

论 著

MRI多b值DWI定量参数诊断实性肺结节良恶性的价值研究*

于 博 钱伟军* 李 立
赵 文

开封市中心医院影像科 (河南 开封 475000)

【摘要】目的 探讨MRI多b值DWI定量参数对实性肺结节良恶性的诊断价值。方法 分析本院经手术、穿刺活检及随访证实80例实性肺结节的临床及MRI资料为研究对象, 恶性肺结节50例, 良性30例。80例患者均行MRI多b值DWI序列检查, b值选取300、600、900、1200s/mm²。计算不同b值肺结节的表观弥散系数(ADC)值及DWI图像上测量病灶/脊髓信号比值(LSR)、病灶/骨骼肌信号比值(LMR)。符合正态分布的计量资料, 采用组间t检验比较良恶性实性肺结节DWI各参数的差异, 对于统计学分析有差异的参数, 采用ROC并计算出AUC, 分析DWI各参数诊断实性肺结节良恶性的诊断效能, 获取最佳b值和阈值。结果 b值选取300、600、900、1200s/mm²时, 恶性肺结节ADC值均低于良性肺结节, 差异有统计学意义(P<0.05), ROC曲线的AUC分别为0.672、0.714、0.850、0.728。且b值取900 s/mm²时, ADC值的诊断效能最大, 鉴别诊断肺结节良恶性病变的阈值为 1.29×10^{-3} mm²/s。b值选取300、600、900s/mm²时, 恶性肺结节LSR高于良性肺结节, 差异有统计学意义(P<0.05), b值选取1200s/mm²时, 恶性肺结节LSR与良性肺结节的参数差异无统计学意义(P>0.05), ROC曲线的AUC分别为0.721、0.948、0.737。当b值取600 s/mm²时, LSR的诊断效能最大, 鉴别诊断肺结节良恶性病变的阈值为0.36。b值选取300、600、900、1200s/mm²时, 恶性肺结节LMR与良性肺结节各参数差异无统计学意义(P>0.05)。结论 MRI多b值DWI定量参数鉴别实性肺结节良恶性有较高的价值, b值取600 s/mm²时, LSR的诊断效能最大, 其次b值取900s/mm²时, ADC值的诊断效能最大。

【关键词】DWI定量参数; 良性肺结节; 恶性肺结节; 鉴别诊断价值。

【中国分类号】R8

【文献标识码】A

【基金项目】开封市科技发展规划项目(2203078); 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20220654)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.022

Study on the Value of MRI Multiple B-value DWI Quantitative Parameters in Diagnosis of Benign and Malignant Solid Pulmonary Nodules*

YU Bo, QIAN Wei-jun*, LI Li, ZHAO Wen.

Department of Imaging, Kaifeng Central Hospital, Kaifeng 475000, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of MRI multi-B value DWI quantitative parameters in diagnosis of benign and malignant solid pulmonary nodules. **Methods** The clinical and MRI data of 80 cases of solid pulmonary nodules confirmed by operation, puncture biopsy and follow-up were analyzed as the study objects, including 50 cases of malignant pulmonary nodules and 30 cases of benign pulmonary nodules. All 80 patients underwent MRI multi-B-value DWI sequence examination, and b values were selected as 300, 600, 900, and 1200s/mm². The apparent diffusion coefficient (ADC) values of pulmonary nodules with different B-values were calculated, and lesion/spinal cord signal ratio (LSR) and lesion/skeletal muscle signal ratio (LMR) were measured on DWI images. For measurement data consistent with normal distribution, inter-group T-test was used to compare the differences in DWI parameters of benign and malignant solid pulmonary nodules. For parameters with statistical differences, ROC was used and AUC was calculated to analyze the diagnostic efficiency of DWI parameters in diagnosing benign and malignant solid pulmonary nodules, and the optimal B-value and threshold were obtained. **Results** When 300, 600, 900 and 1200s/mm² were selected, ADC values of malignant pulmonary nodules were lower than those of benign pulmonary nodules, with statistical significance (P<0.05), and AUC of ROC curve were 0.672, 0.714, 0.850 and 0.728, respectively. When b value is 900 s/mm², ADC value has the highest diagnostic efficiency, and the threshold for differential diagnosis of benign and malignant pulmonary nodules is 1.29×10^{-3} mm²/s. When b value was selected as 300, 600, 900s/mm², LSR of malignant pulmonary nodules was higher than that of benign pulmonary nodules, the difference was statistically significant (P<0.05); when b value was selected as 1200s/mm², there was no statistically significant difference between LSR of malignant pulmonary nodules and benign pulmonary nodules (P>0.05). The AUC of ROC curve were 0.721, 0.948 and 0.737, respectively. When b value was 600 s/mm², the diagnostic efficacy of LSR was the highest, and the threshold for differential diagnosis of benign and malignant pulmonary nodules was 0.36. b value when 300, 600, 900 and 1200s/mm² were selected, there was no significant difference in LMR parameters between malignant pulmonary nodules and benign pulmonary nodules (P>0.05). **Conclusion** MRI multi-B-value DWI quantitative parameters have high value in differentiating benign and malignant solid pulmonary nodules. When b value is 600s/mm², the diagnostic efficacy of LSR is the highest, and then when b value is 900s/mm², the diagnostic efficacy of ADC is the highest.

