

## 论 著

## IVIM-DWI联合动态增强MRI对前列腺癌诊断及分级的评估价值

湖北省天门市第一人民医院泌尿外科  
(湖北 天门 431700)

熊 标\* 朱 里

【摘要】目的 探究IVIM-DWI联合动态增强MRI对前列腺癌诊断及分级的评估价值。方法 选取2017年3月至2018年4月我院泌尿外科收治的42例前列腺癌患者作为研究对象,同期38例良性前列腺增生患者作为对照组。两组患者均进行IVIM-DWI、DCE-MRI检查,经图像后处理得IVIM-DWI参数真实扩散系数(D)、伪扩散系数(D\*)、灌注分数(f);DCE-MRI参数容量转移常数、速率常数、血管外细胞外间隙容积分数、血管空间容积分数。观察上述参数在前列腺癌及前列腺增生中表现,通过ROC曲线评价其诊断价值,同时按照前列腺癌Gleason评分进行分组,比较参数间差异。结果 观察组 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_p$ 、 $D^*$ 值高于对照组,而 $V_e$ 、 $D$ 、 $f$ 值明显低于对照组( $P<0.05$ )。DCE-MRI、IVIM-DWI各项定量参数诊断效能最高为 $D$ 、 $f$ 值。肿瘤Gleason评分越高, $K_{ep}$ 、 $f$ 值呈先大后小, $D$ 值减小, $D^*$ 值增大( $P<0.05$ )。结论 IVIM-DWI联合DCE-MRI有助于诊断前列腺癌与前列腺增生,且IVIM-DWI优于DCE-MRI,IVIM-DWI参数中 $D$ 值降低、 $D^*$ 值升高、 $f$ 值由大到小表示高级别前列腺癌。

【关键词】IVIM-DWI; DCE-MRI; 前列腺癌; Gleason评分

【中图分类号】R445.2; R737.25

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2021.05.029

## Assessment Value of IVIM-DWI Combined with Dynamic Enhanced MRI in the Diagnosis and Classification of Prostate Cancer

XIONG Biao\*, ZHU Li.

Department of Urology Surgery, The First People's Hospital of Tianmen, Tianmen 431700, Hubei Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To investigate the assessment value of IVIM-DWI combined with dynamic enhanced MRI in the diagnosis and classification of prostate cancer. **Methods** Forty-two patients with prostate cancer admitted to a Urological Surgery from March 2017 to April 2018 were enrolled as the subjects, and thirty-two patients with benign prostatic hyperplasia were used as a control group. IVIM-DWI and DCE-MRI were performed in both groups. The real diffusion coefficient, pseudo-diffusion coefficient, and perfusion fraction of IVIM-DWI parameters DCE-MRI parameter volume transfer Constant, rate constant, extravascular extracellular space volume fraction, vascular space volume fraction were obtained after image processing. The above parameters were observed in prostate cancer and benign prostatic hyperplasia. The diagnostic value was evaluated by the ROC curve. Simultaneously, grouping based on the Gleason score of prostate cancer, the differences between the parameters were compared. **Results** The values of  $K^{trans}$ ,  $K_{ep}$ ,  $V_p$ , and  $D^*$  in the observation group were significantly higher than those in the control group, while the values of  $V_e$ ,  $D$  and  $f$  were significantly lower than those in the control group ( $P<0.05$ ). The  $D$  and  $f$  values were the highest in diagnostic performances of various quantitative parameters of DCE-MRI and IVIM-DWI. The higher the tumor Gleason score, the larger the  $K_{ep}$  and  $f$  values increase then decrease,  $D$  value decreases and the  $D^*$  value increases ( $P<0.05$ ). **Conclusion** IVIM-DWI combined with DCE-MRI helps diagnose prostate cancer and benign prostatic hyperplasia, and IVIM-DWI is superior to DCE-MRI. The decreased IV value, the increased  $D^*$  value, and the gradually increased  $f$  value of the IVIM-DWI parameters represent high-class prostate cancer.

