

动态增强 MRI 在肺部结块病变中的诊断价值

周舒畅, 李志伟, 夏黎明, 王玉锦, 吴维

【摘要】 目的:探讨动态增强 MRI 在肺部结块样病变中的诊断价值。方法:66 例经病理证实的肺结块样病变患者(恶性病变 50 例,良性病变 16 例)行常规 MRI 平扫及动态增强(DCE-MRI)检查,绘制时间-信号强度增强比曲线(TIC),并测量 DCE-MRI 参数:最大增强比(MER)、达峰时间(T_{max})、平均强化斜率(SLE)、最大强化斜率(SS)和廓清率。结果:本组病变的 TIC 分为 4 种类型:速升-下降型(A 型)仅见于恶性肿瘤;速升-平台型和持续缓升型在良恶性结节中均可见,无明显强化型仅见于良性病变。肺鳞癌和小细胞癌的主要强化方式为环状强化,而腺癌为不均匀强化。DCE-MRI 参数中,良性组 T_{max} 明显较恶性组长($P < 0.001$),SLE 明显小于恶性组($P = 0.002$)。 T_{max} 对良恶性病变的鉴别最具价值,临界值取 280s 时其诊断敏感度、特异度和符合率分别为 88.0%、63.5% 和 76.5%。结论:DCE-MRI 能提供肺结节血流动力学方面的信息,对肺部良恶性肿瘤的鉴别诊断具有较高价值。

【关键词】 肺结节; 肺肿瘤; 磁共振成像; 动态增强扫描; 强化特征; 血流动力学; 鉴别诊断

【中图分类号】 R445.2; R735.7 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)04-0401-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.04.022

Diagnostic value of dynamic contrast enhanced MRI in pulmonary nodules or masses. ZHOU Shu-chang, LI Zhi-wei, XIA Li-ming, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: The aim of this study was to investigate the value of dynamic contrast-enhanced MRI (DCE-MRI) in the diagnosis of pulmonary nodules or masses. **Methods:** A total of 66 patients with pulmonary nodules (50 cases with malignant nodules, 16 cases with benign lesions) proved by pathology underwent both conventional unenhanced and DCE-MRI scan. Time to contrast enhancement ratio curve (TIC) was obtained, and hemodynamic parameters including maximum CER (MER), time at the peak enhancement ratio (T_{max}), mean slope of enhancement (SLE), steepest slope (SS) and washout ratio were measured. **Results:** TICs in this study can be divided into four types; type A of rapid peak-descending pattern was only found in malignant lesions; type B of rapid peak-plateau pattern could be seen in benign and malignant nodules; type C of gradual increase pattern was mainly seen in benign group and few in malignant tumors; type D of flat pattern was only found in benign lesions. The main enhancement pattern of pulmonary small cell carcinoma and squamous carcinoma was ring-like enhanced. Heterogeneous enhancement was found in pulmonary adenocarcinoma. In the hemodynamic parameters, only T_{max} of benign group was significantly longer, and SLE of benign group was significantly lower compared with malignant group with significant statistical difference ($P < 0.001$; $P = 0.002$). Taking $T_{max} = 280s$ as cutoff value, the sensitivity, specificity and accuracy for detecting malignant lesions were 88.0%, 63.5% and 76.5%, respectively. **Conclusion:** DCE-MRI can provide perfusion and hemodynamic information of pulmonary nodules, and is of great value in differential diagnosis of benign and malignant tumors of lung, in which T_{max} is the most valuable parameter.