Keywords: DWI Quantitative Parameters; Benign Pulmonary Nodules; Malignant Pulmonary Nodules; Differential Diagnostic Value

肺癌居我国恶性肿瘤发病率和死亡率的首位^[1], 严重危害人民生命健康。随着多排螺旋CT和人工智能筛查, 肺结节的检出率明显提高, 但是, 对于肺结节的定性诊断具有一定局限性。评价手段比较单一, 主要是定期随访和CT增强, CT定期随访有潜在的辐射危险, CT增强扫描敏感性较好, 特异性有限^[2]。磁共振扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI), 可反应体内组织水分子运动特点, 在头颈及腹部良恶性肿瘤的定性诊断上具有较好的临床价值^[3]。随着MRI技术的发展, 肺结节DWI诊断技术的应用逐步开展。因此, 本研究通过比较MRI不同b值DWI定量参数诊断实性肺结节良恶性的差异, 探讨不同b值DWI定量参数对实性肺结节良恶性的鉴别诊断价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 选取2021年9月至2023年9月经开封市中心医院病理组织及随访证实的50例恶性实性肺结节(肺腺癌37例、鳞癌7例、小细胞肺癌6例)和30例良性肺结节(结核12例、炎性结节14例、隐球菌4例)为研究对象。恶性肺结节病例中男性22例, 女性28例, 年龄38-81岁, 平均年龄(60.86±7.30)岁; 良性肺结节病例中男性12例, 女性18例, 年龄34-85岁, 平均年龄(61.47±8.22)岁。

纳入标准: 实性肺结节最大直径≥10mm, 但≤30mm; 无MRI检查禁忌症, 配合检查者; 病理结果明确或随访证实。排除标准: 纯磨玻璃和混合磨玻璃肺结节; 图像磁敏感伪影较重, 影响诊断者; 接受放、化疗治疗者; 有其它恶性肿瘤病史, 远处转移者。患者及家属均知情同意并签字。

1.2 研究方法 采用佳能3.0核磁共振扫描仪, 嘱患者仰卧位, 呼吸训练, 使用8通道相控阵体表线圈, 扫描范围肺尖至肺底, (1)扫描冠状面FSE T2WI单次激发, TR2400ms, TE77.9ms, 矩阵288×288, FOV 360mm×360mm, 层厚6.0mm, 层间距5.0mm

【第一作者】于 博, 女, 主治医师, 主要研究方向: 胸部影像诊断。E-mail: 3271795250@qq.com

【通讯作者】钱伟军, 男, 主任医师, 主要研究方向: 影像综合诊断。E-mail: 3029175291@qq.com

扫描。(2)横断面抑制脂肪序列T1WI, TR5.1ms, TE1.2ms, 矩阵288×288, FOV 400mm×400mm, 层厚5.0mm, 层间距1.0mm扫描。(3)横断面抑制脂肪序列T2WI, TR2200ms, TE84ms, 矩阵288×288, FOV 400mm×400mm, 层厚5.0mm, 层间距1.0mm扫描。不同b值DWI序列(b值=300、600、900、1200 s/mm², TR2207ms, TE60ms, 矩阵288×288, FOV 400mm×400mm, 层厚5.0mm, 层间距1.0mm)扫描。

1.3 图像分析 由两位高年资有经验的核磁共振诊断医师采用双盲法在后处理工作站独立阅片, 意见不一致时, 请科主任会诊, 共同商讨达到意见一致。将DWI图像通过工作站后处理, 参考T2WI、DWI图像, 确定肺结节最大层面, 在相应的ADC图像上手勾画出感兴趣区(regions of interest, ROI), 避开钙化、坏死、出血、伪影等。测量ADC值, 取3次测量平均值。选择不同b值相对应的DWI图像上肺结节信号强度最高的层面, 沿着肺结节边缘勾勒ROI, 测出肺结节信号强度值; 同样的方法在同一层面测量出脊髓信号强度值和正常骨骼肌信号强度值, 通过以下公式算出LSR值及LMR值。