**Keywords:** IVIM-DWI; DCE-MRI; Prostate Cancer; Gleason Score

前列腺癌是临床泌尿外科常见泌尿生殖系统肿瘤疾病,其发病率与病死率逐年增加,术前及时有效的诊断有助于制定治疗方案及预后评价<sup>[1]</sup>。MRI是临床诊断前列腺癌主要检查方式,同时 $T_2WI$ 、 $T_1WI$ 增强扫描能够清晰显示肿瘤组织血管,前列腺含有丰富血供组织,一定程度上影响检出率<sup>[2]</sup>。动态增强MRI(dynamic enhanced MRI, DCE-MRI)有助于评估血流灌注及血管通透性,提高诊断准确率<sup>[3]</sup>。体素内不相干运动成像(intravoxel incoherent motion imaging, IVIM-DWI)作为新型MRI技术,利用无创、定量等优势,有助于评估组织内水分子扩散情况及微血管灌注情况,极大程度更新了前列腺癌诊断视角<sup>[4-5]</sup>。但目前临床对两种检查方式联合应用报道较少,基于此,本研究就我院泌尿外科收治的42例前列腺癌患者临床资料进行研究,旨在探讨IVIM-DWI联合DCE-MRI对前列腺癌诊断及分级的评估价值。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取2017年3月至2018年4月我院泌尿外科诊治的前列腺癌患者42例。42例疑似前列腺癌患者,年龄54~87岁,平均年龄(74.23±8.12)岁。同期38例良性前列腺增生患者作为对照组,年龄55~86岁,平均年龄(73.43±9.25)岁。两组患者上述一般资料比较差异无显著意义( $P>0.05$ )。参照Gleason评分系统5级分类原则,逐级加1分,第五级表示5分,代表癌灶无分化。参照Gleason评分将42例前列腺癌分为低危组(Gleason评分≤6分)11例,中危组(Gleason评分7分)14例,高危组

【第一作者】熊 标,男,主治医师,主要研究方向:泌尿外科相关疾病的诊断和治疗。E-mail: 250482785@qq.com

【通讯作者】熊 标

(Gleason评分8~10分)17例。经医院医学伦理委员会审核并通过。  
纳入标准：患者经前列腺MRI检查，初步诊断为前列腺癌；患者经穿刺术或手术病理确诊为前列腺癌；患者临床资料完整。

排除标准：患者近期有前列腺穿刺或前列腺手术史；患者既往确诊为前列腺癌；患者患有其他恶性肿瘤；患者依从性较差。

1.2 方法

1.2.1 MRI检查 采用3.0T MR扫描仪(美国GE公司, Discovery MR450)进行检查, 数据采集均通过8通道torsal相控阵表面线圈。(1)T<sub>2</sub>WI propeller 扫描, 范围: 轴位、冠状位及矢状位, 轴位行IVIM-DWI、DCE-MRI扫描, 参数: 重复时间7130ms, 回波时间110ms, 视野340mm×340mm, 矩阵352×352, 层厚4mm, 层间距0.5mm, 2次激发。(2)轴位IVIM-DWI序列, 单次激发自旋回波成像序列, 重复时间2000ms, 回波时间80ms, 15个不同的b值, 预制相对应的激励次数, 视野340mm×340mm, 矩阵128×160, 层厚