【Key words】 Pulmonary nodule; Pulmonary neoplasm; Magnetic resonance imaging; Dynamic contrast enhanced scan; Enhancement mode; Hemodynamic information; Differential diagnosis

肺部结节/肿块的良恶性分析一直是影像学诊断的重要目标,亦是难题,尽管对良恶性肺结块的术前评估最常用的无创性影像学检查方法主要是 CT 和 FDG-PET,然而传统 CT 平扫和增强扫描无法提供病变血流动力学特征方面的信息,动态增强 CT 可以定量测量病灶的血流动力学参数,但存在电离辐射大的

问题。FDG-PET 对良恶性肺结节的诊断敏感度可达 88%~100%^[1],但对于炎性病变、结核、部分浸润性腺癌及类癌等其错判率仍较高^[2-4],且它亦不能反映病变的血流动力学改变。MRI 由于空间分辨率相对较低、软组织-空气界面所致的磁敏感伪影及呼吸心脏运动伪影等原因,尚未作为肺部扫描的常规方法。目前,已有学者将动态增强磁共振成像(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)应用于肺部结块的诊断^[5],本研究通过进一步探讨肺结块的 DCE-MRI 表现,旨在为肺部结块提供更为精准的

作者单位:430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科(周舒畅、夏黎明、王玉锦、吴维);572000 海南,海南省第三人民医院(李志伟)

作者简介:周舒畅(1983-),女,湖北孝感人,博士,主治医师,主要从事胸部影像诊断和研究工作。

通讯作者:夏黎明, E-mail: cjr_xialiming@vip.163.com

定性和定量诊断依据。

材料与方法

将 2013 年 7 月—2015 年 3 月在本院住院的肺部结节及肿块(统称为结块)患者按纳入观察,所有患者均知情同意。纳入标准:①肺部结块最大横截面直径 ≥ 6 mm;②混杂密度者,钙化或空洞面积小于 50%;③无 MRI 检查禁忌证;④无严重器官功能不全等基础疾病,肾功能正常范围;⑤初诊患者,未接受过放化疗等治疗。符合条件的患者共 66 例,男 52 例,女 14 例,年龄 29~76 岁,平均(54.8 \pm 9.2)岁。所有患者经穿刺活检(8 例)或手术病理证实(58 例)。其中恶性 50 例(结节 44 例,肿块 6 例),良性 16 例(结节 14 例,肿块 2 例)。恶性结节中鳞癌 11 例(含 4 例肿块)、腺癌 20 例、小细胞癌 8 例(含 2 例肿块)、腺鳞癌 1 例、大细胞癌 1 例、类癌 2 例、肉瘤样癌 3 例,未确定型 4 例(由于活检组织较少,仅确诊为恶性,无具体病理类型)。良性结节中肺结核 5 例、感染性病变 5 例(1 例含肿块)、骨化伴真菌感染 1 例、错构瘤 1 例、孤立性纤维性肿瘤 1 例、硬化性血管瘤 1 例,灶性出血 1 例,肺隔离症 1 例。

使用 GE signa HDx 1.5T 超导型磁共振扫描仪、8 通道相控阵心脏线圈、呼吸门控和外周心电门控。先行常规 MRI 平扫。横轴面 SE T₁WI;TR 800 ms,TE 8 ms,层厚 5.0 mm,层间距 1.0 mm,视野 41 cm \times 41 cm,矩阵 320 \times 160,扫描时间 6 min。横轴面脂肪抑制 FSE T₂WI;呼吸触发,TR 7100~9236 ms,TE 90~110 ms,层厚 5.0 mm,层间距 1.0 mm,激励次数 2,回波链长度 18,视野 41 cm \times 41 cm,矩阵 320 \times 224,扫描时间 3.6 min。

DCE-MRI:横轴面快速容积采集序列,TR 4.2 ms,TE 2.0 ms,翻转角 15°,层厚 5 mm,矩阵 256 \times 160,视野 35 cm \times 35 cm,带宽 62.5 kHz。扫描原则:参考平扫 T₁ 及 T₂ 图像,扫描范围覆盖病灶和纵隔,呼气末屏气扫描,单期扫描时间 12~15 s。首先进行蒙片扫描,注射对比剂后 15 s 开始扫描,共扫描 15 个期相,总扫描时间约 7 min。对比剂采用钆贝葡胺(Gd-BOPTA,莫迪司),标准剂量 0.1 mmol/kg,注射速率 2.5 mL/s,注药结束后注入生理盐水 10 mL。

