

# 基于CT图像的纹理分析在鉴别高原肺水肿与急性心源性肺水肿中的价值

田序伟, 马爱琳, 蒋刘江, 迪丽阿热姆·艾海提, 杨泽宏, 沈君

**【摘要】** 目的: 基于胸部CT图像对比分析高原肺水肿与急性心源性肺水肿的肺窗CT图像纹理参数的差异, 探讨纹理分析方法对两者的鉴别诊断价值。方法: 回顾性分析经临床确诊的18例高原肺水肿与20例急性心源性肺水肿患者治疗前的CT资料。所有患者均在西门子16排CT下行胸部常规扫描, 利用Omni-Kinetics软件后处理得到双肺组织的3D区域肺窗纹理参数, 进行组间比较, 并利用受试者操作特性(ROC)曲线评价各参数的鉴别诊断效能。结果: 共提取了70个纹理参数, 其中21个纹理参数在高原肺水肿与急性心源性肺水肿中差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 高原肺水肿的6个纹理参数高于心源性肺水肿, 其余15个纹理参数低于心源性肺水肿。ROC曲线分析结果显示, 以参数集群突出鉴别诊断高原肺水肿与心源性肺水肿的曲线下面积(AUC)最大, 诊断能力最佳( $AUC = 0.994$ ), 敏感度及特异度分别为100.0%、94.4%; 参数逆差距的诊断能力次之( $AUC = 0.989$ ), 敏感度及特异度分别为94.40%、100.0%。结论: 基于胸部CT图像的纹理分析参数可为高原型肺水肿与心源性肺水肿的鉴别诊断提供更多信息。

**【关键词】** 高原肺水肿; 心源性肺水肿; 体层摄影术, X线计算机; 纹理分析

**【中图分类号】** R563.9; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)01-0045-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.01.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**CT imaging-based texture analysis: discrimination of high altitude pulmonary edema and acute cardiogenic pulmonary edema** TIAN Xu-wei, MA Ai-lin, JIANG Liu-jiang, et al. Department of Radiology, Kashgar First Peoples Hospital, Xinjiang 844000, China

**【Abstract】 Objective:** To compare the differences of texture parameters between high altitude pulmonary edema and acute cardiogenic pulmonary edema based on chest CT imaging, and to evaluate the differences of diagnostic performance on texture analysis between two groups. **Methods:** This retrospective analysis was based on pre-treatment CT imaging data from 18 patients with high altitude pulmonary edema and 20 patients with acute cardiogenic pulmonary edema who were confirmed clinically. The chest CT scan was performed in all the patients on a Siemens 16-slice CT scanner. The histogram and texture parameters were derived from 3-dimensional CT images of lung window by the Omni-Kinetics software, and the differences were compared in both groups. The receiver operating characteristics (ROC) curves between different groups were compared to evaluate the differential diagnostic performance of each parameter. **Results:** In total, 70 texture parameters were obtained, and 21 texture parameters between different groups were statistically significant ( $P < 0.05$ ). Six texture parameters in high altitude pulmonary edema group were higher than those of cardiogenic pulmonary edema group, and the remaining 15 texture parameters were lower than those of cardiogenic pulmonary edema group. The ROC curve analysis showed that the Cluster Prominence had the largest area under the curve and the best diagnostic performance ( $AUC = 0.994$ ), and the sensitivity and specificity were 100.0% and 94.4%, respectively. Followed by the inverse difference moment ( $AUC = 0.989$ ) with the sensitivity and specificity of 94.40% and 100.0%, respectively. **Conclusion:** The parameters of

作者单位: 844000 新疆, 喀什地区第一人民医院影像中心(田序伟、马爱琳、蒋刘江、迪丽阿热姆·艾海提); 510000 广州, 中山大学孙逸仙纪念医院放射科(杨泽宏、沈君)

作者简介: 田序伟(1980-), 男, 山东人, 副主任医师, 主要从事心血管影像诊断及肿瘤的功能、分子影像学研究工作。

通讯作者: 沈君, E-mail: 1641619916@qq.com

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目(2018D01C019)

chest CT-based texture analysis can provide more information on the differential diagnosis between high altitude pulmonary edema and cardiogenic pulmonary edema.

**【Key words】** High altitude pulmonary edema; Cardiogenic pulmonary edema; Tomography, X-ray computed; Texture analysis

高原肺水肿 (high altitude pulmonary edema, HAPE) 是指从平原快速进入高原 (海拔 > 3000 米) 后, 由于缺氧环境导致肺动脉压突然升高、肺血容量增加、毛细血管内液体渗出至肺间质及肺泡而引起的特发性疾病, 是一种可危及生命的非心源性肺水肿<sup>[1]</sup>。急性心源性肺水肿 (acute cardiac pulmonary edema, ACPE) 是指肺毛细血管与组织之间的液体平衡交换发生障碍, 导致肺组织间隙液体增多<sup>[2]</sup>。两种疾病的机制和治疗方案不同, 影像表现近似, 依靠肉眼分析很难鉴别。纹理分析是一种新的图像分析方法, 已应用于肺部疾病诊断或预后评估, 并取得良好效果<sup>[3-5]</sup>。目前尚无纹理分析应用于高原肺水肿与心源性肺水肿鉴别诊断的研究报道。本研究旨在探讨 CT 纹理分析在鉴别诊断 HAPE 与 ACPE 中的临床应用价值。