4mm, 层间距0.5mm, 带宽250kHz。(3)轴位DCE-MRI序列, 利用LAVA-XV序列, 重复时间2.9ms, 回波时间1.4ms, 反转角12°, 行轴位扫描, 矩阵224×192, 层厚4mm, 视野290mm×290mm, 每个期相6s, 共60个。马根维显为造影剂, 剂量15mL, 注射后20mL生理盐水冲管, 速率2.5mL/s。  
1.2.2 图像后处理 IVIM-DWI图像后处理: 经典双指数模型, 采用GE AW4.5后处理工作站分析图像, 计算真实扩散系数D、D\*、f值。据T<sub>2</sub>WI、DWI 序列、经直肠超声引导下穿刺病理结果, 设对应感兴趣区(避免囊变、坏死区域及较大钙化结节), 将感兴趣区面积呈现最大, 每个病灶感兴趣区选3个断面, 连续画3次, 取平均值, 见图1B。DCE图像后处理: 参照Extended Tofts 模型, 通过GE AW4.5后处理工作站获得K<sup>trans</sup>、K<sub>ep</sub>、V<sub>e</sub>、V<sub>p</sub>。据T<sub>2</sub>WI、DWI 序列、经直肠超声引导下穿刺病理结果, 设对应感兴趣区, 对应IVIM-DWI后处理过程中感兴趣区。其余同IVIM-DWI图像后处理, 见图1C。均由资深影像科医师进行, 排除意见不一致者。

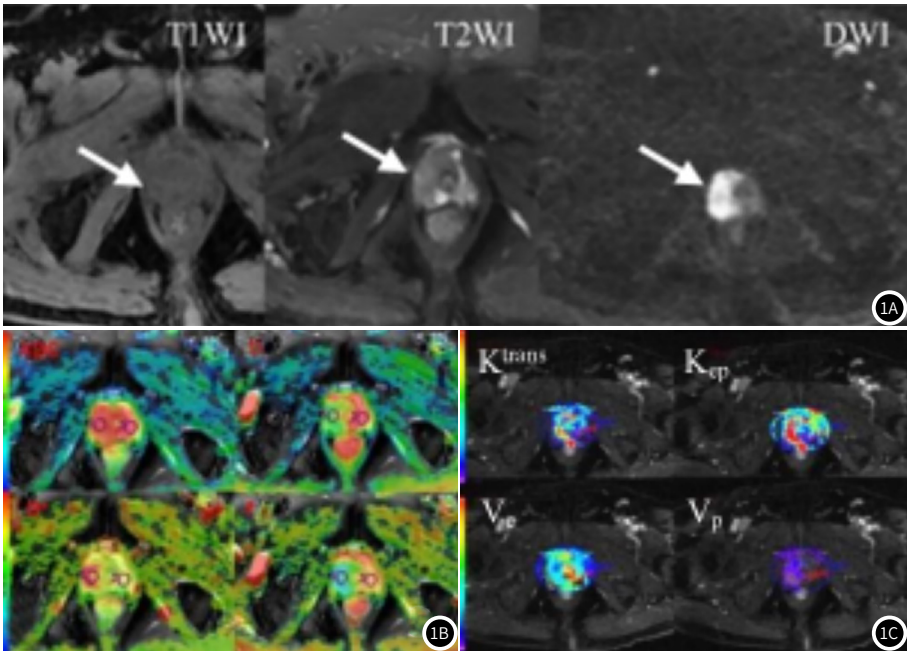


图1 DCE-MRI、IVIM-DWI图像。1A: 常规 T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI及DWI图, 右侧外周及底部(箭头)前列腺癌病灶; 1B: IVIM-DWI伪彩图; 1C: DCE-MRI相关参数伪彩图。

1.3 统计学方法 采用SPSS 20.0进行统计分析。计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )的形式表示, 组间采用t检验; 计数资料以“%”表示, 组间比较采用 $\chi^2$ 检验, 比较各参数在前列腺癌及前列腺增生中的差异, 并通过受试者工作特性曲线评估其诊断效能。记P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组DCE-MRI、IVIM-DWI各项定量参数比较 观察组K<sup>trans</sup>、K<sub>ep</sub>、V<sub>p</sub>、D\*值高于对照组, 而V<sub>e</sub>、D、f值低于对照组, 差异具有显著意义(P<0.05), 见表1。

