

基于 HRCT 图像的纹理分析技术在鉴别良恶性肺部病变中的价值

雷强, 万齐, 邹乔, 余煜栋, 包盈莹, 王宇泽, 李新春

【摘要】 目的:探讨基于 HRCT 图像的纹理分析技术在鉴别良恶性孤立性肺实性病变中的价值。
方法:收集 69 例经本院病理证实的孤立性肺实性病变(良性 28 例,恶性 41 例)患者的 CT 资料。所有患者术前行胸部 HRCT 平扫及双期增强扫描,经后处理获得 5 组图像,包括骨和软组织重建算法平扫肺窗图像及平扫、动脉期和静脉期软组织重建算法纵隔窗图像。采用 MaZda 软件通过手动勾画 ROI 的方式提取病变的纹理特征参数,纹理特征选择方法包括 Fisher 系数、分类错误概率联合平均相关系数(POE+ACC)、交互信息(MI)及上述 3 种方法联合法(FPM)。纹理特征分类统计方法包括原始数据分析(RDA)、主成分分析(PCA)、线性分类分析(LDA)和非线性分类分析(NDA)。各纹理特征参数的诊断结果以误判率形式表示。**结果:**5 组 HRCT 图像中,对良恶性肺部病变有鉴别诊断意义的纹理特征参数主要来自软组织重建算法肺窗及静脉期纵隔窗图像。特征选择方法中,Fisher 系数、POE+ACC 和 MI 及 FPM 鉴别两类病变的误判率分别为 10.14%~44.93%、10.14%~52.17%、10.14%~42.03%及 7.25%~50.72%。特征统计方法中,NDA 对两种病变的误判率(7.25%~17.39%)较 RDA(21.74%~50.72%)、PCA(27.54%~52.17%)和 LDA(8.70%~36.23%)均低。**结论:**基于 HRCT 图像的纹理分析方法能为孤立性肺实性良恶性病变的诊断提供更多有价值的信息,有助于提高 HRCT 对肺部实性病变的诊断准确性。

【关键词】 肺实性病变; 肺肿瘤; 体层摄影术, X 线计算机; 纹理分析; 鉴别诊断

【中图分类号】 R814.42; R734.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)12-1246-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.12.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Differentiating of benign and malignant lesions of the lung using texture analysis based on high-resolution computed tomography LEI Qiang, WAN Qi, ZHOU Qiao, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Guangzhou Medical university, Guangzhou 510120, China

【Abstract】 Objective: To investigate the diagnostic value of texture analysis derived from high-resolution computed tomography (HRCT) images in differentiating benign and malignant solid lesions of lung. **Methods:** Clinical and imaging data of forty-one patients with malignant pulmonary lesion and twenty-eight patients with benign pulmonary lesion were retrospectively analyzed in our study. All patients underwent plain and dual phase contrast-enhanced HRCT scan. Five types of images were obtained from post-processing, including lung window plain images with bone algorithm and soft tissue algorithm, mediastinal window images of non-enhanced, arterial phase and venous phase with soft tissue algorithm. The ROI of each lesion was manually drawn out, and then texture features were calculated using MaZda software. The methods for feature selection included Fishers coefficient, classification error probability combined with average correlation coefficients (POE+ACC), mutual information (MI) and the combination of the three methods (FPM) mentioned above. The statistical methods including raw data analysis (RDA), principal component analysis (PCA), linear discriminant analysis (LDA) and nonlinear discriminant analysis (NDA) were used to distinguish malignant from benign pulmonary lesions. The diagnostic results were shown using the index of misclassification rate. **Results:** The texture features for differentiating malignant and benign pulmonary lesions were mainly derived from soft tissue algorithm lung window and venous phase mediastinal window images. The misclassification rates of the feature selection methods were similar in MI (10.14% to 42.03%), Fisher

