动态增强磁共振;弥散加权成像;

【中图分类号】R737.9

【文献标识码】A

【基金项目】广西壮族自治区卫生健康委员会
自筹经费科研课题(Z20200913)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.12.028

Diagnostic Value of Dynamic Contrast-enhanced MRI and DWI Combined with IVIM Parameters in Breast Cancer and Its Molecular Classifications*

CHEN Xi-yu, MO Dan, JIANG Yi, HUANG Tuo-shu, JIANG Qing-hua*

1. Department of Breast and Thyroid, Maternity and Child Health Care of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

2. First Ward, Department of Breast Cancer, Guangxi Medical University Cancer Hospital, Nanning 530000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To explore the diagnostic value of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) and diffusion-weighted imaging (DWI) combined with intravoxel incoherent motion (IVIM) in breast cancer (BC) and its molecular classifications. **Methods** A total of 236 patients with breast diseases admitted to the hospital were enrolled between January 2020 and December 2023. According to pathological examination, they were divided into BC group (130 cases) and benign lesion group (106 cases). All patients underwent DCE-MRI, DWI and IVIM examinations. DCE-MRI, DWI and IVIM parameters in the two groups were compared, and diagnostic efficiency of the above parameters for BC was analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curves. Molecular classifications were determined by pathological results, DCE-MRI, DWI and IVIM parameters, micro-vascular density (MVD) and vascular endothelial growth factor (VEGF) in BC patients with different molecular classifications were compared. The relationship between DCE-MRI, DWI, IVIM parameters and MVD, VEGF in BC patients was analyzed by Pearson correlation analysis. **Results** The volume transfer constant (K^{trans}), rate constant (K_{ep}) and rapid apparent diffusion coefficient (D^*) in BC group were higher than those in benign lesion group, while extravascular extracellular volume fraction (V_e), apparent diffusion coefficient (ADC), slow apparent diffusion coefficient (D^*) and perfusion fraction (f) were lower than those in benign lesion group ($P < 0.05$). The area under the curve (AUC) and sensitivity of DCE-MRI combined with DWI and IVIM parameters in the diagnosis of BC were 0.902 and 85.38%, higher than those of each detection ($P < 0.05$). K^{trans} , K_{ep} , D^* , MVD and VEGF were the highest in patients with HER-2 positive and triple-negative BC, while V_e , ADC and f were the lowest in patients with triple-negative BC ($P < 0.05$). In triple-negative BC, MVD and VEGF were positively correlated with K^{trans} , K_{ep} and D^* , while negatively correlated with V_e and ADC ($P < 0.05$). In HER-2 positive BC, MVD was positively correlated with K^{trans} , while negatively correlated with ADC and D ($P < 0.05$). **Conclusion** The combined detection of DCE-MRI, DWI and IVIM parameters is conducive to clinical diagnosis of BC and evaluation of molecular classifications.

Keywords: Breast Cancer; Clinical Diagnosis; Molecular Classification; Dynamic Contrast-enhanced Magnetic Resonance Imaging; Diffusion-weighted Imaging