表1 两组DCE-MRI、IVIM-DWI各项定量参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 组别        | DCE-MRI                  |                       |                |                | IVIM-DWI                                |                                          |           |
|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|-----------|
|           | K <sup>trans</sup> (min) | K <sub>ep</sub> (min) | V <sub>e</sub> | V <sub>p</sub> | D(×10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s) | D*(×10 <sup>-3</sup> mm <sup>2</sup> /s) | f         |
| 观察组(n=42) | 0.46±0.13                | 1.37±0.38             | 0.39±0.15      | 0.04±0.01      | 0.49±0.10                               | 6.79±1.76                                | 0.34±0.10 |
| 对照组(n=38) | 0.31±0.11                | 0.78±0.29             | 0.46±0.14      | 0.03±0.01      | 0.68±0.09                               | 4.03±1.39                                | 0.58±0.08 |
| t         | 5.587                    | 7.849                 | 2.158          | 4.466          | 8.944                                   | 7.820                                    | 11.905    |
| P         | <0.001                   | <0.001                | 0.033          | <0.001         | <0.001                                  | <0.001                                   | <0.001    |

**2.2 DCE-MRI、IVIM-DWI各项定量参数诊断价值** DCE-MRI、IVIM-DWI各项定量参数诊断效能由低到高为 $V_e$ 值、 $V_p$ 值、 $K^{trans}$ 值、 $D^*$ 值、 $K_{ep}$ 、 $D$ 、 $f$ 值,见表2,图2。

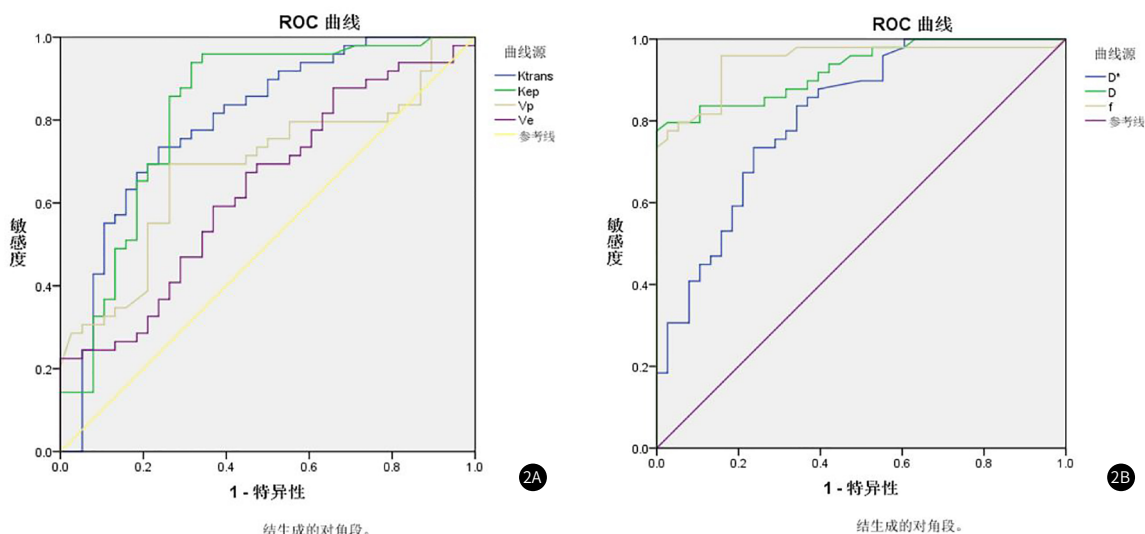
**表2 DCE-MRI、IVIM-DWI各项定量参数诊断价值**

| 参数                                        | 曲线下面积 | 截断点   | 敏感度(%) | 特异度(%) |
|-------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|
| DCE-MRI                                   |       |       |        |        |
| $K^{trans}(\text{min})$                   | 0.796 | 0.302 | 73.5   | 76.3   |
| $K_{ep}(\text{min})$                      | 0.820 | 1.020 | 93.9   | 69.4   |
| $V_e$                                     | 0.636 | 0.379 | 67.3   | 55.3   |
| $V_p$                                     | 0.658 | 0.022 | 69.4   | 73.7   |
| IVIM-DWI                                  |       |       |        |        |
| $D(\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s})$   | 0.927 | 0.570 | 77.6   | 100.0  |
| $D^*(\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s})$ | 0.813 | 4.957 | 73.5   | 76.3   |
| $f$                                       | 0.947 | 0.477 | 95.9   | 84.2   |