作者单位: 510120 广州, 广州医科大学附属第一医院放射科

作者简介: 雷强(1989-), 男, 湖北荆州人, 硕士研究生, 主要从事影像诊断和磁共振功能成像工作。

通讯作者: 李新春, E-mail: xin Chunli@163.com

coefficient (10.14% to 44.93%) and POE+ACC (10.14% to 52.17%), while the misclassification rate of FPM (7.25% to 50.72%) was the lowest. In the statistical methods, NDA (7.25% to 17.39%) had lower misclassification rate than RDA (21.74% to 50.72%), PCA (27.54% to 52.17%) and LDA (8.70% to 36.23%). **Conclusion:** Texture analysis based on HRCT images can provide more reliable and valuable evidence for differentiating benign from malignant pulmonary lesions, thus can increase the diagnostic accuracy of HRCT in pulmonary solid lesions.

【Key words】 Pulmonary solid lesions; Pulmonary neoplasm; Tomography, X-ray computed; Texture analysis; Differential diagnosis

HRCT 是目前检测肺部病变的最佳影像手段^[1-2],但部分肺部良性病变与恶性肿瘤的 CT 征象存在重叠,仅凭病灶的形态学特点难以进行鉴别,仍需要通过多次穿刺或活检才能明确诊断。纹理分析通过分析医学图像的灰阶信息等来评价组织器官的纹理特征,提供许多肉眼无法看到的图像信息,有助于早期、无创性的明确病灶的性质^[3-4]。本研究旨在探讨 HRCT 图像纹理分析技术对孤立性良、恶性肺部实性病变的鉴别诊断价值。

材料与方法

1. 临床资料

回顾性分析本院 2016 年 1 月—2017 年 12 月经病理证实的 69 例孤立性肺实性病变患者的临床及影像资料。其中男 44 例、女 25 例,年龄 5~86 岁;恶性病变 41 例(腺癌 32 例,腺鳞癌 2 例,小细胞肺癌 3 例,大细胞癌 1 例,黏液表皮样癌 2 例及类癌 1 例),良性病变 28 例(错构瘤 9 例,机化性肺炎 8 例,硬化性肺泡细胞瘤 5 例,隐球菌感染性病变 4 例,曲霉菌感染性病变 1 例及炎性肌纤维母细胞瘤 1 例)。纳入标准:①肺部实性病灶,最大直径 ≥ 10 mm,病灶内无空洞或钙化灶的直径不超过同层面病灶直径的 1/3;②未发现淋巴结转移或远处转移。排除标准:CT 图像质量不佳,不能用于图像分析。

2. CT 检查方法

使用 Siemens Definition AS+ 128 排螺旋 CT 扫描仪。扫描参数:120 kV,35 mAs,螺距 1.2,球管转速 2.0 r/s,视野 320 mm \times 320 mm,采集矩阵 512 \times 512,128i \times 0.6 mm。扫描范围自肺尖部至膈顶水平。CT 平扫后使用高压注射器经肘前静脉注射非离子型对比剂碘海醇(320 mg I/mL),剂量 1.1~1.2 mL/kg,注射速率 3.2~3.5 mL/s,注射对比剂后延迟 25~30 s 和 60~70 s 分别行动脉期及静脉期扫描。最后对扫描原始数据进行图像重建,重建层距、层厚为 2 mm。

3. 图像选择

在后处理工作站上将 HRCT 图像以“BMP”格式导出,导出时调整图像的窗宽/窗位(肺窗 1200 HU/

-650 HU,纵隔窗 300 HU/50 HU)并保持一致。使用 MaZda 软件进行图像纹理分析。由高年资胸部影像诊断医师对所有图像进行评阅。由于横轴面动脉期纵隔窗图像的对比度最佳,在此组图像中选取病灶最大层面的图像,然后选取此层面对应的骨重建算法肺窗、软组织重建算法肺窗、平扫纵隔窗及静脉期纵隔窗图像。