乳腺癌(breast cancer, BC)是发生于乳腺腺上皮组织的具有多种生物学特征的高度异质性肿瘤,根据雌激素受体(estrogen receptor, ER)、孕激素受体(progesterone-receptor, PR)、增殖相关核抗原Ki67和人表皮生长因子受体2(human epidermal growth factorreceptor 2, HER-2)等病理检查不同分为四种类型,不同分子分型对治疗方案及术后辅助全身治疗方案选择均有重要指导意义^[1-2]。研究发现,Luminal A型、B型多采用内分泌治疗,预后较好,HER-2阳性型多采用化疗联合靶向治疗,易出现转移,预后相对较差,三阴性多采用细胞毒性化学治疗,复发及远处转移率高且转移速度极快,预后最差^[3-4]。因此,采用可靠的检查手段对BC进行早期疾病诊断,根据分子分型给予精准治疗方案,是降低本病死亡率的关键。MRI动态增强磁共振(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)是具有无创性评估乳腺组织血流动力学和渗透性特性功能的快速动态MRI扫描技术,通过定量增强参数对BC临床诊断和分子亚型进行准确评估^[5]。弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)通过单指数模型定量参数量化运动敏感梯度测量水分子布朗运动,对BC性质和分子分型具有积极诊断意义^[6]。高分辨磁共振成像(intravoxel incoherent motion, IVIM)是在单次扫描中获得组织中水分子扩散信息和微循环灌注参数的双指数模型扩散影像技术,为BC临床诊断和分型判断提供辅助影像依据^[7]。本研究主要探讨DCE-MRI、DWI联合IVIM参数对BC及其分子分型诊断价值,旨在为BC患者早期诊治决策提供影像学依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2020年1月至2023年12月本院收治的236例乳腺疾病患者。根据病理检查将患者分为BC组130例和良性病变组106例,其中BC组包含浸润性导管癌85例、浸润性小叶腺癌22例、导管原位癌15例和髓样癌8例,良性病变组包含纤维腺瘤67例、导管内乳头状瘤16例、慢性化脓性炎23例。两组基线资料无显著差异($P > 0.05$),见表1。

【第一作者】陈喜裕,女,副主任医师,主要研究方向:乳腺良恶性肿瘤诊治。E-mail: 549107405@qq.com

【通讯作者】蒋清华,男,副主任医师,主要研究方向:妇儿影像诊断与介入治疗。E-mail: 287396769@qq.com

本研究经医院伦理委员会通过。

纳入标准：初步诊断为乳腺疾病^[8]；均为单侧发病；均完成DCE-MRI、DWI和IVIM检查，影像图像质量良好；预计生存时间≥3个月；患者及家属了解并知情同意。排除标准：存在MRI检查禁忌；配合度较差，图像运动伪影重或病灶不能进行测量；合并其他恶性肿瘤或精神、心理疾病；合并严重脏器疾病；接受放疗或靶向治疗。

表1 BC组和良性病变组基线资料比较[n(%)]

组别	例数	年龄(岁)	BMI(kg/m ²)	腰臀比(%)
BC组	130	39.41±4.29	23.10±0.95	0.81±0.14
良性病变组	106	37.55±3.76	23.92±0.74	0.78±0.19
t值		1.618	1.595	1.395
P值		0.107	0.112	0.164

1.2 检查方法 美国GE公司1.5T超导磁共振仪和16通道体部相控阵表面线圈，扫描双乳腺横断面、矢状面及腋窝。患者取仰卧位、头先进，双乳置于乳腺专用线圈空洞中，胸骨对准线圈中线，调整乳腺组织周围皮肤，避免挤压，光标对准双乳头连线，归位后，连通双筒高压注射器，乳腺横断位、矢状位和冠状位定位扫描。

1.2.1 DCE-MRI列及图像分析 采用轴位快速自旋回波T2WI脂肪抑制成像序列：TR 2.3 ms，TE 4.7 ms，层厚2.5 mm，层间距1.5mm，FOV 320×320。以0.2 mmol/kg剂量配置对比剂钆喷酸葡胺，按2 mL/s速率以高压注射器经静脉团注，15mL生理盐水以相同速度冲洗注射器。注射对比剂前后分别扫描1次和6次，单侧扫描时间50.4s。采用GEOmni Kinetic功能软件处理DCE-MRI图像，将肿瘤病灶内强化最快、最明显区域设定为感兴趣区，获得时间-信号强度曲线及容积转移常数(volume transfer constant, K^{trans})、回流速率常数(rate constant, K_{ep})和血管外细胞外间隙容积比(extravascular extracellular volume fraction, V_e)等DCE-MRI参数。