由两位具有 7 年以上 MRI 诊断经验的放射科医师在未知患者临床资料和病理结果的情况下独立评估图像,对每例的评估达成一致意见后作出诊断。选取结节的中心层面,为了减少呼吸运动所导致的病灶移位,在 GE AW4.4 工作站上手动勾画 ROI,测量每个时相图像上病灶的信号强度(signal intensity, SI)。ROI 覆盖 60%以上实质性强化区域,避开肉眼可见的

囊变、坏死、钙化及含气区。计算对比增强比(contrast enhancement ratio, CER),绘制病灶的时间-CER 曲线(time-to SI CER curve, TIC)。

计算 DCE-MRI 参数:①最大增强比(maximum CER, MER);②达峰时间(T_{max});③平均强化斜率(slope of enhancement, SLE);④最大强化斜率(steepest slope, SS);⑤廓清率。计算公式如下:

$$MER = \frac{SI_{\max} - SI_0}{SI_0} \quad (1)$$

$$SLE = \frac{MER}{T_{\max}} \quad (2)$$

$$SS = \frac{(SI_{\text{end}} - SI_{\text{start}}) \times 100\%}{SI_0 \times (T_{\text{end}} - T_{\text{start}})} \quad (3)$$

$$\text{廓清率} = \frac{SI_{\max} - SI_{\text{end}}}{SI_{\max}} \quad (4)$$

SI_{max}为团注对比剂后病灶的最大 SI, SI₀是注药之前的基线 SI; SI_{start}、SI_{end}分别为时间强化曲线上段上最大线性斜率两端的 SI, T_{start}、T_{end}分别为相应的时间点; SI_{end}为扫描终末时间点的病灶 SI。

所有数据采用 SPSS 16.0 统计软件进行分析。分别比较良恶性组和良恶性亚组的 MER、T_{max}、SLE、SS 和廓清率。两组间参数的比较,符合正态分布且方差齐性者采用独立样本 *t* 检验,不符合正态分布且方差不齐者,采用 Mann-Whitney U 检验;对于多组间参数的比较,符合正态分布且方差齐性者,采用单因素方差分析,不符合正态分布且方差不齐者,采用 Kruskal-Wallis 检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。对上述参数进行受试者工作特征(ROC)曲线分析,各参数有鉴别诊断意义者,计算 ROC 曲线下面积,并分别计算诊断敏感度、特异度、符合率以及阳性和阴性预测值。

结果

1. MRI 平扫特征

66 例肺部病灶的直径 7~42 mm, 平均(3.86 \pm 1.25)cm。1 例确诊为灶性出血的肺结节在 MRI 平扫上表现为短 T₁ 长 T₂ 信号, 2 例确诊为结核的结节在 MRI 平扫上表现为长 T₁ 短 T₂ 信号, 其余病灶在 MRI 平扫上均表现为长 T₁ 长 T₂ 信号(图 1a、b)。

2. 不同肺部病变的动态增强模式

66 例患者的病灶增强模式可分为 4 型:①均匀强化;②不均匀强化, 结节增强后可见分布无规则的无强化或低强化区;③周边强化:强化主要或仅位于病灶的外周区域, 又称环状强化, 包括薄环状强化或网格状强化;④无强化。

11 例鳞癌中, 7 例(63.6%)呈环状/网格状强化, 1 例为肿瘤实体(结节)均匀强化, 2 例为厚壁空洞均匀强化伴中心空洞形成, 1 例为周围环状强化、中心不均匀强化。20 例腺癌中, 15 例(75%)呈不均匀强化