4. 图像纹理分析

选取 ROI 及提取纹理特征参数:采用罗兹工业大学提供的免费纹理分析软件(MaZda 4.6, <http://www.eletel.p.lodz.pl/mazda/>)。在提取纹理特征前,所有图像需进行灰阶水平的标准化,以减小亮度和对比度变化对分析结果的影响。首先,在动脉期纵隔窗图像中选取病灶最大层面的图像,沿病灶的边缘手动勾画 ROI(图 1),提取病灶的纹理特征参数,ROI 应尽量包括整个病灶,需避开病灶边缘的伪影及周围的组织结构(如血管、气道、邻近正常肺组织),保存选定的 ROI;随后,在上述选取层面所对应的骨重建算法肺窗、软组织重建算法肺窗、平扫纵隔窗及静脉期纵隔窗图像上分别导入所保存的 ROI,分别提取各组图像上病灶的纹理特征参数。

通过 MaZda 软件,每个选定 ROI 可提取出直方图、游程检验(run-length matrix, RUN)、绝对梯度(absolute gradient, GRA)、灰度共生矩阵(gray-level co-occurrence matrix, GLCM)、自回归模型(uto-regressive model, ARM)及小波转换(wavelets transform, WAV)这六大类共 287 个纹理特征参数值(表 1)。

表 1 MaZda 软件显示的纹理参数

| 分析方法 | 特征参数 |
|------|---------------------------------------|
| 直方图 | 平均值、方差、偏度、峰度、百分位数值 |
| GLCM | ASM 能量、对比度、自相关、熵、熵和、平方和、方差和、逆差矩、熵差、方差 |
| RUN | 游程长度不均匀性、灰阶不均匀性、长游程权重、短游程权重、游程中的图像分数 |
| GRA | 梯度均数、方差、偏度、峰度、非零位 |
| ARM | theta1-4、sigma(希腊字母) |
| WAV | 各波段中小波转换系数的能量(3 个子采样因素) |

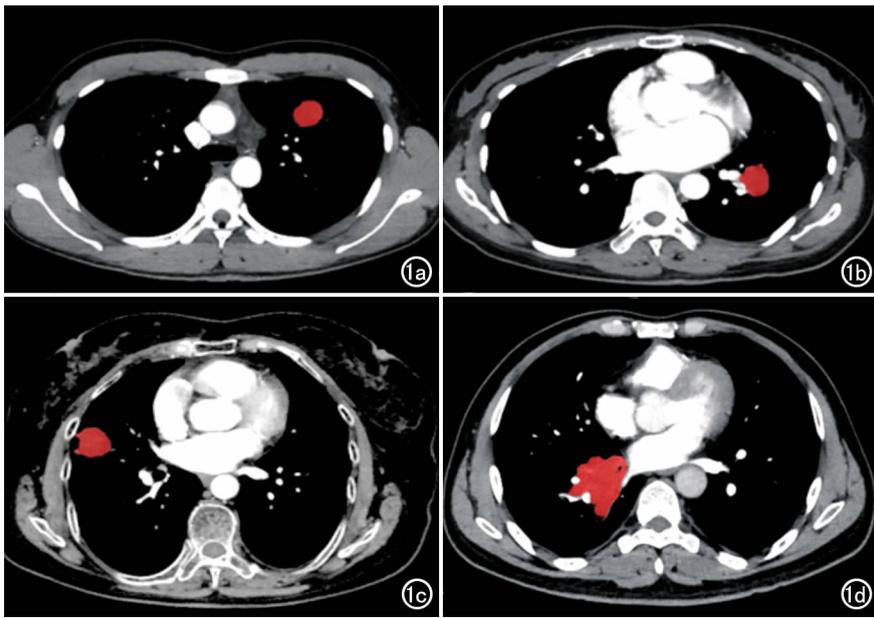


图 1 使用 MaZda 软件在动脉期纵隔窗图像上在病灶内勾画 ROI 进行纹理特征参数的测量。a) 机化性肺炎；b) 硬化性肺泡细胞癌；c) 肺腺癌；d) 肺黏液表皮样癌。

