

· 胸部影像学 ·

自由呼吸 Star-VIBE 序列动态增强 MRI 联合 DWI 在孤立性肺结节诊断中的应用

冯会, 时高峰, 刘辉, 匡婕

【摘要】 目的:采用自由呼吸 Star-VIBE 动态增强 MRI 的血流动力学渗透性参数联合 DWI 序列评价孤立性肺结节 (SPN), 并探讨其在良恶性鉴别诊断及肺癌分型中的应用价值。**方法:**搜集本院 2017 年 7 月—2018 年 10 月行 MRI 常规平扫、DWI 和动态增强 MRI 的 SPN 病例 56 例, 其中恶性结节 32 例, 良性结节 24 例。测量结节的 MRI 平扫信号强度, DCE-MRI 定量参数 (Ktrans、Kep、Ve) 及 ADC 值。采用 Mann-Whitney *U* 检验和 Kruskal-Wallis *H* 检验比较不同序列信号强度、DCE-MRI 定量参数、ADC 值在良恶性两组间及不同病理类型肺癌间的差异。采用 ROC 曲线评价各测量参数的诊断效能, 并进行观察者间一致性比较。**结果:**恶性组 Ktrans、Kep 值高于良性组, 恶性组 ADC 值小于良性组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 两组 Ve 值差异无统计学意义。肺腺癌 Ktrans 值高于肺鳞癌及肺小细胞癌, 三组间两两比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。Ve 值在非小细胞癌与小细胞癌两组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 肺腺癌和肺鳞癌的 Ve 值差异无统计学意义。以 ADC 值 $1.12 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 为阈值, 诊断良恶性的敏感度和特异度为 83.3% 和 84.4%, 联合 ADC 值和 Ktrans 值诊断良恶性的特异性和敏感性分别为 93% 和 84%。Ktrans 和 Ve 取 0.12/min 和 0.25 时, AUC 为 0.830 和 0.867, 区分非小细胞肺癌和小细胞肺癌的敏感度分别为 88.9% 和 78.7%, 特异度分别为 80% 和 80%。**结论:**DCE-MRI 定量参数和 ADC 值是鉴别孤立性肺结节良恶性和区分不同病理类型的重要定量参数, 联合应用可以提高诊断效能。

【关键词】 孤立性肺结节; 动态增强磁共振; 扩散加权成像

【中图分类号】 R445.2; R734.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)07-0855-06

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.07.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application of free-breathing Star-VIBE sequence dynamic enhanced MRI combined with DWI in the diagnosis of solitary pulmonary nodules FENG Hui, SHI Gao-feng, LIU Hui, et al. Department of CT/MRI, the Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to evaluate solitary pulmonary nodule (SPN) by using the hemodynamic permeability parameters of free-breathing Star-VIBE dynamic enhanced MRI combined with DWI sequence, and to investigate its application value in the differential diagnosis of benign and malignant and the classification of lung cancer. **Methods:** A total of 56 cases with SPNs (32 malignant, 24 benign) receiving routine MRI routine scan, DWI and dynamic enhanced MRI in our hospital from July, 2017 to October, 2018 were collected. The MRI signal intensity, quantitative parameters of DCE-MRI (Ktrans, Kep, Ve) and ADC values of the nodules were measured. Mann-Whitney *U* test and Kruskal-wallis *H* test were used to compare the differences in signal intensity of different sequences, quantitative parameters of DCE-MRI, and ADC value between benign and malignant groups, as well as different pathological types of lung cancer. The diagnostic performance of each measurement parameter was evaluated by ROC curve, and the agreement between observers was compared. **Results:** Ktrans and Kep values were higher, and ADC values were lower in the malignant group, than those in the benign group with significant difference ($P < 0.05$). Through the comparison among the lung cancers of different pathological types, Ktrans value of adenocarcinoma was higher than that

作者单位: 050011 石家庄, 河北医科大学第四医院 CT 磁共振科

作者简介: 冯会 (1984—), 女, 河北衡水人, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事肿瘤影像诊断工作。