1.2.2 DWI序列 轴位T1WI：TR 620ms，TE 7.24 ms，层厚5mm，层间距5 mm，FOV 350×350。横断位脂肪抑制T2WI：TR 54 ms，TE 3000 ms，层厚5mm，层间距5mm，FOV 350mm×210 mm，b值选取0 s/mm²和1000s/mm²。采用MRI Diffusion后处理软件处理图像，选取肿瘤病灶区域感兴趣区，避开病灶内明显液化坏死、出血和囊变区域，测量b值1000s/

mm²DWI图像的表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值，取3次测量的均值为最终结果。

1.2.3 IVIM序列 T1WI-TWIST：翻转角度15°，TR 4.91 ms，TE 1.90 ms，层厚3.5 mm，层间距0.7 mm，FOV 260×260。选取0、30、50、80、100、150、200、500、800、1000、1500、2000 s/mm²共12个b值，设定15个扩散敏感梯度场方向。高压注射器静脉注射0.2 mmol/kg钆喷葡胺和20mL生理盐水冲管，流速3mL/s。采集70期图像，扫描375 s。GE AW4.5后处理工作站分析图像，计算真实扩散系数获得表观扩散系数(tissue diffusivity coefficient, D)、快速表观扩散系数(slow apparent diffusion coefficient, D*)、灌注分数(perfusion fraction, f)值。

1.3 观察指标 (1)比较BC组和良性病变组K^{trans}、K_{ep}、V_e、ADC、D、D*和f等DCE-MRI、DWI、IVIM参数；(2)受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析DCE-MRI、DWI联合IVIM参数对BC的诊断价值；(3)以病理结果确定分子分型，测定微血管密度(micro-vascular density, MVD)和血管生成因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)水平。比较不同分子分型BC患者K^{trans}、K_{ep}、V_e、ADC、D、D*和f等DCE-MRI、DWI、IVIM参数及MVD、VEGF水平；(4)Pearson相关性分析BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数与MVD、VEGF的关系。

1.4 统计学分析 采用SPSS 22.0软件分析数据，计量资料(BC组和良性病变组DCE-MRI、DWI、IVIM参数比较等)用($\bar{x} \pm s$)表示，比较采用t检验，多组(不同分子分型BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数比较等)比较采用单因素方差分析；P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 BC组和良性病变组DCE-MRI、DWI、IVIM参数比较 BC组K^{trans}、K_{ep}和D*均明显高于良性病变组，V_e、ADC、D和f均明显低于良性病变组(P<0.05)。见图1和表2。

2.2 DCE-MRI、DWI联合IVIM参数对BC的诊断效能 ROC曲线分析，K^{trans}、K_{ep}、V_e、ADC、D、D*和f诊断BC的曲线下面积(area under curve, AUC)分别为0.856、0.815、0.804、0.828、0.768、0.774和0.762，敏感度分别为75.38%、77.69%、80.00%、77.69%、74.62%、53.08%和43.08%(P<0.05)。K^{trans}、K_{ep}、V_e、ADC、D、D*和f联合诊断BC的AUC为0.902，敏感度为85.38%，以DCE-MRI、DWI、IVIM参数联合诊断BC的AUC和敏感度最高(P<0.05)。见图2、表3。