**2.3 Gleason评分低、中及高危组间各参数比较** Gleason评分各组 $K_{ep}$ 、 $D$ 、 $D^*$ 、 $f$ 值比较差异具有显著意义( $P<0.05$ );其中肿瘤Gleason评分越高, $K_{ep}$ 、 $f$ 值呈先大后小, $D$ 值减小, $D^*$ 值增大,见表3。

### 3 讨论

目前临床诊断前列腺癌影像学检查常规为CT、MRI及经直肠超声等,其中经直肠超声是临床诊断前列腺癌“金标准”;MRI具有高空间分辨率,DCE-MRI与IVIM-DWI有助于前列腺癌诊断、分级<sup>[6-8]</sup>。DCE-MRI有助于动态、定量检测前列腺组织内血流动力学,可见肿瘤组织微血管;通过Extended Tofts模型得到 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$ 、 $V_p$ 值; $K^{trans}$ 以表示血管壁通透性变化为主, $V_p$ 以表示组织内微血管数量差异为主<sup>[9-10]</sup>。本研究结果表明,观察组 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_p$ 值明显高于对照组,而 $V_e$ 值明显低于对照组。提示前列腺癌组织呈高代谢、血流灌注丰富,毛



**图2** DCE-MRI、IVIM-DWI鉴别诊断前列腺癌与良性前列腺增生ROC曲线。2A: DCE-MRI 各项参数 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$ 、 $V_p$ 鉴别诊断前列腺癌与良性前列腺增生ROC曲线; 2B: IVIM-DWI、 $D^*$ 、 $f$ 鉴别诊断前列腺癌与良性前列腺增生ROC曲线。

**表3 Gleason评分低危组、中危组及高危组间各参数比较( $\bar{x} \pm s$ )**

| 组别        | DCE-MRI                 |                      |                 |                 | IVIM-DWI                                |                                           |                 |
|-----------|-------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|
|           | $K^{trans}(\text{min})$ | $K_{ep}(\text{min})$ | $V_e$           | $V_p$           | $D(\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s})$ | $D^*(\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s})$ | $f$             |
| 低危组(n=11) | $0.43 \pm 0.16$         | $1.23 \pm 0.45$      | $0.42 \pm 0.18$ | $0.03 \pm 0.01$ | $0.54 \pm 0.11$                         | $4.73 \pm 2.18$                           | $0.36 \pm 0.10$ |
| 中危组(n=14) | $0.50 \pm 0.23$         | $1.70 \pm 0.50$      | $0.34 \pm 0.15$ | $0.04 \pm 0.02$ | $0.50 \pm 0.08$                         | $7.60 \pm 3.81$                           | $0.41 \pm 0.08$ |
| 高危组(n=17) | $0.47 \pm 0.19$         | $1.23 \pm 0.40$      | $0.42 \pm 0.14$ | $0.03 \pm 0.01$ | $0.47 \pm 0.12$                         | $8.50 \pm 4.09$                           | $0.31 \pm 0.09$ |
| t         | 0.39                    | 5.13                 | 1.25            | 2.33            | 79.43                                   | 3.80                                      | 4.80            |
| P         | 0.681                   | 0.010                | 0.297           | 0.110           | <0.001                                  | 0.031                                     | 0.013           |