通讯作者: 时高峰, E-mail: gaofengs62@sina.com

of squamous cell carcinoma and small cell carcinoma, and the difference among the three groups was statistically significant ($P < 0.05$). The V_e value was significantly different between the non-small cell carcinoma group and the small cell carcinoma group ($P < 0.05$), while the difference between adenocarcinoma and squamous cell carcinoma was not statistically significant. With ADC value of $1.12 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ as the threshold, the sensitivity and sensitivity of the diagnosis of benign and malignant were 83.3% and 84.4%, and the specificity and sensitivity of the combined ADC value and K_{trans} value in the diagnosis of benign and malignant were 93% and 84%, respectively. When K_{trans} and V_e were 0.12/min and 0.25, the AUC was 0.830 and 0.867, respectively, the sensitivity to distinguish non-small cell lung cancer and small cell lung cancer was 88.9% and 78.7%, and the specificity was 80% and 80%, respectively. **Conclusion:** DCE-MRI quantitative parameters and ADC value were important quantitative parameters to differentiate benign and malignant solitary pulmonary nodules and distinguish different pathological types. The combination of the two can improve the diagnostic performance.

[Key words] Solitary pulmonary nodules; Dynamic enhanced MRI; Diffusion weighted imaging

孤立性肺结节(solitary pulmonary nodules, SPN)的诊断和鉴别诊断一直是影像学关注的重要内容,临床中常应用 CT 形态学和强化特点进行鉴别,但某些病变的影像表现往往存在异病同影。近年来,随着 MRI 技术和后处理软件的不断更新和发展,肺部 MRI 的应用越来越广泛^[1-2],动态增强(dynamic contrast-enhanced, DCE)MRI 通过评估病变血供和间质的特点,可以为良恶性鉴别提供有价值的信息,但是会受到心脏及呼吸伪影的影响。容积内插屏气检查(volumetric interpolated breath-hold examination, VIBE)成像时间短,信噪比和空间分辨力高,已经应用于多个部位的扫描。Star-VIBE 序列是三维梯度序列,运动伪影低,在自由呼吸下进行扫描^[3-5]。本研究旨在应用 Star-VIBE DCE-MRI 联合 DWI 序列分析 SPN 内部的血流动力学、水分子扩散运动情况,探讨其在结节良恶性鉴别及肺癌分型中的应用价值。

材料与方法

1. 临床资料

搜集 2017 年 7 月—2018 年 10 月 CT 检查发现的肺内实性 SPN 患者 56 例,男 32 例,女 24 例,年龄 20~75 岁,平均 53 ± 11.25 岁。入组标准:①实性 SPN,直径范围 1~3 cm;②结节内无坏死、钙化、空洞;③检查前未接受过放化疗及穿刺检查。排除标准:①体内有金属置入物;②图像质量差,存在较重的伪影,影响数据测量。所有病例均经手术或穿刺活检确诊, MRI 检查与手术间隔时间不超过 1 周。本组中恶性病变 32 例,良性病变 24 例,其中 39 例经手术证实, 17 例经穿刺活检证实。

2. MRI 检查方法

使用 Siemens MAGNETOM Skyra 3.0T 磁共振扫描仪,18 通道相控阵体线圈。患者检查前禁食 4~

6 h。嘱患者仰卧,头先进,双手置于身体两侧。线圈中心对准胸骨下缘水平,外加呼吸门控。扫描前训练患者呼吸。常规序列参数:横轴面 T_2 -BLADE 序列:TR 4000 ms, TE 79 ms, 层厚 3 mm, FOV 380 mm;横轴面 T_1 -VIBE 序列:TR 6.65 ms, TE 3.17 ms, 层厚 3 mm, FOV 420 mm;轴位 T_2 -HASTE 序列:TR 1600 ms, TE 96 ms, 层厚 4 mm, FOV 380 mm;DWI 序列, b 值选取 $800 \text{ s}/\text{mm}^2$ 。DCE-MRI 采用 Star-VIBE 序列,患者平静呼吸下完成,先采集 2 个翻转角横轴面图像, TR 6.65 ms, TE 3.17 ms, 层厚 2 mm, FOV 420 mm, 翻转角为 3° 和 15° ,注射对比剂后进行无间隔重复扫描,共 36 期,扫描时间共 250 s。对比剂注射流率 3 mL/s,剂量 0.1 mmol/kg,再以相同流率注射 0.9% 的生理盐水 20 mL。