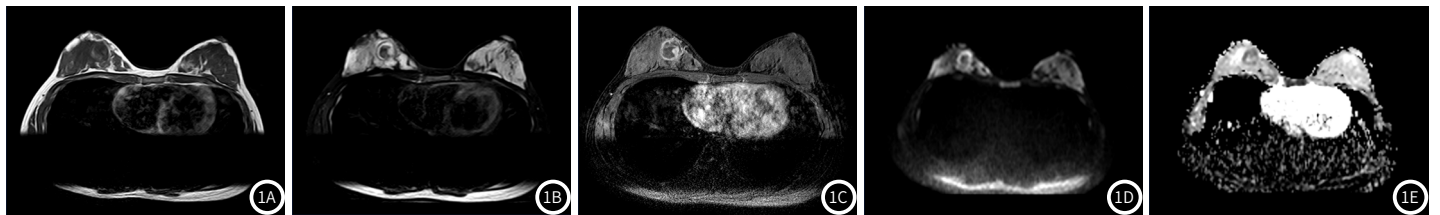


图1 乳腺慢性化脓性炎患者MRI图像。李某，女，27岁，右乳卵圆形肿块，病理检查为乳腺慢性化脓性炎，炎性良性病变，ER(+)。1A: T1WI呈等、稍高混杂信号；1B: T2WI呈边缘高、中央低信号，内侧可见一壁结节；1C: DCE-MRI呈边缘及壁结节强化，中央区无强化；1D: DWI边缘呈高信号，b值=800；1E: IVIM-DWI边缘呈高信号，ADC呈低信号，ADC值约1.115×10⁻³mm²/s。

表2 BC组和良性病变组DCE-MRI、DWI、IVIM参数比较

组别	例数	K ^{trans} (min)	K _{ep} (min)	V _e	ADC(×10 ⁻³ mm ² /s)	D(×10 ⁻³ mm ² /s)	D*(×10 ⁻³ mm ² /s)	f
BC组	130	0.58±0.19*	1.45±0.38*	0.37±0.09*	0.89±0.17	0.52±0.10*	6.81±1.16*	0.36±0.09*
良性病变组	106	0.31±0.07*	0.47±0.19*	0.53±0.14*	1.30±0.25	0.71±0.15*	4.09±0.87*	0.64±0.12*
t值		13.878	24.194	5.316	14.940	11.621	19.986	20.468
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

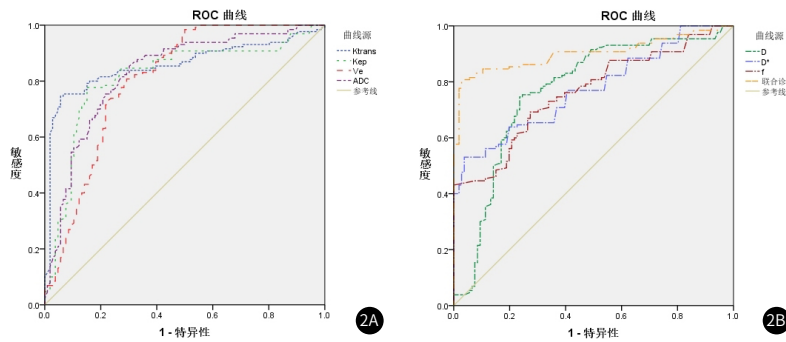


图2 DCE-MRI、DWI联合IVIM参数单独和联合诊断BC的ROC曲线。

2.3 不同分子分型BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数比较
 不同分子分型BC患者 K_{ep} 、 V_e 、ADC、 D^* 和 f 值差异显著，其中HER-2阳性型和三阴性BC患者 K_{ep} 、 D^* 和MVD、VEGF水平最高，三阴性BC患者 V_e 、ADC和 f 值最低($P < 0.05$)。见图3~6和表4。

2.4 BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数与MVD、VEGF的相关性分析
 Pearson相关性分析，三阴性BC患者MVD、VEGF水平均与 K^{trans} 、 K_{ep} 、 D^* 呈正相关，与 V_e 、ADC值呈负相关($P < 0.05$)，

与 D 、 f 值无相关性($P > 0.05$)。HER-2阳性型BC患者MVD水平与 K^{trans} 呈正相关，与ADC值、 D 值呈负相关($P < 0.05$)，与 K_{ep} 、 V_e 、 D^* 、 f 值无相关性($P > 0.05$)，其VEGF水平与DCE-MRI、DWI、IVIM参数均无明显相关性($P > 0.05$)。Luminal A型、Luminal B型MVD水平与 V_e 、ADC负相关，与 K_{ep} 正相关($P < 0.05$)，与 K^{trans} 、 D^* 、 D 值和 f 值无相关性($P > 0.05$)；其VEGF水平与DCE-MRI、DWI、IVIM参数均无明显相关性($P > 0.05$)。