选择纹理特征参数:MaZda 软件提供 3 种纹理特征的选择方法,分别是 Fisher 系数(Fisher coefficient, Fisher)、分类错误概率联合平均相关系数(classification error probability combined average correlation coefficients, POE+ACC)和交互信息(mutual information, MI),每种方法选择出 10 个最有鉴别价值的纹理特征参数。还可以联合使用上述 3 种方法(FPM),共选择 30 个纹理特征参数。本研究中分别采用 Fisher、MI、POE+ACC 和 FPM 共 4 类方法进行最具鉴别价值的纹理特征参数的选择。

纹理特征参数分类分析方法:B11 统计分析软件是 MaZda 软件自带的统计分析软件包,提供 4 种常用的纹理特征参数分类分析方法,分别是原始数据分析(raw data analysis, RDA)、主成分分析(principal component analysis, PCA)、线性分类分析(linear discriminant analysis, LDA)和非线性分类分析(nonlinear discriminant analysis, NDA)。采用上述 4 种纹理特征分类分析方法分别对所选择的各序列的纹理特征参数进行分类分析,计算各纹理特征参数鉴别肺部良恶性病变的准确性(以误判率的形式表示)。误判率越小说明该组图像对肺部良恶性病变的鉴别能力越高,能提供的鉴别肺部良恶性病变的纹理特征越多。

结果

不同序列图像上各种纹理特征分析方法鉴别良恶性肺部病变的误判率见表 2。采用 MaZda 软件进行纹理特征的选择和分类分析时,区分肺部良、恶性病变的误判率最小为 7.25%(5/69),分别在软组织重建算法肺窗和静脉期纵隔窗图像上各出现 1 次,均为 FPM 联合 NDA 分类方法时出现。而平扫纵隔窗图像上提取的纹理特征鉴别这两类病变的最小误判率为 11.59%(8/69)。不同纹理特征参数的选择方法中,鉴别两类病变的最低错判率出现在 FPM 法选择的纹理特征中(图 2),Fisher 系数、POE+ACC 和 MI 及 3 种方法联合法(FPM)鉴别两类病变的误判率分别为 10.14%~44.93%、10.14%~52.17%、10.14%~42.03% 及 7.25%~50.72%。不同纹理特征的分析方法中,NDA 区分两种病变的误判率(7.25%~17.39%)低于 RDA(21.74%~50.72%)、PCA(27.54%~52.17%)和 LDA(8.70%~36.23%),其鉴别诊断效能最高。

讨论

纹理分析是利用已获得的图像数据分析图像灰阶分布特征、像素间关系和空间特征的一种方法,可提供大量肉眼无法识别的物体的表面特征信息^[2,4-11]。与传统的经验性影像鉴别诊断方法相比,纹理分析法相对不依赖于影像医师的主观因素及临床经验,提供的是影像图像上病变本身的灰度水平等客观信息,可用

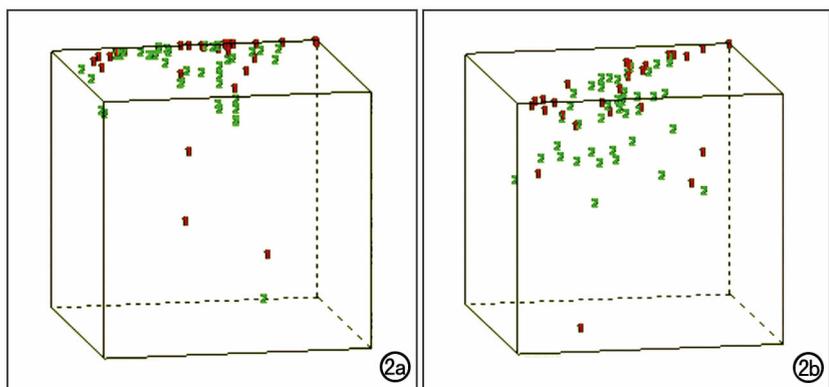


图 2 不同序列图像上 FPM 法鉴别孤立性良恶性肺部实性病变的散点图。1 表示良性,2 表示恶性,“1”与“2”的位置分布明显不同,表明纹理分析法的鉴别能力较好。a) 基于软组织重建算法平扫肺窗图像；b) 基于静脉期纵隔窗图像。