3. 图像后处理及参数分析

平扫信号值测定:选择结节最大层面测量信号强度值,同时测量同层面胸背部肌肉信号值作为参考值,计算结节与肌肉信号比值。

ADC 值测量:将 DWI 序列图像数据传输至后处理工作站,在 ADC 图像上参照 DWI 及 T_2 WI 图像选取病灶最大层面,沿病灶的轮廓勾划兴趣区(region of interest, ROI)。测量 ADC 值,3 次测量取平均值。

DCE-MRI 定量参数测定:采用 Siemens syngo MultiModality Workplace 后处理工作平台上进行,将动态增强图像导入 Tissues 4D 软件内,首先对图像进行运动校正,选取药代动力学双室模型(Tofts 模型);选取病变的最大层面,沿病灶轮廓手动勾划病灶 ROI,通过模型计算得到反映肿瘤内部灌注特性的定量参数:容积转移常数(volume transfer coefficient, K_{trans}),血管外间隙容积比(extravascular space volume fraction, V_e),速率常数(rate constant, K_{ep})。ROI 选取强化明显的区域,避开坏死囊变、血管区域,

测量 3 次取平均值。

ADC 图及 DCE-MRI 图像中 ROI 区域的选择由两名有 5 年以上影像诊断经验的高年资医师参考 T₁WI、T₂WI 及 DWI 序列图像分别测量,以两名医生测量值的平均值作为最终的参数值。

4. 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。计量资料采用均数±标准差表示, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。计数资料采用卡方检验。计量资料采用 Mann-Whitney *U* 检验和 Kruskal-Wallis *H* 检验。比较 DCE-MRI 各测量指标、ADC 值在良恶性两组间及肺癌不同病理类型间的差异。采用 ROC 曲线比较各测量指标的诊断效能。通过计算组内相关性系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评价两名医师测量参数的一致性。

结 果

1. 手术及病理结果

56 例 SPN 患者中:24 例良性,其中错构瘤 6 例,结核瘤 6 例(图 1),增生性炎症 8 例,硬化性肺泡细胞瘤 2 例,肉芽肿性炎 2 例;32 例恶性,其中鳞癌 9 例,腺癌 18 例(图 2),小细胞癌 5 例。结节大小 1.2~3 cm,平均直径(2.4±0.6) cm。

2. MRI 常规平扫信号比较

良恶性两组 T₁WI、T₂WI 病灶信号值差异无统计学意义(表 1)。

表 1 良恶性两组病变常规平扫信号比较

序列	良性	恶性	Z 值	P
T ₁ -VIBE	0.68±0.30	0.73±0.34	-0.58	0.562
T ₂ -BLADE	1.45±0.74	1.03±0.44	-1.733	0.076
T ₂ -HASTE	2.34±1.33	2.47±1.35	-0.063	0.508

3. DCE-MRI 定量参数及 ADC 值比较

恶性组 Ktrans、Kep 值高于良性组,两组间差异有统计学意义($P<0.05$)。Ve 值两组间差异无统计学意义($P>0.05$)。恶性组 ADC 值低于良性组,两组间差异有统计学意义($P<0.05$,表 2、3)。

表 2 良恶性两组病变 DCE-MRI 定量参数及 ADC 值比较

参数	恶性	良性	Z 值	P
Ktrans(/min)	0.25±0.16	0.10±0.09	-4.688	0.000
Kep(/min)	0.80±0.58	0.31±0.16	-4.389	0.000
Ve	0.45±0.20	0.41±0.25	-0.778	0.436
ADC(×10 ⁻³ mm ² /s)	1.02±0.25	1.26±0.25	-2.874	0.004

肺鳞癌、肺腺癌、肺小细胞癌定量参数及 ADC 值比较,Ktrans 值在三组间两两比较差异有统计学意义($P<0.05$),Ve 值在非小细胞肺癌和肺小细胞癌间差异有统计学意义($P<0.05$)。Kep 值和 ADC 值在三组间差异无统计学意义。