表3 DCE-MRI、DWI联合IVIM参数单独和联合诊断BC的ROC特征

指标	AUC	SE	敏感度	特异度	截断值	95%CI	P
K^{trans}	0.856	0.026	75.38%	93.40%	0.42 min	0.805~0.898	<0.001
K_{ep}	0.815	0.029	77.69%	84.91%	0.75 min	0.759~0.862	<0.001
V_e	0.804	0.030	80.00%	70.75%	0.46	0.748~0.853	<0.001
ADC	0.828	0.028	77.69%	70.75%	$0.94 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$	0.774~0.874	<0.001
D	0.768	0.033	74.62%	76.42%	$0.63 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$	0.709~0.821	<0.001
D^*	0.774	0.029	53.08%	96.23%	$5.68 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$	0.715~0.826	<0.001
f	0.762	0.031	43.08%	93.40%	0.41	0.702~0.815	<0.001
联合诊断	0.902	0.021	85.38%	69.81%	-	0.861~0.944	<0.001

表4 不同分子分型BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数比较

组别	例数	$K^{trans}(\text{min})$	$K_{ep}(\text{min})$	V_e	ADC($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)
Luminal A型	44	$0.49 \pm 0.16^{* \#}$	$1.36 \pm 0.32^{* \#}$	$0.49 \pm 0.14^{* \#}$	$1.08 \pm 0.26^{* \#}$
Luminal B型	38	$0.47 \pm 0.12^{* \#}$	$1.32 \pm 0.29^{* \#}$	$0.40 \pm 0.11^{* \#}$	$0.89 \pm 0.17^{* \#}$
HER-2阳性型	18	$0.63 \pm 0.20^{\#}$	$1.55 \pm 0.17^{\#}$	$0.24 \pm 0.07^{\#}$	$0.73 \pm 0.12^{\#}$
三阴性	30	0.82 ± 0.27	1.69 ± 0.24	0.26 ± 0.09	0.71 ± 0.09
F值		24.560	12.615	34.731	28.477
P值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

续表4

组别	例数	$D(\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s})$	$D^*(\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s})$	f	MVD(个/0.2mm ²)	VEGF(%)
Luminal A型	44	$0.59 \pm 0.14^{* \#}$	$6.59 \pm 1.24^{* \#}$	$0.47 \pm 0.13^{* \#}$	$60.25 \pm 5.73^{* \#}$	$46.31 \pm 3.86^{* \#}$
Luminal B型	38	$0.52 \pm 0.17^{* \#}$	$6.63 \pm 1.08^{* \#}$	$0.38 \pm 0.10^{* \#}$	$59.81 \pm 4.50^{* \#}$	$45.94 \pm 4.05^{* \#}$
HER-2阳性型	18	$0.57 \pm 0.12^{\#}$	$6.71 \pm 0.78^{\#}$	$0.29 \pm 0.08^{\#}$	$71.24 \pm 8.76^{\#}$	$48.91 \pm 6.13^{\#}$
三阴性	30	0.40 ± 0.09	7.42 ± 0.65	0.20 ± 0.05	82.17 ± 8.20	59.37 ± 5.26
F值		84.799	4.683	16.081	86.745	60.255
P值		<0.001	<0.001	<0.001		