表 2 不同序列图像上各种纹理特征分析方法鉴别良恶性肺部病变的误判率

| 鉴别方法 | RDA | PCA | LDA | NDA |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 骨算法肺窗 | | | | |
| FI | 20/69(28.99%) | 20/69(28.99%) | 20/69(28.99%) | 7/69(10.14%) |
| POE+AC | 24/69(34.78%) | 25/69(36.23%) | 25/69(36.23%) | 8/69(11.59%) |
| MI | 21/69(30.43%) | 22/69(31.88%) | 20/69(28.99%) | 7/69(10.14%) |
| FPM | 29/69(42.03%) | 29/69(42.03%) | 9/69(13.04%) | 7/69(10.14%) |
| 软组织算法肺窗 | | | | |
| FI | 28/69(40.58%) | 26/69(37.68%) | 17/69(24.64%) | 11/69(15.94%) |
| POE+AC | 19/69(27.54%) | 19/69(27.54%) | 19/69(27.54%) | 7/69(10.14%) |
| MI | 22/69(31.88%) | 22/69(31.88%) | 18/69(26.09%) | 8/69(11.59%) |
| FPM | 28/69(40.58%) | 26/69(37.68%) | 6/69(8.70%) | 5/69(7.25%) |
| 平扫纵隔窗 | | | | |
| FI | 26/69(37.68%) | 27/69(39.13%) | 26/69(37.68%) | 11/69(15.94%) |
| POE+AC | 30/69(43.48%) | 30/69(43.48%) | 21/69(30.43%) | 12/69(17.39%) |
| MI | 27/69(39.13%) | 27/69(39.13%) | 21/69(30.43%) | 9/69(13.04%) |
| FPM | 27/69(39.13%) | 28/69(40.58%) | 11/69(15.94%) | 8/69(11.59%) |
| 动脉期纵隔窗 | | | | |
| FI | 29/69(42.03%) | 28/69(40.58%) | 9/69(13.04%) | 7/69(10.14%) |
| POE+AC | 27/69(39.13%) | 20/69(28.99%) | 18/69(26.09%) | 7/69(10.14%) |
| MI | 27/69(39.13%) | 29/69(42.03%) | 21/69(30.43%) | 7/69(10.14%) |
| FPM | 21/69(30.43%) | 23/69(33.33%) | 11/69(15.94%) | 6/69(8.70%) |
| 静脉期纵隔窗 | | | | |
| FI | 31/69(44.93%) | 29/69(42.03%) | 18/69(26.09%) | 8/69(11.59%) |
| POE+AC | 33/69(47.83%) | 36/69(52.17%) | 21/69(30.43%) | 8/69(11.59%) |
| MI | 15/69(21.74%) | 27/69(39.13%) | 23/69(33.33%) | 9/69(13.04%) |
| FPM | 35/69(50.72%) | 35/69(50.72%) | 18/69(26.09%) | 5/69(7.25%) |

于多种影像图像的分析,包括 CT、MRI 及 PET 等,最常应用于对 CT 和 MRI 图像的分析,尤其是常规 CT 及 MRI 未能明确诊断的病变中,纹理分析方法显示出独特的优势。肺部良、恶性病变的内在像素灰阶分布水平、空间信息及像素间的联系等纹理特性存在一定的差异。目前,基于 HRCT 图像的纹理分析法鉴别良、恶性肺部病变的相关研究鲜有报道,而纹理分析法鉴别良恶性病变可减少不必要的有创性治疗手段。本组研究结果提示,基于 HRCT 图像的纹理分析法在鉴别诊断肺部良、恶性病变时的误判率可低至 7.25% (5/69)。