[1]LSR=SI_{Lesions}/SI_{spinal cord}, 即在DWI图像上、同层面病灶信号强度(signal-intensity of lesions, SI_{Lesions})与脊髓信号强度(signal-intensity of spinal cord, SI_{spinal cord})之比。

[2]LMR=SI_{Lesions}/SI_{skeletal muscle}, 即在DWI图像上、同层面病灶信号强度(signal-intensity of lesions, SI_{Lesions})与正常骨骼肌信号强度(signal-intensity of skeletal muscle, SI_{skeletal muscle})之比。

1.4 统计学方法 采用SPSS 26.0软件, 计量资料符合正态分布的以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 采用独立样本t检验比较; 符合偏

态分布, 则使用Mann-Whitney U检验。对于统计学有差异的参数, 采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线比较不同参数对肺结节良恶性病变的诊断效能。诊断效能包括诊断的敏感性(sensitivity, Se)、特异性(specificity, Sp)绘制ROC曲线图, 选取最佳阈值, 获取曲下面积(AUC)特异度、敏感度。以P<0.05差异有统计学意义。

2 结果

2.1 MRI不同b值条件下实性肺结节良恶性ADC值比较 不同b值条件下恶性肺结节组的ADC值均低于良性结节组(P<0.05, 表1)。应用ROC曲线图对不同 b值条件下ADC值诊断实性肺结节良恶性效能分析。当b值为300、600、900、1200s/mm²条件下ADC值诊断良恶性结节的AUC分别为0.672、0.714、0.850及0.728, b值为900s/mm²时ADC值的ROC的AUC最大, 此时以ADC值 $1.29 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 作为阈值的诊断效能最高(诊断敏感性为0.64、诊断特异性为0.97)(表2, 图1, 图3-4)。

2.2 MRI不同b值条件下实性肺结节良恶性LSR值比较 b值为300、600、900s/mm²条件下恶性肺结节LSR值均高于良性结节(P<0.05), 当b值为1200s/mm²时恶性肺结节LSR值与良性结节比较差异无统计学差异(P>0.05)(表3)。应用ROC曲线图对不同 b值条件下LSR值诊断实性肺结节良恶性效能分析。当b值为300、600、900s/mm²条件下LSR值诊断良恶性结节的AUC分别为0.721、0.948、0.737, 结果显示b值为600s/mm²时LSR值的ROC的AUC最大, 此时以LSR值0.36 作为阈值的诊断效能最高(诊断敏感性为0.94、诊断特异性为0.87)(表4, 图2)。

2.3 MRI不同b值实性肺结节良恶性LMR值比较 不同b值条件良恶性实性肺结节组的LMR值比较差异无统计学差异(P>0.05)(表5)。

表1 MRI不同b值条件下良恶性实性肺结节组的ADC值比较

组别	ADC值			
	b=300	b=600	b=900	b=1200
恶性结节	2.06±0.62	1.56±0.50	1.23±0.52	1.25±0.46
良性结节	2.42±0.55	2.05±0.74	1.95±0.50	1.52±0.43
t	-2.629	-3.214	-6.030	-2.559
P	0.01	0.002	<0.001	0.012

表3 MRI不同b值条件下良恶性实性肺结节组LSR比较

组别	LSR值			
	b=300	b=600	b=900	b=1200
恶性结节	0.74±0.54	0.80±0.45	0.90±0.69	1.05±0.83
良性结节	0.39±0.17	0.27±0.08	0.45±0.18	0.59±0.40
t	3.382	6.302	3.465	2.807
P	0.001	<0.001	0.001	0.006

表2 MRI不同b值条件下ADC值良恶性实性肺结节诊断效能分析

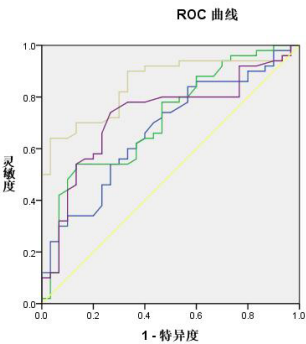
参数	AUC	最佳界值(阈值)	敏感度	特异度
b300	0.672	1.96	0.54	0.74
b600	0.714	1.37	0.54	0.87
b900	0.850	1.29	0.64	0.97
b1200	0.728	1.31	0.74	0.74