注：与HER-2阳性型患者比较，* $P < 0.05$ ；与三阴性患者比较，# $P < 0.05$ 。

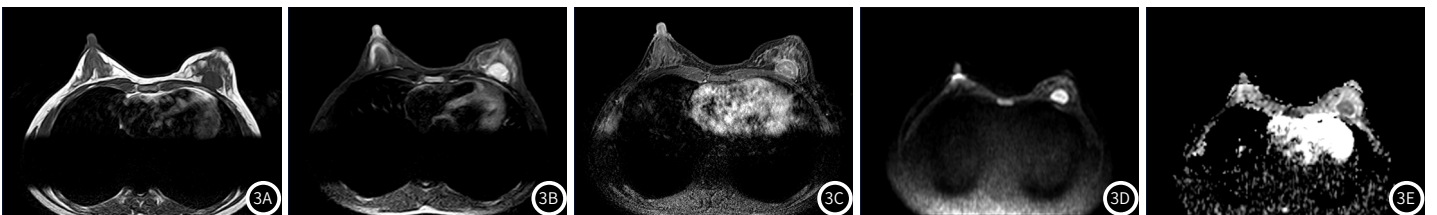


图3 HER-2阳性BC患者MRI图像。蔡某，女，49岁，左乳卵圆形肿块。病理检查为乳腺浸润性癌，HER-2阳性型，ER(-)，PR(-)，HER-2(3+)，Ki67(+，90%)。3A: T1WI呈等信号；3B: T2WI呈稍高/等信号；3C: DCE-MRI呈内部呈不均质强化；3D: DWI图， $b=800$ ，呈高信号；3E: IVIM图ADC呈低信号，ADC值约 $0.880 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ 。

表5 BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数与MVD、VEGF的相关性分析

分子亚型		K^{trans}	K_{ep}	V_e	ADC	D	D^*	f
Luminal A型	MVD	0.027	0.301*	-0.267*	-0.392*	-0.191	0.056	-0.019
	VEGF	0.134	0.182	-0.069	-0.267	-0.024	0.014	-0.137
Luminal B型	MVD	0.129	0.276*	-0.225*	-0.329*	-0.197	0.130	-0.116
	VEGF	0.083	0.130	-0.104	-0.142	-0.033	0.045	-0.059
HER-2阳性型	MVD	0.527**	0.108	-0.357	-0.493*	-0.426*	0.164	-0.046
	VEGF	0.118	0.443	-0.132	-0.036	-0.107	0.049	-0.057
三阴性	MVD	0.574**	0.491**	-0.467**	-0.454**	-0.025	0.469**	0.125
	VEGF	0.405**	0.427**	-0.449**	-0.406*	-0.063	0.413*	0.097

注: *为 $P<0.05$; **为 $P<0.001$ 。

3 讨论

BC是多种因素共同作用引起的乳腺上皮组织恶性肿瘤,也是临床建立分子分型诊断的高度异质性恶性肿瘤,早期发现、诊断和治疗是本病临床工作的重点^[9-10]。当前临床根据BC病理检查结果不同分为四种不同分子分型,治疗方案敏感度及预后评价存在较大差异,其早期诊断和分子分型确诊具有重要指导意义^[11]。MRI检查在BC定性诊断和分子分型评价中发挥了重要作用^[12],本研究主要探讨MRI动态增强、DWI联合IVIM参数对BC及其分子分型诊断价值。

本研究结果显示,BC组 K^{trans} 、 K_{ep} 和 D^* 均明显高于良性病变组, V_e 、ADC、D和f均明显低于良性病变组,说明DCE-MRI、DWI和IVIM参数有助于BC临床诊断。DCE-MRI可通过肿瘤组织微血管通透性变化和数量差异动态、定量检测BC组织内血流动力学,经血运将磁性对比剂分布于细胞外组织液内,其影响程度取决于毛细血管分布、血管壁通透性和血管外间隙大小^[13]。BC肿瘤组织呈现血流灌注丰富和高代谢状态,新生血管脆性增加和新生组织发育不完全,血管供血相对丰富,血管通透性增加,使 K^{trans} 、 K_{ep} 显著升高,快速发展使单个体素血管外细胞外空间减少,积导致 V_e 降低^[14]。DWI是无创性反映活体组织扩散的检查手段,可从水分子弥散角度间接反映肿瘤组织结构^[15]。IVIM通过双指数函数模型分析DWI图像,以D、 D^* 和f值区分组织内水分子扩散和毛细血管微循环关注情况。恶性肿瘤组织恶性上皮细胞和腺体呈现不规则紧密排列,使水分子扩散受限,D和f值明显降低^[16]。ROC曲线分析显示, K^{trans} 、 K_{ep} 、 V_e 、ADC、D、 D^* 和f联合诊断BC的AUC为0.902,敏感度为85.38%,高于各指标单独诊断的AUC和敏感度,说明DCE-MRI、DWI、IVIM参数联合检测对BC具有最佳诊断效能。