纹理特征参数的不同选择方法之间的比较结果显示,软组织重建算法肺窗及静脉期纵隔窗图像的误判率最低(7.25%),提示软组织重建算法肺窗及静脉期纵隔窗图像上蕴含更多鉴别肺部良恶性病变的纹理特征。本研究中软组织重建算法肺窗及骨重建算法肺窗的最低错判率分别为 7.25% 和 10.16%。对于不同条件的纵隔窗图像而言,静脉期和动脉期图像上所蕴含的鉴别肺部良恶性病变的纹理特征均优于平扫图像,而静脉期又优于动脉期,三者的最低误判率分别为 11.59%、7.25% 和 8.70%。有学者采用基于三期 CT 增强扫描图像(动脉期、静脉期和延迟期)的纹理分析法对局灶性肝脏实性病变进行鉴别,其结果亦显示基于增强扫描的纹理分析技术的鉴别诊断效能要明显优于基于平扫图像者,其中又以门静脉期图像的诊断效能为最佳;而且增强图像提取的纹理特征更能反映肿

瘤的异质性^[12]。然而,有不少研究者指出基于非增强 CT 图像的纹理分析同样可以显示病灶的重要的异质性特征^[13-14]。

对纹理特征参数的统计分类方法包括线性分类(RDA、PCA、LDA)和非线性分类(NDA),其中 NDA 具有最优的鉴别诊断效能。本研究中,NDA 区分肺部良、恶性病变的误判率(7.25%~17.39%)较 RDA、PCA 和 LDA 明显降低,其鉴别诊断效能最佳。张竹伟等^[15]运用基于常规 MRI 的纹理分析技术鉴别乳腺良恶性病变的研究结果也表明,NDA 具有最低的误判率和最佳的鉴别诊断效能。

本研究存在以下局限性:①由于肺窗和纵隔窗图像的窗宽和窗位有明显差异,使得显示病灶的空间分辨率及对比度存在一定差异,导致两组图像上通过观察病灶结构及边界后所选取的 ROI 可能不完全一致。②本研究中仅选择病灶最大层面进行 ROI 的勾画和数据测量,未能包括病灶的全部层面的信息,尚需在今后的研究中进行全病灶 ROI 的选取和纹理分析。

综上所述,本研究显示 HRCT 图像纹理分析可为良、恶性孤立性肺实性病变的鉴别诊断提供可靠的信息和客观依据。静脉期增强纵隔窗图像及软组织重建算法肺窗图像上蕴含较多的鉴别肺良恶性病变的纹理特征,NDA 分类分析方法具有最优的鉴别诊断效能。

参考文献:

- [1] Ren YY, Li YC, Wu HB, et al. Combined use of thin-section CT and ¹⁸F-FDG PET/CT for characterization of solitary pulmonary