细血管壁不足,血管通透性过大,且肿瘤发展较快,数目较多,使单个体素内血管外细胞外空间减少。

IVIM-DWI通过双指数函数模型分析不同b值下采集的DWI图像,获得 $D$ 、 $D^*$ 、 $f$ 值结果表明,观察组 $D$ 值明显低于对照组,说明不规则分布、紧密排列癌灶内恶性上皮细胞、腺体,抑制水分子扩散。且观察组 $D^*$ 值高于对照组,而 $f$ 值明显低于对照组,提示与b值范围及高b值联系密切。b值较小,扩散信号呈血液磁化,大部分小b值扩散对 $D^*$ 值表示微循环灌注有利<sup>[11]</sup>。有研究表明,最高b值 $\leq 750\text{s}/\text{mm}^2$ 条件下,前列腺癌f值

高于周围正常组织;但若最高b值 $>750\text{s}/\text{mm}^2$ 时,前列腺癌f值逐渐降低<sup>[12-13]</sup>。本研究发现,高b值条件下f值与血流灌注量、血管通透性联系密切。前列腺癌中毛细血管壁缺乏,肿瘤血管通透性较大,血管壁屏障作用逐渐减弱,促使部分血管内水分子扩散<sup>[14]</sup>。本研究计算出曲线下面积,得出IVIM-MRI各参数中 $D$ 、 $f$ 值具有较高诊断能力;DCE-MRI各参数中 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 处于中等诊断能力,其中 $K_{ep}$ 诊断力更高。 $K^{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$ 关系表达为 $K^{trans} = K_{ep} \times V_e$ ,肿瘤中 $V_e$ 值较低, $K^{trans}$ 无显著变化,所以 $K_{ep}$ 敏感性较强。既往对IVIM-DWI各参数对前列腺癌

诊断能力研究较少,且采取b值范围无系统标准,因此对横向分析较困难<sup>[15]</sup>。本研究结果表明,IVIM-DWI参数D、f值诊断效能高于DCE-MRI各定量参数,注射速度、患者间基础血流速度等不可控因素影响DCE-MRI扫描与图像处理,使各定量参数诊断效能下降。IVIM-MRI检测前列腺癌及良性前列腺增生更好。

Gleason病理分级系统为前列腺癌病理学分级系统,在临床应用较广,原则为肿瘤内腺体分化程度、肿瘤于间质生长方式<sup>[16]</sup>。有研究表示,扩散系数值对判断低、中、高危前列腺癌具有重要意义,而IVIM各参数比较无统计意义,可能与设置b值较低相关<sup>[17]</sup>。本研究结果表明,肿瘤Gleason评分越高, $K_{ep}$ 、f值呈先大后小,D值减小,D\*值增大。肿瘤在早期到中期过程中,间质液压伴随血管通透性增加而增加,但未到抑制血管内外被动扩散中的截断点,血管内与血管外为压力顺差, $K_{ep}$ 值增加;肿瘤进展增加了肿瘤细胞,提高了微血管数量,降低了细胞外血管外间质空间,间质液压至截断点,进而动扩散机制 $K_{ep}$ 值降低;血管通透性随着肿瘤血管内皮分化程度减小,高危组中f逐渐减小<sup>[18-20]</sup>。

综上所述,IVIM-DWI联合DCE-MRI有助于诊断前列腺癌与前列腺增生,且IVIM-DWI优于DCE-MRI,IVIM-DWI参数中D值降低、D\*值升高、f值由大到小表示高级别前列腺癌。