本研究结果显示,HER-2阳性型和三阴性BC患者 K^{trans} 、 K_{ep} 、 D^* 和MVD、VEGF水平最高,三阴性BC患者 V_e 、ADC、D和f值最低,说明HER-2阳性型和三阴性BC患者新生血管更为丰富,尤以三阴性更为显著,提示DCE-MRI、DWI联合IVIM参数可在一定程度对BC分子分型进行鉴别。BC的MRI表现由肿瘤分子生物学因素决定,确定其分子类型可指导临床诊断、个体化治疗和预后评估。HER-2阳性型和三阴性BC肿瘤病灶较其他分型血供更为丰富,肿瘤组织恶性程度高,侵袭性强,细胞增殖旺盛,密度增大间隙减少,ADC值显著降低^[17]。血管通透性增加随BC恶性程度增加呈现明显升高表现,间质液压和压力顺差随之增加,导致 K^{trans} 、 K_{ep} 、 D^* 值增加。肿瘤进展使微血管数量提高和细胞外血管外间隙空间降低,血管通透性随着肿瘤血管内皮分化程度减小,引起 V_e 、ADC、D和f值减小^[18-19]。BC肿瘤组织血管依赖性较强,MVD、VEGF与血管生成有关,是当前体现肿瘤组织血管生成及通透性的重要指标。三阴性BC特征为基底上皮分子标志物EGFR高表达及HER-2相关基因低表达,病理组织学分级较差,EGFR表达多为阳性^[20]。本研究发现,三阴性MVD、VEGF水平与 V_e 、ADC值负相关,与 K^{trans} 、 K_{ep} 、 D^* 正相关;HER-2阳性型MVD水平与 K^{trans} 呈正相关,与ADC值、D值呈负相关,而Luminal A型、Luminal B型BC患者MVD水平与 K_{ep} 呈正相关,与 V_e 、ADC呈负相关;HER-2阳性型和Luminal A型、Luminal B型VEGF水平与DCE-MRI、DWI、IVIM参数均无明显相关性。上述结果说明不同分子分型BC患者DCE-MRI、DWI、IVIM参数与其肿瘤微血管密

度、VEGF水平密切相关,证实DCE-MRI、DWI联合IVIM参数可在一定程度上辨别BC患者分子分型,可在临床进行推广应用。

综上所述,DCE-MRI、DWI联合IVIM参数在BC临床诊断和分子分型评估具有较好的诊断价值,为术前预测、治疗方案制定及预后评估提供了影像辅助诊断依据。本研究不足之处可能存在样本量少引起的选择偏倚,后续仍需加大样本量进行多中心联合深入研究加以补充。