表 3 不同病理类型肺癌 DCE-MRI 定量参数及 ADC 值比较

参数	肺鳞癌	肺腺癌	肺小细胞癌
Ktrans(/min)	0.16±0.13 ^a	0.30±0.20 ^{a b}	0.08±0.02
Kep(/min)	0.60±0.27	0.61±0.57	0.48±0.19
Ve	0.55±0.20 ^a	0.50±0.20 ^a	0.16±0.08
ADC(×10 ⁻³ mm ² /s)	0.91±0.10	1.01±0.25	0.78±0.14

注: * 与肺小细胞癌比较,差异有统计学意义($P<0.05$);b 与肺鳞癌比较,差异有统计学意义($P<0.05$)

4. 各定量参数诊断效能比较

ADC 值取 1.12×10^{-3} mm²/s 时,AUC 为 0.903,诊断结节良恶性的敏感度和特异度分别为 83.3%和 84.4%。联合应用 ADC 值和 Ktrans 值,敏感度和特异度分别为 93%和 84%(表 4)。

表 4 各定量参数区分良恶性诊断效能比较

参数	阈值	AUC	敏感度	特异度
Ktrans(/min)	0.33	0.836	78.1%	80%
Kep(/min)	0.52	0.860	81.3%	87.5%
ADC(×10 ⁻³ mm ² /s)	1.12	0.903	83.3%	84.4%

Ktrans 和 Ve 分别取 0.12/min 和 0.25 时,AUC 为 0.830 和 0.867,区分非小细胞肺癌和小细胞肺癌的敏感度分别为 88.9%和 80%,特异度分别为 78.7%和 80%。

5. 图像质量及参考指标一致性检验

两名医师对 Ktrans、Kep、Ve、ADC 值测量的一致性较好,ICC 分别为 0.938、0.923、0.912、0.940 ($P<0.05$)。

讨 论

SPN 的诊断临床上主要通过 CT 形态学和强化特点进行鉴别,对于表现不典型的结节往往会导致误诊。近年来 MRI 技术在胸部疾病的应用不断发展,特别是功能成像方面,可以提供形态学以外的定量测量指标,在肺结节的鉴别诊断方面显示出潜在的应用价值^[6]。

肺结节的强化程度和方式与其血流灌注、血流量、毛细血管表面积、血管通透性和血管外间隙等因素有关^[7-9]。与良性结节相比,恶性结节新生毛细血管网丰富,血流量大,渗透性高,毛细血管表面积大,DCE-MRI 的血流动力学参数(包括 Ktrans、Kep、Ve 等)可以反映这些血流动力学的改变^[10-11]。Ktrans 值与单位体积内的血流量、渗透性和血管面积有关^[12],恶性肿瘤的血供丰富,不成熟血管多,内皮细胞往往不完整,造成 Ktrans 值的增高^[13]。Kep 主要反映对比剂从血管外细胞外间隙回到血浆的速率,新生血管的细胞外间隙增大,会导致 Kep 值增高。Chen 等^[14]应用自由呼吸下 DCE-MRI 评估结节的结果显示,恶性结节的 Ktran 和 Kep 值均高于良性结节,差异具有统计学意义($P<0.05$)。本研究结果显示肺癌的 Ktrans 和 Kep 值高于良性病灶,Ktrans 及 Kep 值在良、恶性两