- nodules[J]. Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao, 2017, 37(3): 283-289. (此文献未中文期刊上的, 请采用中文格式的标录)
- [2] Mattonen SA, Tetar S, Palma DA, et al. Imaging texture analysis for automated prediction of lung cancer recurrence after stereotactic radiotherapy[J]. J Med Imaging (Bel), 2015, 2(4): 41010-41021.
- [3] Lubner MG, Smith AD, Sandrasegaran K, et al. CT texture analysis: definitions, applications, biologic correlates, and challenges[J]. Radiographics, 2017, 37(5): 1483-1503.
- [4] Liu Y, Liu S, Qu F, et al. Tumor heterogeneity assessed by texture analysis on contrast-enhanced CT in lung adenocarcinoma: association with pathologic grade[J]. Oncotarget, 2017, 8(32): 53664-53674.
- [5] Dennie C, Thornhill R, Sethi-Virmani V, et al. Role of quantitative computed tomography texture analysis in the differentiation of primary lung cancer and granulomatous nodules[J]. Quant Imaging Med Surg, 2016, 6(1): 6-15.
- [6] 陈鑫, 魏新华, 杨蕊梦, 等. 常规 MRI 纹理分析鉴别脑胶质母细胞瘤和单发转移瘤的价值[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(3): 186-190.
- [7] Nardone V, Tini P, Biondi M, et al. Prognostic value of MR imaging texture analysis in brain non-small cell lung cancer oligo-metastases undergoing stereotactic irradiation[J]. Cureus, 2016, 8(4): 584-598. (核学期刊名称)
- [8] Ganeshan B, Abaleke S, Young RC, et al. Texture analysis of non-small cell lung cancer on unenhanced computed tomography: initial evidence for a relationship with tumour glucose metabolism and stage[J]. Cancer Imaging, 2010, 10(1): 137-143.
- [9] Marschner CB, Kokla M, Amigo JM, et al. Texture analysis of pulmonary parenchymateous changes related to pulmonary thromboembolism in dogs: a novel approach using quantitative methods[J]. BMC Vet Res, 2017, 13(1): 219-228.
- [10] 胡玉川, 张欣, 崔光彬. 影像组学在肺癌中的应用研究进展[J]. 放射学实践, 2017, 32(12): 1239-1241.
- [11] 王国蓉, 王志伟, 薛华丹, 等. CT 纹理分析对鉴别直肠癌患者 K-ras 基因突变的可行性研究[J]. 放射学实践, 2017, 32(12): 1215-1220.
- [12] 黄燕琪, 马泽兰, 何兰, 等. 基于 CT 图像的纹理分析鉴别肝脏实质性局灶性病变[J]. 中国医学影像学杂志, 2016, 24(4): 289-292.
- [13] Ng F, Ganeshan B, Kozarski R, et al. Assessment of primary colorectal cancer heterogeneity by using whole-tumor texture analysis: contrast-enhanced CT texture as a biomarker of 5-year survival[J]. Radiology, 2013, 266(1): 177-184.
- [14] Bayanati H, ETR, Souza CA, et al. Quantitative CT texture and shape analysis: can it differentiate benign and malignant mediastinal lymph nodes in patients with primary lung cancer[J]. Eur Radiol, 2015, 25(2): 480-487.
- [15] 张竹伟, 华婷, 徐婷婷, 等. 常规 MRI 纹理分析鉴别乳腺良、恶性病变的价值初探[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(8): 588-591.

(收稿日期: 2017-05-13 修回日期: 2018-06-30)

下期要目

RSNA2018 聚焦

脊髓型颈椎病 MRI 强化特点分析及鉴别诊断

3.0T MR 在正常志愿者腓总神经测量中的应用

原发性喉淋巴瘤的 CT 及 MRI 表现(附 12 例报道)

凶险性前置胎盘伴胎盘植入的 MRI 诊断价值

椎体后凸成形术中球囊不同扩张方式的对比性

实验研究

SAPHO 综合征影像学表现及误诊、漏诊原因分析

形变弹性成像预测乳腺癌新辅助化疗疗效的价值

客观脑部 MRI 容积定量分析系统在阿尔茨海默病筛查中的应用

肝脏 T1rho MRI 扫描优化及对肝纤维化的诊断价值初探

Glubran-2 胶联合弹簧圈栓塞治疗外科术后内脏假性动脉瘤

Look-Locker 和 B1 修正变量翻转角技术在正常乳腺组织

T₁ 值测量中的对照研究

CTCA 在儿童川崎病伴发冠状动脉病变诊断及随访中的

应用价值

可视化无线移动 DR 与传统移动 DR 的临床应用价值对比