表4 MRI不同b值条件下 LSR值良恶性实性肺结节诊断效能分析

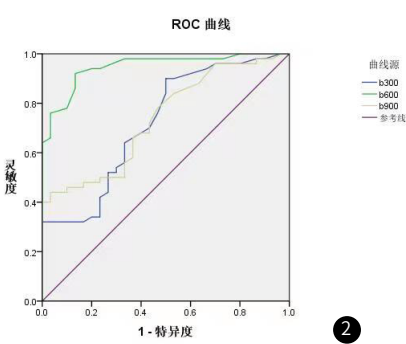
参数	AUC	最佳界值(阈值)	敏感度	特异度
b300	0.721	0.35	0.90	0.50
b600	0.948	0.36	0.94	0.87
b900	0.737	0.75	0.44	0.97

表5 MRI不同b值条件良恶性实性肺结节组的LMR值比较

组别	LMR值			
	b=300	b=600	b=900	b=1200
恶性结节	1.57±0.51	1.82±0.51	1.89±0.66	2.01±0.67
良性结节	1.40±0.44	1.61±0.54	1.67±0.54	1.75±0.48
t	1.481	1.724	1.501	1.859
P	0.143	0.089	0.138	0.067



1



2

图1 MRI不同b值条件下ADC值的ROC曲线分析。图2 MRI不同b值条件下LSR值的ROC曲线分析。

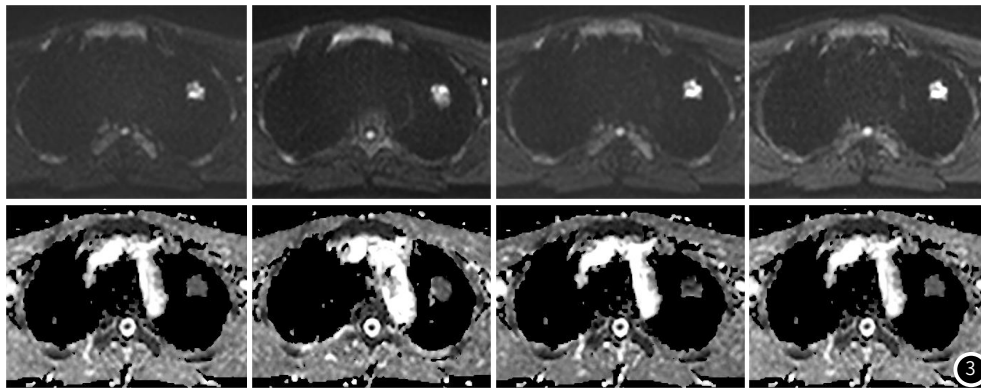


图3 典型病例。患者，男性，68岁，肺腺癌。当第一排b值从左到右分别为300、600、900、1200s/mm²时，病变DWI随b值升高，第二排从左到右随着b值增加，ADC值减低。

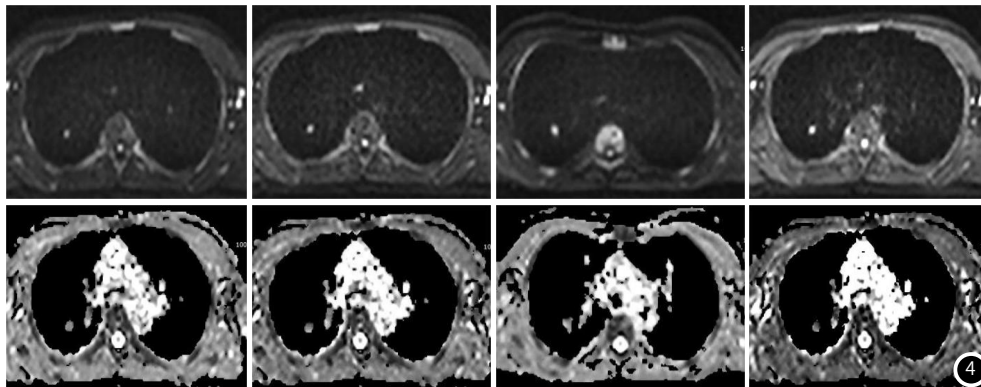


图4 典型病例。患者，女性，73岁，肺炎性结节。当第一排b值从左到右分别为300、600、900、1200s/mm²时，病变DWI随b值升高。第二排从左到右随着b值增加，ADC值未见明显减低。