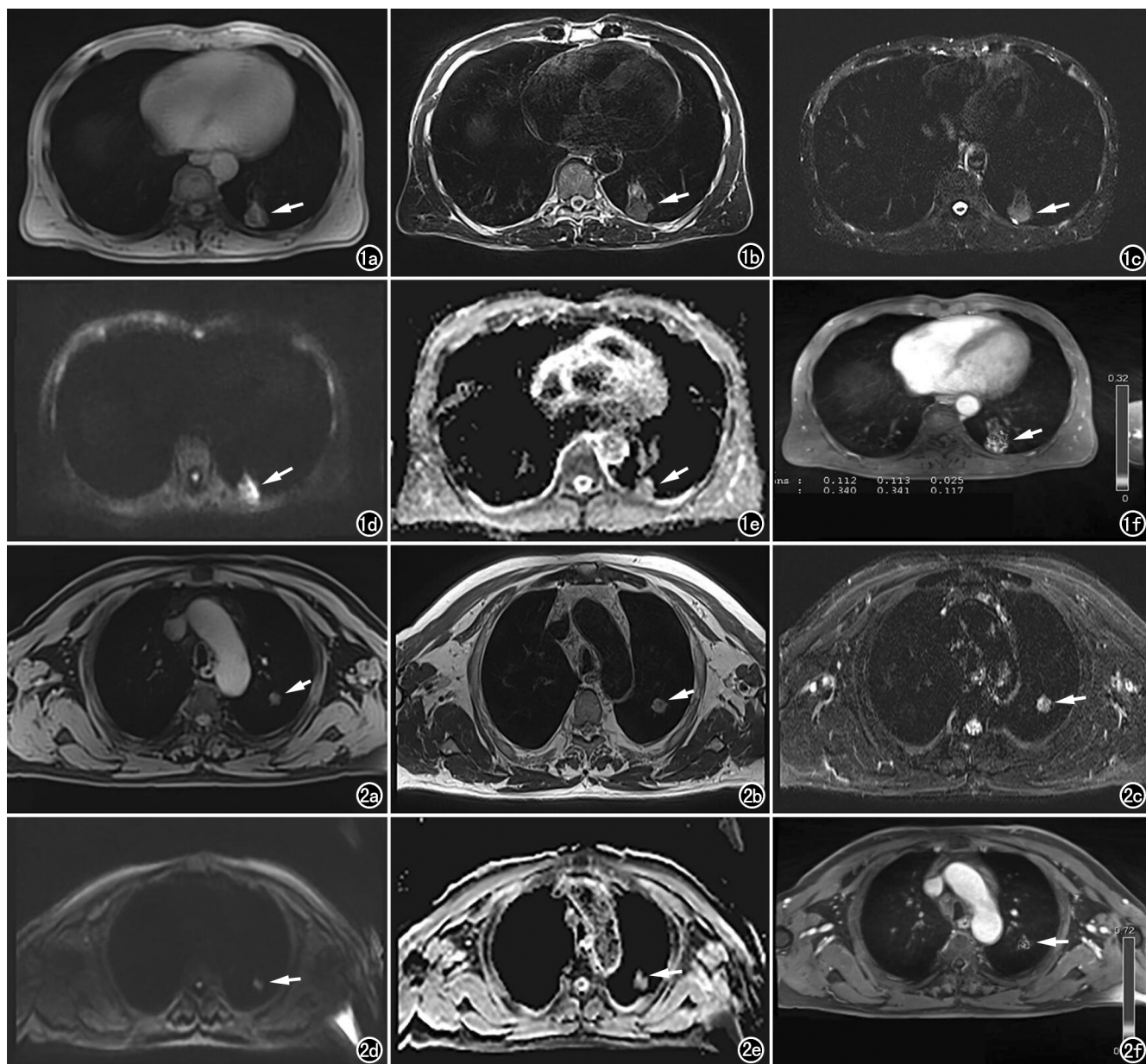


图 1 男, 69 岁, 肺结核。a) T_1 -VIBE 序列示左肺下叶后基底段结节呈等低信号; b) T_2 -HASTE 序列示病灶呈稍高信号, 大小约 2.5cm; c) T_2 -BLADE 序列示病灶呈稍高信号; d) DWI 序列示病灶呈稍高信号; e) ADC 图 ($b=800\text{s/mm}^2$) 示病灶呈稍低信号, ADC 值 $1.3 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; f) 灌注图测量 Ktrans、Kep 及 Ve 值分别为 0.113/min、0.341/min 及 0.372。 图 2 男, 67 岁, 肺腺癌。a) T_1 -VIBE 序列示左肺上叶尖后段结节呈等低信号, 大小约 1.5cm; b) T_2 -HASTE 序列示病灶呈稍高信号; c) T_2 -BLADE 序列示病灶呈稍高信号; d) DWI 序列示病灶呈稍高信号; e) ADC 图 ($b=800\text{s/mm}^2$) 示病灶呈稍低信号, ADC 值 $0.87 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; f) 灌注图测量 Ktrans、Kep 及 Ve 值分别为 0.504/min、0.762/min 及 0.681。