## 参考文献

- [1]方孙福,周晓燕,罗朝军,等.动态增强MRI结合DWI对前列腺癌的诊断价值分析[J].医学影像学杂志,2017,27(1):186-188.
- [2]Jiang J,Xiao Z,Tang Z,et al.Differentiating between benign and malignant sinonasal lesions using dynamic contrast-enhanced MRI and intravoxel incoherent motion.[J].Eur J Radiol,2018,98(23):7-13.
- [3]王书健,郑春生,黄柿兵,等.前列腺癌磁共振动态增强联合波谱成像的诊断价值[J].中国CT和MRI杂志,2017,15(8):102-104.
- [4]Mao X J,Zou X X,Ning Y,et al.Quantitative evaluation of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging (IVIM) for differential diagnosis and grading prediction of benign and malignant breast lesions:[J].Medicine (Baltimore),2018,97(26):e11109.
- [5]曾俊杰,邓巧玲,李胜,等.高b值DWI联合DCE-MRI对前列腺癌的诊断价值[J].中国医刊,2018,11(8):911-915.
- [6]Lefrançois P,Zummosoucy M,Olivier D,et al.Diagnostic performance of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging and dynamic contrast-enhanced MRI for assessment of anal fistula activity.[J].PLoS One,2018,13(1):e0191822.

- [7]王蕊,班允清,李春媚,等.阿尔茨海默病脑磁共振氨基质子转移成像与临床心理量表评分的相关性研究[J].磁共振成像,2018,9(3):161-165.
- [8]Zhang L,Hu J,Guys N,et al. Diffusion-weighted imaging in relation to morphology on dynamic contrast enhancement MRI:the diagnostic value of characterizing non-puerperal mastitis:[J].Eur Radiol,2018,28(3):992-999.
- [9]马向征,王世威,许茂盛,等.DCE-MRI联合DWI定量分析在前列腺癌诊断中的应用价值[J].浙江医学,2017,39(1):7-11.
- [10]Dijkstra H,Oudkerk M,Kappert P,et al.Assessment of the link between quantitative biexponential diffusion-weighted imaging and contrast-enhanced MRI in the liver[J].Magn Reson Imaging,2017,38(Complete):47-53.
- [11]赵华为,张立东,王玉杰,等.超声造影和磁共振增强在前列腺癌诊断中的价值分析[J].新疆医科大学学报,2017,40(4):447-451.
- [12]Pesapane F,Patella F,Fumarola E M,et al.Intravoxel incoherent motion (IVIM) diffusion weighted imaging (DWI) in the periferic prostate cancer detection and stratification[J].Med Oncol,2017,34(3):35.
- [13]吴娜娜,苟杰,胡炜,等.MR-DWI联合TRUS在前列腺癌诊断及Gleason分级中的应用[J].医学临床研究,2018,23(3):456-458.
- [14]Liu Z C,Yan L F,Hu Y C,et al.Combination of IVIM-DWI and 3D-ASL for differentiating true progression from pseudoprogression of Glioblastoma multiforme after concurrent chemoradiotherapy:study protocol of a prospective diagnostic trial[J].BMC Med Imaging,2017,17(1):10.
- [15]左孟哲,赵文露,魏超刚,等.3.0T多参数磁共振成像第二版前列腺影像报告与数据系统诊断评分联合前列腺特异性抗原密度在前列腺癌诊断中的应用[J].中华医学杂志,2017,97(47):3698.
- [16]Cao J,Xiao L,He B, et al.Diagnostic value of combined diffusion-weighted imaging with dynamic contrast enhancement MRI in differentiating malignant from benign bone lesions[J].Clin Radiol,2017,72(9):1129.
- [17]尹雪军,刘林,牛富业,等.3.0T磁共振多b值DWI及动态增强在前列腺癌诊断中的价值[J].中国数字医学,2017,12(6):79-81.
- [18]Ma D,Lu F,Zou X,et al.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 breast lesions[J].Magn Reson Imaging,2017,36(23):175-179.
- [19]陈松,赵明增,杨如武,等.非增强MRI及扩散加权成像对成人前列腺癌诊断价值的Meta分析[J].河北医学,2018,24(7):1165-1169.
- [20]林文聪,熊伟坚.动态增强MRI联合DWI诊断前列腺癌的临床价值[J].广西医科大学学报,2018,35(9):116-119.

(收稿日期:2019-08-04)