3 讨论

肺癌早期表现为肺结节，肺结节分为纯磨玻璃结节、混合磨玻璃结节和实性肺结节。实性肺结节较其它肺结节恶性程度高、转移早、生存率低^[4]。因此实性肺结节的早期诊断尤为重要。DWI在实性脏器恶性肿瘤的定性诊断已被广泛认可^[5]。随着MRI技术的发展，在自由均匀呼吸下也能获取高质量的胸部DWI图像^[6]。由于肺质子密度低、心脏和呼吸运动、磁化率影响，纯磨玻璃结节及较小混合磨玻璃结节敏感性尚不理想^[7]；b值可以由操作者控制系数，目前还无法参考最佳的b值^[8]，因此，本研究通过比较不同b值DWI定量参数诊断实性肺结节良恶性的差异，探讨DWI定量参数对实性肺结节良恶性的鉴别诊断价值。

本研究在不同b值(b值为300、600、900、1200s/mm²)条件下恶性肺结节ADC值均低于良性肺结节，差异有统计学意义(P<0.05)，与国内外文献^[8-12]报道一致，说明恶性肿瘤细胞较大，细胞外间隙减小，细胞外水分子扩散受限，ADC图像表现为低信号；而良性病变水分子扩散相对不受限制，ADC图像信号相对于恶性病变呈高信号。但与国内外文献^[8-12]报道的诊断效能、最佳b值及ADC的阈值有差异，可能与MR设备场强、成像序列、参数及肺结节的类型、大小、ADC测量有关。本研究显示随着b值的增加，恶性肺结节ADC逐渐降低，当b值1200s/mm²时降低不明显，所以并不是b值越大越好。本研究结果当b值为900时ADC值的ROC的AUC最大，此时以ADC值 $1.29 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 作为阈值的诊断效能最高(诊断敏感性为0.64、诊断特异性为0.97)。Liu等^[11]认为DWI的信号强弱对鉴别良恶性肺部病变无明显差异。马波等^[13]研究显示不同b值条件下DWI鉴别良恶性肺结节有差异。还有研究者认为DWI对炎性结节或较小的良恶性肺结节鉴别有一定的局限性^[14]，DWI也受诸多因素的影响，如b值的选择，T2透过效应。本研究选择不同b值条件下肺结节良恶性LSR值比较。结果显示b值选取300、600、900s/mm²时，恶性肺结节LSR高于良性肺结节，差异有统计学意义(P<0.05)，ROC曲线的AUC分别为0.721、0.948、0.737。且b值取600 s/mm²时，LSR的诊断效

能最大，鉴别诊断肺结节良恶性病变的阈值为0.36。与国内外文献^[15-17]报道LSR鉴别良恶性肺结节有较高价值一致，但与诊断效能、最佳b值及LSR的阈值有差异。有研究者认为不同b值，阈值及诊断效能也不同^[18]。洪琴等^[19]报道良恶性肺结节的LSR差异不显著。笔者认为可能与肺结节类型、大小有关。纯磨玻璃结节及较小混合磨玻璃结节、实性肺结节测量时易受心脏和呼吸运动、磁化率及容积效应的影响；还与恶性肺结节的病理类型、分化程度、分期有关。本研究显示b值选取1200s/mm²时，恶性肺结节LSR与良性肺结节差异无统计学意义(P>0.05)，分析原因是b值越高，图像信噪比降低，对信号强度的测量可能会有误差。由于胸髓体积小，DWI信号强度可能受到脑脊液信号的干扰，本研究选取不同b值条件下肺结节良恶性LMR值比较，结果显示肺结节良恶性LMR值比较差异无统计学意义(P>0.05)。Liu等^[11]报道LMR鉴别肺部良恶性结节和肿块没有统计学意义，周舒畅等^[20]报道LMR对于肺部良恶性病变的鉴别有统计学意义。分析原因本研究恶性组6例小细胞肺癌DWI呈稍高-高信号，余44例鳞癌和腺癌DWI呈稍高-等信号，良性组结核12例、炎性结节14例呈稍高-高信号、隐球菌4例呈稍高-等信号，以胸壁肌肉为参照物时，信号强度测量相对准确。可能与病变的病理类型有关，还需要加大样本量，对照病理进一步研究。

本研究的局限性：(1)样本量少，研究结果可能会有影响，需扩大样本量进一步研究；(2)仅比较ADC的平均值，未纳入ADC的最大值和最小值；(3)仅比较肺结节的良恶性，未对病理分化程度、分期等进一步比较研究。