组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 与以往的研究结果一致^[15-16]。ROC 曲线分析结果显示 Ktrans 和 Kep 分别取 0.33/min 和 0.52/min 时, AUC 分别为 0.836 和 0.860。Ve 反映血管外细胞外间隙占整体体素的容积百分比, 在良恶性两组中差异无统计学意义。

肺癌的 DCE-MRI 增强模式反映了肿瘤血管生成的程度, Ktrans 值与微血管密度 (MVD) 积分呈正相关^[17], 可以反映不同病理类型肺癌间微血管灌注和渗

透性的差异, 以往的研究表明腺癌的 MVD 多高于鳞癌^[18]。Ve 和组织细胞坏死程度呈正相关, 反映了血管外-细胞外间隙容积和肿瘤细胞排列构成的差异^[19]。腺癌多沿肺泡壁替代式生长, 鳞癌多为压缩式增殖生长, 小细胞癌多为小圆形细胞构成, 细胞密集, 导致细胞外间隙狭小。库雷志等^[20]研究显示 Ktrans、Kep、Ve 值在小细胞肺癌和非小细胞肺癌间差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 非小细胞癌高于小细胞癌, 腺癌

的 K_{trans} , K_{ep} , V_e 值高于鳞癌。本研究结果显示, K_{trans} 及 V_e 值在小细胞癌和非小细胞癌间差异有统计学意义, 非小细胞肺癌高于小细胞肺癌, K_{tran} 值在腺癌及鳞癌间差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 腺癌高于鳞癌。ROC 曲线分析显示, 当 K_{trans} 及 V_e 分别取 0.12/min 和 0.25 时, K_{trans} 的诊断效能高于 V_e 。

DWI 可以组织中微观结构和细胞内外水分子的扩散运动, ADC 值的高低与细胞密度和构成, 细胞通透性, 血流灌注的程度相关。本研究结果显示, 良恶性两组间 ADC 值差异有统计学意义, ADC 取 $1.12 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时, AUC 为 0.903, 诊断良恶性的敏感度和特异度分别为 83.3% 和 84.4%, 说明恶性结节肿瘤细胞排列紧密, 扩散受限明显, 与以往 93% 和 84%。不同类型肺癌三组间比较差异无统计学意义, 可能与病例数较少有关。

Star-VIBE 序列在三维 K 空间填充采用放射状中心重叠方式, K 空间中心的过采样对运动信息有很好的平均效应, 提高图像的信噪比和对比度^[23]。李武超等^[4]研究结果显示 Star-VIBE 序列对于不同屏气能力患者均可获得较好的图像质量。应用 Star-VIBE 序列 DCE-MRI 分析在一定程度上减少了由于患者心跳和呼吸所造成的伪影对数据不稳定的影响, 保证定量分析结果的准确性和稳定性, 因此本序列适用于呼吸配合不佳的患者。本研究结果显示 DCE-MRI 定量参数观察者间的一致性较好, 研究结果可靠性更高。

本研究仍存在一些不足, 患者样本数量较少, 可能需要增加病例数进一步证实, 另外 DWI 序列在肺尖部存在伪影会影响部分病灶显示和测量。

综上所述, Star-VIBE 序列 DCE-MRI 动态增强扫描联合 ADC 值可以更全面评估孤立性肺结节的影像特点, 提高良恶性病变及肺癌病理类型的诊断和鉴别诊断的准确性, 有较高的临床应用价值。

参考文献:

- [1] 李小雪, 蒲红, 尹芳艳, 等. 肺结节的诊疗新进展[J]. 放射学实践, 2019, 34(5): 578-582.
- [2] 侯巧茹, 钟玉敏. MRI 新技术在肺及气道病变中的应用研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2017, 40(2): 157-160.
- [3] Azevedo RM, de Campos RO, Ramalho M, et al. Free-breathing 3D T_1 -weighted gradient-echo sequence with radial data sampling in abdominal MRI: preliminary observations[J]. AJR, 2011, 197(3): 650-657.
- [4] 李武超, 王頌, 郑念华, 等. 常规三维容积内插屏气检查序列与自由呼吸 StarVIBE 序列 T_1 WI 肝脏图像质量对比[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(7): 1094-1098.
- [5] 明星, 杨艳, 田冲, 等. 对比 Star-容积内插屏气检查序列与常规容积内插屏气检查序列胎儿脑图像质量[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(12): 1874-1878.
- [6] 夏艺, 范丽, 刘士远, 等. 肺癌 MR 功能成像的研究进展[J]. 国际医

- 学放射学杂志, 2018, 4(4): 422-426.
- [7] 卢光明. 动态对比增强 MRI 的应用与进展[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(5): 406-409.
- [8] Fujimoto K, Abe T, Muller NL, et al. Small peripheral pulmonary carcinomas evaluated with dynamic MR imaging: correlation with tumor vascularity and prognosis[J]. Radiology, 2003, 227(3): 786-793.
- [9] Schaefer JF, Schneider V, Vollmar J, et al. Solitary pulmonary nodules: association between signal characteristics in dynamic contrast enhanced MRI and tumor angiogenesis[J]. Lung Cancer, 2006, 53(1): 39-49.
- [10] Huang W, Chen YY, Fedorov A, et al. The impact of arterial input function determination variations on prostate dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging pharmacokinetic modeling: a multicenter data analysis challenge[J]. Tomography, 2016(2): 56-66.
- [11] 冯峰, 夏淦林, 曹鹏, 等. 动态对比增强 MRI 及 PET-CT 在孤立性肺结节良恶性鉴别诊断中的价值[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(10): 736-740.
- [12] Sourbron SP, Buckley DL. On the scope and interpretation of the Tofts models for DCE-MRI[J]. Magn Reson Med, 2011, 66(3): 735-745.
- [13] 李春媚, 陈敏, 李飒英, 等. 3.0T MR 动态增强扫描定量分析诊断前列腺癌的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(1): 50-54.
- [14] Chen L, Liu D, Zhang J, et al. Free-breathing dynamic contrast enhanced MRI for assessment of pulmonary lesions using golden-angle radial sparse parallel imaging[J]. J Magn Reson Imaging, 2018, 48(2): 459-468.
- [15] 焦志云, 胡春洪, 杜芳, 等. 磁共振动态增强联合多 b 值扩散加权成像鉴别诊断肺部良恶性病变的价值[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(2): 239-243.
- [16] Yuan M, Zhang YD, Chan Z, et al. Comparison of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging with dynamic contrast-enhanced MRI for differentiating lung cancer from benign solitary pulmonary lesions[J]. J Magn Reson Imaging, 2016, 43(3): 669-679.
- [17] 宋媛, 丁爽, 贾文霄. DCE-MRI 评价肿瘤血管生成的实验研究[J]. 放射学实践, 2014, 29(6): 640-643.
- [18] 邹煜, 张敏鸣, 王丽君, 等. 肺癌 MRI 动态增强模式与肿瘤血管生成的相关性研究[J]. 中华放射学杂志, 2003, 37(12): 1150-1155.
- [19] Choi HS, Kim AH, Ahn SS, et al. Glioma grading capability: comparisons among parameters from dynamic contrast-enhanced MRI and ADC value on DWI[J]. Korean J Radiol, 2013, 14(3): 487-492.
- [20] 库雷志, 马明平, 俞顺, 等. DCE-MRI 在肺癌不同类型的诊断价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2016, 24(2): 100-105.
- [21] 朱婵, 俞同福. 快速反转恢复序列和多 b 值 DWI 序列鉴别肺结节的良恶性[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(5): 751-754.
- [22] 任进军, 赵宝宏, 菅学荣, 等. 磁共振 DCE 和 DWI 联合评价孤立性肺结节的临床意义[J]. 中国临床医学影像学杂志, 2015, 26(8): 574-580.
- [23] Weiss J, Taron J, Othman AE, et al. Feasibility of self-gated isotropic radial late-phase MR imaging of the liver[J]. Eur Radiol, 2017, 27(3): 985-994.