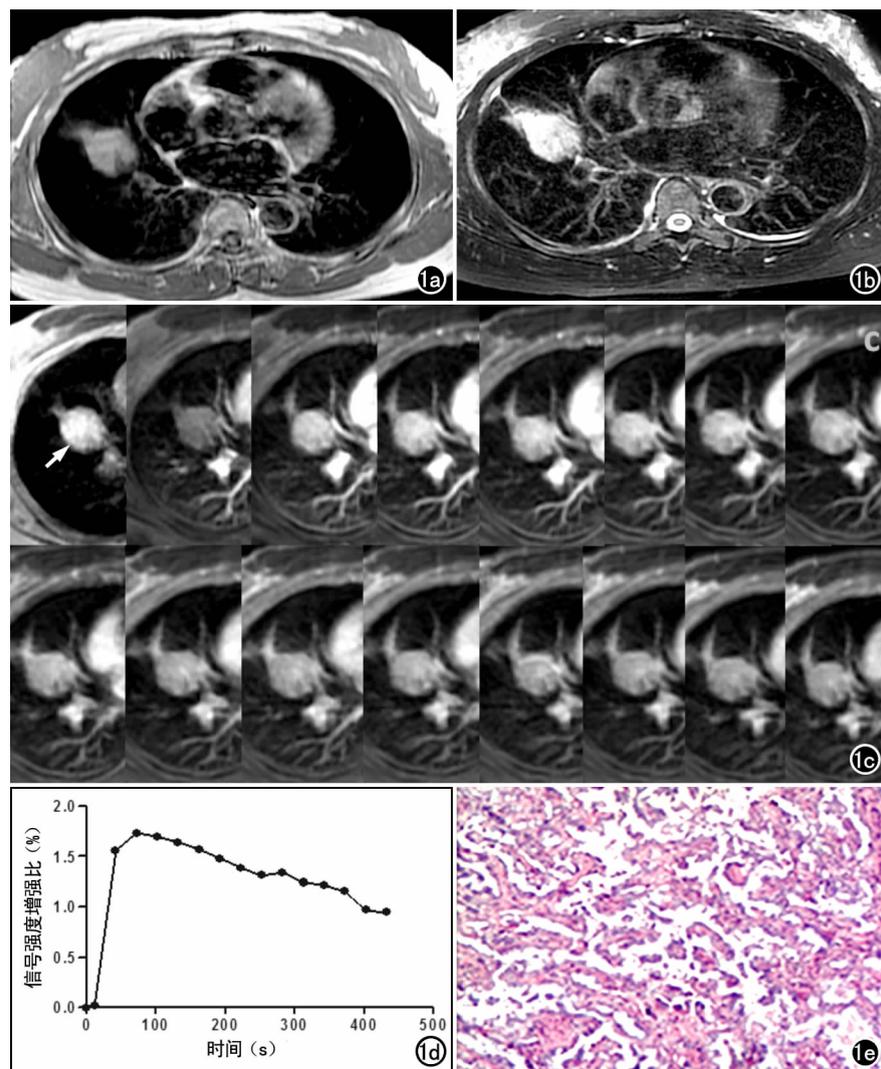


图1 右肺中叶中分化腺癌。a) SE-T₁WI, 示右肺中叶分叶状肿块(箭), 信号欠均匀; b) T₂WI 示病灶呈不均匀稍高信号; c) 动态增强扫描图像, 示病灶呈不均匀早期强化; d) TIC 呈 A 型; e) 病理切片镜下示大量异形性的瘤细胞呈腺样排列(×100, HE)。

(图 1c), 3 例均匀强化, 2 例环状强化。8 例小细胞癌中, 4 例呈环状强化, 3 例不均匀强化, 1 例(结节)均匀强化。2 例类癌均呈实体均匀强化, 3 例肉瘤样癌均呈环状强化, 大细胞癌呈不均匀强化, 腺鳞癌呈均匀强化。

16 例良性结节中, 4 例结核中可见环状强化 2 例, 不均匀强化 1 例, 不强化 1 例; 炎性病变 6 例, 均呈均匀强化; 其它良性结节中 1 例孤立性纤维性肿瘤呈环状强化, 1 例硬化性血管瘤呈周边环状强化、中心不均匀强化, 1 例错构瘤呈环状强化, 1 例肺隔离症和 1 例灶性出血无明显强化。由此可见鳞癌和小细胞癌的主要强化方式为环状强化, 而腺癌主要为不均匀强化。