参考文献

- [1] Katsura C, Ogunmwoyoni I, Kankam HK, et al. Breast cancer: presentation, investigation and management [J]. Br J Hosp Med (Lond), 2022, 83(2): 1-7.
- [2] Burstein HJ, Curigliano G, Thurlimann B, et al. Customizing local and systemic therapies for women with early breast cancer: the St. Gallen International Consensus Guidelines for treatment of early breast cancer 2021 [J]. Ann Oncol, 2021, 32(10): 1216-1235.
- [3] Corti C, Giugliano F, Nicolo E, et al. HER2-low breast cancer: a new subtype? [J]. Curr Treat Options Oncol, 2023, 24(5): 468-478.
- [4] Nicolò E, Tarantino P, Curigliano G. Biology and treatment of HER2-low breast cancer [J]. Hematol Oncol Clin North Am, 2023, 37(1): 117-132.
- [5] 崔葵, 刘永波, 曹钢. DCE-MRI时间-信号曲线联合扩散加权成像技术在乳腺癌不同分期评估中的价值 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(4): 91-93.
- [6] Fang S, Zhu J, Wang Y, et al. The value of whole-lesion histogram analysis based on field-of-view optimized and constrained undistorted single shot (FOCUS) DWI for predicting axillary lymph node status in early-stage breast cancer [J]. BMC Med Imaging, 2022, 22(1): 163-165.
- [7] 乔亚丽, 吕宛平. 乳腺癌MRI IVIM-DWI参数与p53, Ki-67表达状态的相关性及其诊断价值 [J]. 实用癌症杂志, 2023, 38(12): 2059-2062.
- [8] 中国研究型医院学会乳腺专业委员会中国女性乳腺癌筛查指南制定专家组. 中国女性乳腺癌筛查指南(2022年版) [J]. 中国研究型医院, 2022, 9(2): 6-13.
- [9] Jokar N, Velikyani I, Ahmadzadehfar H, et al. Theranostic approach in breast cancer: a treasured tailor for future oncology [J]. Clin Nucl Med, 2021, 46(8): 410-420.
- [10] 曹政, 张玉青, 方茜. 乳腺钼靶X线联合MRI在触诊阴性乳腺癌诊断中的临床价值 [J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(1): 71-72.
- [11] Dempsey N, Sandoval A, Mahtani R. Metastatic HER2-positive breast cancer: is there an optimal sequence of therapy [J]? Curr Treat Options Oncol, 2023, 24(9): 1120-1137.
- [12] 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.
- [13] 李勃, 田宏哲, 李莉, 等. 乳腺癌DCE-MRI表现及其与分子分型的相关性 [J]. 海南医学, 2022, 33(23): 3077-3080.
- [14] Nissan N, Anaby D, Mahameed G, et al. Ultrafast DCE-MRI for discriminating pregnancy-associated breast cancer lesions from lactation related background parenchymal enhancement [J]. Eur Radiol, 2023, 33(11): 8122-8131.
- [15] DeI Priore MR, Biswas D, Hippe DS, et al. Breast cancer conspicuity on computed versus acquired high b-value diffusion-weighted MRI [J]. Acad Radiol, 2021, 28(8): 1108-1117.
- [16] 汪林, 陈向荣, 许淑惠, 等. IVIM定量分析在不同分子分型乳腺癌鉴别诊断中的效果分析 [J]. 影像科学与光化学, 2020, 38(2): 368-375.
- [17] Horisawa N, Adachi Y, Takatsuka D, et al. The frequency of low HER2 expression in breast cancer and a comparison of prognosis between patients with HER2-low and HER2-negative breast cancer by HR status [J]. Breast Cancer, 2022, 29(2): 234-241.
- [18] 张樨, 黄昊, 尹亮, 等. 多模态MRI影像组学模型术前预测乳腺癌人表皮生长因子受体2表达状态 [J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(5): 428-437.
- [19] 卢祖坤, 曹雄峰, 刘慧慧. 基于乳腺X线的可疑钙化在乳腺癌分子分型诊断中的应用价值分析 [J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(12): 60-61.
- [20] 李杰, 李诗, 李芳, 等. 三阴性乳腺癌中AR, SOX10, EGFR和PD-L1的表达及临床意义 [J]. 临床与实验病理学杂志, 2021, 37(3): 344-347.

(收稿日期: 2024-09-09)

(校对编辑: 翁佳鸿)