综上所述，DWI定量参数ADC和LSR能够鉴别实性肺结节良恶性病变，b值取600 s/mm²时，LSR的诊断效能最大，其次b值取900s/mm²时，ADC值的诊断效能最大。能为临床鉴别实性肺结节良恶性病变提供参考依据。

(参考文献下转第81页)

参考文献

- [1] Egel RL, Miller KD, Fuchs SHE, et al. Cancer statistics, 2022. *J. Clin. Oncol*, 2022, 72 (1): 7-33.
 - [2] 汪汉林, 李自凯, 梁奕, 等. DWI联合DCE-MRI对鉴别孤立性肺结节良恶性的诊断价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (5): 37-39.
 - [3] Koh DM, Collins DJ. Diffusion-weighted MRI in the body: applications and challenges in oncology[J]. *AJR*, 2007, 18: 1622-1635.
 - [4] Ye T, Deng L, Wang S, et al. Lung adenocarcinomas manifesting as radiological part-solid nodules define a special clinical subtype[J]. *J Thorac Oncol*, 2019, 14 (4): 617-627.
 - [5] Shen G, Jia Z, Deng H. Apparent diffusion coefficient values of diffusion-weighted imaging for distinguishing focal pulmonary lesions and Characterizing the subtype of lung cancer: a meta-analysis[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26, 26 (2): 556-566.
 - [6] 蒋杨, 潘江峰, 应明亮, 等. 肺结节磁共振扩散加权成像技术优化[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2014, 20: 385-388.
 - [7] 中华医学会呼吸病学分会. 早期肺癌诊断中国专家共识 (2023年版) [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2023, 46 (1): 1-18.
 - [8] 杨磊, 王惠芳, 张凤翔. 高场MRI多b值DWI在肺部占位性病变诊断中的应用研究[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2021, 19 (5): 436-439.
 - [9] 潘江峰, 应明亮, 李惠民, 等. 肺结节的3T多b值磁共振扩散加权成像鉴别诊断[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2015, 21 (6): 533-537.
 - [10] 李伟栋, 李东, 刘海东, 等. 3.0T MR扩散加权成像对肺实性良恶性病变的鉴别诊断效能及 b值优化探讨[J]. 中国肺癌杂志, 2011, 14: 853-857.
 - [11] Liu H D, Liu Y, Yu TL, et al. Usefulness of diffusion-weighted MR imaging in the evaluation of pulmonary lesions[J]. *Eur Radiol*, 2010, 20: 807-815.
 - [12] Matoba M, Tonami H, Kondou T, et al. Lung carcinoma: diffusion-weighted MR imaging-preliminary evaluation with apparent diffusion coefficient[J]. *Radiology*, 2007, 243 (2): 570-577.
 - [13] 马波, 陈均, 朱进, 等. 采用MR扩散加权成像鉴别良、恶性孤立性肺结节病变的可靠性研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (1): 70-71.
 - [14] Chen Gx, Wang MH, Zheng T, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for the detection of metastatic lymph nodes in patients with lung cancer: A meta-analysis[J]. *Mol Clin Oncol*, 2017, 6 (3): 344-354.
 - [15] 翁静飞, 曾奇虎, 姚丁华, 等. 磁共振DWI检查在肺内良恶性病变鉴别诊断中的价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2020, 26 (1): 23-28.
 - [16] Nomori H, Cong Y, Sugimura H, et al. Comparing diffusion-weighted imaging and positron emission tomography for pulmonary nodules measuring from 1 to 3 cm in size[J]. *Surg Today*, 2015, 45 (12): 1535-1541.
 - [17] Ohno Y, Kauczor H U, Hatabu H, et al. MRI for solitary pulmonary nodule and mass assessment: current state of the art[J]. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2018, 47 (Suppl 2): 1654-1656.
 - [18] 顾晓雯, 崔磊. 单、双指数模型扩散加权成像鉴别肺结节和肿块良恶性的研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52 (3): 236-239.
 - [19] 洪琴, 江建芹, 崔磊, 等. 单、双指数模型DWI在良恶性肺结节鉴别诊断中的应用[J]. 放射学实践, 2018, 33 (12): 1256-1260.
 - [20] 周舒畅, 夏黎明, 吴维, 等. 单b值磁共振DWI对肺部良恶性病变的诊断价值[J]. 放射学实践, 2016, 31 (8): 728-733.
- (收稿日期: 2023-11-30)

(校对编辑: 姚丽娜)

(收稿日期: 2023-11-30)
(校对编辑: 姚丽娜)