3. TIC 类型

分析全部病例的 TIC, 除有 1 例原位鳞癌者由于病灶小, 且强化后与左侧肺门血管分辨欠清, 测量强化

曲线不准确, 排除此病例, 其余 65 个病例均可获得良好的时间-CER 曲线, 分为 4 型(图 2)。①速升-下降型(A 型): 早期迅速强化, 最大强化处曲线形态呈“山峰状”, 随后明显或缓慢廓清(图 1d)。本研究中恶性组中 A 型曲线 21 例, 其中腺癌(图 1d、e) 10 例、鳞癌 3 例、小细胞癌 4 例、类癌 2 例、未知类型肿瘤 2 例, 良性组内未见 A 型曲线。②速升-平台型(B 型): 早期快速强化, 随后呈钝圆形曲线到达最大强化峰值, 此后进入平台期或可见轻微廓清。本研究中恶性组内 B 型曲线 24 例, 其中腺癌 10 例、鳞癌 6 例、小细胞癌 3 例、肉瘤样癌 3 例、大细胞癌 1 例和腺鳞癌 1 例; 良性组中 B 型曲线 11 例, 包括炎性病变 5 例、结核 3 例、硬化性血管瘤 1 例、孤立性纤维性肿瘤 1 例和错构瘤 1 例。③持续缓升型(C 型): 曲线呈连续缓慢上升趋势。恶性组中可见 C 型曲线 4 例, 分别为鳞癌 1 例、小细胞癌 1 例、未知病理类型肿瘤 2 例; 良性组中可见 C 型曲线 2 例, 包括真菌感染并骨化 1 例、结核 1 例。④无明显强化型(D 型): 病灶无明显强化, 曲线基本位于基线水平, 强化幅度 < 10%。D 型曲线仅见于良性组, 包括灶性出血 1 例、肺隔离症 1 例和结核 1 例。

4. DCE-MRI 参数的比较

五个参数的测量结果及比较见表 1、2。良恶性病变间仅 T_{max} 和 SLE 值的差异有统计学意义(P < 0.01)。

表 1 良恶性病变组的 DCE-MRI 参数值

参数	良性	恶性	统计量	P 值
MER	1.137±0.915	1.255±0.475	-0.494	0.627
T _{max} (s)	310.7±112.0	153.3±104.2	-4.198	0.000
SLE(/s)	0.0052±0.0054	0.0156±0.0215	3.127	0.002
SS(/s)	0.0444±0.0563	0.0487±0.0328	1.721	0.085
廓清率	0.0534±0.0483	0.0851±0.0765	1.317	0.188

将所有患者分为炎性病变、其它良性病变和恶性病变三组进行分析, 结果显示三组间 MER、T_{max}、SLE 和 SS 的差异均有统计学意义(P < 0.01), 仅廓清率的差异无统计学意义(P = 0.375)。

三组间进一步两两对比: MER 值的差异均有统计学意义(P = 0.000); 对比分析恶性病变各亚组(鳞癌、

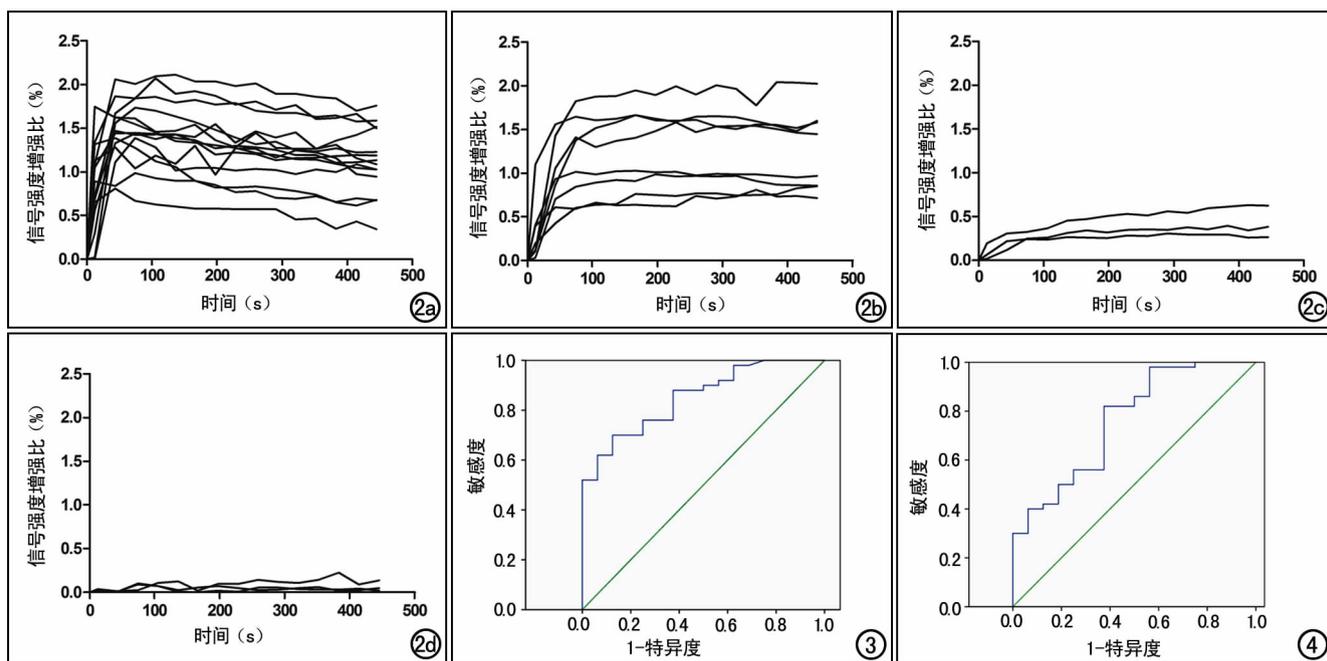


图2 四个类型的TIC。a) A型曲线,有锐利的强化峰,随即廓清; b) B型曲线,可见钝圆形强化峰,随后呈平台改变或轻微廓清; c) C型曲线,呈持续缓慢上升曲线; d) D型曲线,表现为无强化或弱强化,强化幅度 $<10\%$ 。图3 T_{\max} 鉴别良恶性病变的ROC曲线。图4 SLE鉴别良恶性病变的ROC曲线。

腺癌、小细胞癌、其它恶性肿瘤)和良性各亚组(炎性、其它良性)之间的MER值,炎性病组MER值均明显大于恶性各亚组和其它良性病变($P < 0.01$),而各恶性亚组间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。恶性组 T_{\max} 值明显小于其它良性病变组($P < 0.001$),但在炎性病组和其它良性病变组间差异无统计学意义($P = 1.000$)。恶性组SLE大于其它良性病变组($P < 0.001$),但炎性病组与恶性组间、炎性病组与其它良性组间的差异无统计学意义($P > 0.05$)。炎性病组和恶性组的SS值均大于其它良性病变组($P < 0.01$),但炎性病组与恶性组间差异无统计学意义($P = 0.485$)。

4. ROC曲线分析

对良恶性组之间差异有统计学意义的参数(T_{\max} 和SLE)进行ROC曲线分析: T_{\max} 的ROC曲线下面积为0.851(图3), T_{\max} 临界值取280s时,诊断的敏感度、特异度和符合率分别为88.0%、63.5%和76.5%;SLE的ROC曲线下面积为0.761(图4),SLE临界值取0.00408/s时,其诊断的敏感度、特异度和符合率分

别为82.0%、63.5%和78.6%。

对炎性病组与恶性组之间差异有统计学意义的MER进行ROC曲线分析,得出ROC曲线下面积为0.892,取临界值1.751时,诊断的敏感度、特异度和符合率分别为88.0%、80.0%和82.6%。

讨论

1. 肺结节的时间-信号增强比曲线分布

不同病变由于病理生理基础不同,其血流动力学差异可使对比剂随时间变化的趋势有所不同。DCE-MRI最简单和最常用的方法是评价不同时间点病变内对比剂浓度的变化,获得时间-信号强度(TIC)曲线,此曲线分为两段,前段反映肿瘤血管生成,后段反映了肿瘤间质成分的信息^[6]。在TIC曲线上信号强度的最初变化则反应了对比剂的首过转运过程,被认为主要与组织灌注(单位组织血流量)、可供对比剂聚集的细胞外间隙增加和血管通透性增加相关。此外, T_1 加权上MRI信号增强程度尚和一系列生理和物理

表2 炎性、其它良性及恶性组的DCE-MRI参数值

参数	炎性	其它良性	恶性	统计量	P值
MER	2.156 \pm 0.685* [§]	0.673 \pm 0.559* [‡]	1.255 \pm 0.475* [§]	17.074	0.000
T_{\max} (s)	243.4 \pm 115.0	341.4 \pm 101.1 [‡]	153.3 \pm 104.2 [‡]	18.387	0.000
SLE(/s)	0.0103 \pm 0.00527	0.0029 \pm 0.0037 [‡]	0.0156 \pm 0.0215 [‡]	14.808	0.001
SS(/s)	0.0961 \pm 0.0712*	0.0209 \pm 0.0280* [‡]	0.0487 \pm 0.0328 [‡]	12.589	0.002
廓清率	0.0675 \pm 0.0574	0.0470 \pm 0.0451	0.0851 \pm 0.0765	1.962	0.375

注:*、[‡]、[§]表示两组间的差异有统计学意义。

因素相关,如组织本身的 T_1 弛豫率,对比剂剂量(包括其蛋白结合方式),成像序列,成像参数,和其他机械相关因素等^[10]。

本研究中,可将时间-信号增强比曲线分为 A、B、C、D 四种类型, A 型仅见于恶性肿瘤中, B 型在良恶性肿瘤中均可见(68.6%为恶性,31.4%为良性), C 型主要见于良性病变及部分的恶性病变,而 D 型仅见于良性病变(灶性出血、肺隔离症、结核),这一结果与文献报道基本符合^[7-9]。通过观察时间-信号增强比曲线的形态,可更直观地对结节的性质进行预判,在临床工作中具有更快捷高效的诊断意义。

2. 肺部结节的 DCE-MRI 参数比较

Fujimoto 等^[11]对 DCE-MRI 强化参数与肺肿瘤的相关性进行了研究,认为时间-信号增强比曲线上阶段的参数(MER、SLE)与肿瘤新生血管生成(微血管密度)相关,而曲线下阶段的参数(廓清率)则与肿瘤间质成分(弹性纤维和胶原蛋白的程度)相关。而活动性炎症病变主要有三种病理改变:①血管口径增大导致局部血流增加;②结构异常的新生微血管导致血浆蛋白和白细胞渗出;③白细胞从微循环中迁移至炎症局部。这些过程导致炎症活动期局部血流量及血管通透性增加。虽然恶性肿瘤和炎症病变的基本生物学机制不同,但两者在药代动力学和病理学上有一定相似之处,表现为局部血流灌注增加、毛细血管通透性增加,因此两者均可观察到增强后对比剂的快速聚集。

在本研究中,当不单独排除炎症病变,仅将病例分为良性组(含炎症病变)和恶性组时,仅发现 T_{max} 和 SLE 两个指标具有鉴别诊断意义,恶性组的 T_{max} 值明显短于良性组,而 SLE 则明显较良性组大,表明相对于良性病变,恶性病变的强化更为快速且单位时间内强化幅度更大。这个结果与部分学者的研究结果一致^[12]。当 T_{max} 临界值取 280s 时,其诊断敏感度、特异度和符合度为 88.0%、63.5%和 76.5%。当 SLE 临界值取 0.00408/s 时,其诊断敏感度、特异度和符合率分别为 82%、63.5%和 78.6%。而我们将病例分为炎症病变、其他良性病变和恶性肿瘤三组时,曲线上阶段的 4 个相关指标(MER、 T_{max} 、SLE 和 SS)在炎症病变和恶性肿瘤中均明显高于其它良性病变,表明与其它良性病变相比,炎症病变和恶性肿瘤具有更大的强化幅度、更快的强化时间和更大的强化斜率。而炎症病变与恶性肿瘤相比,SLE 和 SS 无明显差异,但炎症病变的 MER 值明显高于恶性肿瘤,表明炎症病变的最大强化幅度比恶性肿瘤更高,提示炎症病变在良性病变中为一混杂因素,与恶性肿瘤之间的 DCE-

MRI 表现具有部分交叉,与前述药代动力学理论基础及部分研究结果相符^[13]。且对于炎症病变和恶性肿瘤来说, MER 最具有鉴别诊断意义,取临界值 1.751 时,其诊断的敏感度、特异度和符合率分别为 88.0%、80.0%和 82.6%。

综上所述,时间-信号增强比曲线与 DCE-MRI 各强化参数结合,对诊断肺部良恶性结节、炎症病变与恶性肿瘤具的鉴别具有较高的诊断价值,且能提供更多肺结节的血供、灌注及血流动力学方面的信息。

参考文献:

- [1] Madsen PH, Holdgaard PC, Christensen JB, et al. Clinical utility of ¹⁸F-FDG PET-CT in the initial evaluation of lung cancer[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 43(11):2084-2097.
- [2] Goldsmith S, Kostakoglu L. Nuclear medicine imaging of lung cancer[J]. *Radiol Clin North Am*, 2000, 38(3):511-524.
- [3] Goo JM, Im JG, Do KH, et al. Pulmonary tuberculoma evaluated by means of FDG PET: findings in 10 cases[J]. *Radiology*, 2000, 216(1):117-121.
- [4] Cheran SK, Nielsen ND, Patz EF. False-negative findings for primary lung tumors on FDG positron emission tomography: staging and prognostic implications[J]. *AJR*, 2004, 182(5):1129-1132.
- [5] 马晓玲,周舒畅,艾涛,等. 动态增强磁共振在肺孤立性结节灶中的定量研究[J]. *放射学实践*, 2014, 29(10):1158-1162.
- [6] Broncano J, Luna A, Sanchez-Gonzalez J, et al. Functional MR imaging in chest malignancies[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2016, 24(1):135-155.
- [7] Yu Z, Minming Z, Qidong W, et al. Quantitative investigation of solitary pulmonary nodules: dynamic contrast-enhanced MRI and histopathologic analysis[J]. *AJR*, 2008, 191(1):252-259.
- [8] Schaefer JF, Joachim V, Fritz S, et al. Solitary pulmonary nodules: dynamic contrast-enhanced MR imaging: perfusion differences in malignant and benign lesions[J]. *Radiology*, 2004, 232(2):544-553.
- [9] Coolen J, Vansteenkiste J, de Keyzer F, et al. Characterisation of solitary pulmonary lesions combining visual perfusion and quantitative diffusion MR imaging[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(2):531-541.
- [10] Jeswani T, Padhani AR. Imaging tumour angiogenesis[J]. *Cancer Imaging*, 2005, 5(1):131-138.
- [11] Fujimoto K. Usefulness of contrast-enhanced magnetic resonance imaging for evaluating solitary pulmonary nodules[J]. *Cancer Imaging*, 2008, 8(1):36-44.
- [12] Yoshiharu O, Hiroto H, Daisuke T, et al. Solitary pulmonary nodules: potential role of dynamic MR imaging in management initial experience[J]. *Radiology*, 2002, 224(2):503-511.
- [13] Kono R, Fujimoto KH, Muller N, et al. Dynamic MRI of solitary pulmonary nodules: comparison of enhancement patterns of malignant and benign small peripheral lung lesions[J]. *Diag Radiol*, 2007, 2008(1):33-34.