## 材料与方法

### 1. 病例资料

搜集 2016 年 12 月—2018 年 12 月在喀什地区第一人民医院行 CT 扫描, 并经临床确诊的高原肺水肿和心源性肺水肿患者; 其中高原肺水肿患者 18 例, 男 11 例, 女 7 例, 年龄 (42.0 ± 12.5) 岁; 心源性肺水肿患者 20 例, 男 8 例, 女 12 例, 年龄 (52.0 ± 16.61) 岁。病例排除标准: ①有肺部占位; ②有慢性肺部病变如结核空洞形成、肺间质纤维化等间质病变; ③急性感染性肺部炎症; ④有肺部大面积钙化或异物; ⑤图像质量不佳者。

### 2. 检查方法

CT 检查采用 Siemens Emotion 16 层 CT 机, 扫描范围由肺尖至双侧肾上腺水平。扫描参数: 管电压 120 kV, 管电流 120~280 mA, 准直 24 × 0.6 mm, 旋转时间 1 s/r, 螺距因子 1, 扫描层厚 5 mm, 矩阵 512 × 512。

### 3. 图像分析

由 2 位具有 8 年以上工作经验的放射科医师独立阅片, 意见不一致时经协商达成一致意见。采用肺窗观察图像 (窗宽: 1600 HU, 窗位: -600 HU), 选择左、右肺野肺组织分别测量, 运用 Omni-Kinetics 软件进行纹理分析, 沿肺组织边缘轮廓手动勾画 ROI, 勾画所有肺组织, 不包括大血管、肋骨、纵膈及膈肌; 采用基于灰度直方图、灰度共生矩阵法、灰度游程矩阵等提取两者的纹理特征<sup>[6]</sup>, 获得全肺组织的纹理特征值, 取中值。

### 4. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 统计分析软件进行统计学分析; 计量资料以中值数表示。计量资料的组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。对于有统计学差异的纹理参数, 利用受试者操作特性 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线来确定各纹理参数对于鉴别高原肺水肿与心源性肺水肿的诊断效能。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结果

### 1. 纹理参数差异

对高原肺水肿 (图 1) 和急性心源性肺水肿 (图 2) 的 CT 图像利用 Omni Kinetics (GE healthcare) 软件生成纹理参数 70 个, 其中一阶参数 12 个, 直方图参数 11 个, 形态学度量参数 9 个, 灰度共生矩阵参数 22 个, 游程长矩阵 16 个。统计学分析结果显示, 21 个纹理参数在高原肺水肿与急性心源性肺水肿中差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 其中高原肺水肿的 6 个纹理参数 (标注 #) 中值高于心源性肺水肿, 而其余 15 个纹理参数中值明显低于心源性肺水肿 (表 1)。

表 1 高原肺水肿与心源性肺水肿的胸部 CT 图像纹理参数差异

参数	HAPE	ACPE	Z 值	P 值
一阶参数				
中位强度	-750.25	-662.69	-4.493	0.000
平均值	-702.84	-567.5	-5.084	0.000
标准偏差	193.95	233.74	-3.724	0.000
均根值 <sup>#</sup>	726.68	616.99	-5.084	0.000
直方图				
峰度 <sup>#</sup>	2.3	0.05	-4.138	0.000
一致性	1.27	1.42	-5.084	0.000
能量 <sup>#</sup>	0.12	0.01	-4.493	0.000
熵	6.69	7.13	-4.493	0.000
正像素分布一致性	0.00	0.00	-4.966	0.000
正像素平均值	-702.85	-567.49	-5.084	0.000
分位数 50	-750.25	-661.03	-4.493	0.000
分位数 75	-624.65	-445.61	-4.493	0.000
分位数 90	-444.52	-140.36	-5.084	0.000
分位数 95	-296.9	-41.55	-5.084	0.000
灰度共生矩阵				
惯性	235.59	370.51	-4.788	0.000
逆差距 <sup>#</sup>	0.1	0.08	-5.202	0.000
集群阴影	315858.5	717817	-3.429	0.001
集群突出	74165650.01	187191500	-5.261	0.000
Haralick 相关	92544300	453948000	-5.084	0.000
游程长矩阵				
最大尺寸 <sup>#</sup>	2417	1717	-3.988	0.000
灰度不均匀 <sup>#</sup>	10508.5	27.8.43	-4.729	0.000

注: # 代表高原肺水肿的相关参数中值高于心源性肺水肿。

### 2. ROC 曲线分析

ROC 曲线分析结果显示, CT 图像参数中,以灰度共生矩阵参数集群突出阈值为 118617500 鉴别诊断高原肺水肿与心源性肺水肿的曲线下面积(area under curve, AUC)最大,诊断能力最佳(AUC=0.994,图3),诊断敏感度及特异度分别为 100.0%、94.4%;而参数逆差距阈值为 0.08 的诊断能力次之(AUC=0.989),诊断敏感度及特异度分别为 94.40%、100.0%(表 2)。

表 2 相关 CT 图像纹理参数的鉴别诊断效能

纹理参数	AUC	阈值	敏感度 (%)	特异度 (%)
均根值	0.978	653.23	88.90	100
峰度	0.889	0.77	72.20	100
能量	0.922	0.01	88.90	100
逆差距*	0.989	0.08	94.40	100
最大尺寸	0.872	1728.00	88.90	90
灰度不均匀	0.944	5115.33	88.90	100
中位强度	0.922	-671.29	100	89
平均值	0.978	-619.56	100	89
标准偏差	0.850	206.96	100	67
一致性	0.978	1.33	100	89
熵	0.922	7.07	100	89
正像素分布一致性	0.967	0.00	100	83.3
正像素平均值	0.978	-619.56	100	89
分位数 50	0.922	-670.67	100	89
分位数 75	0.922	-511.72	100	89
分位数 90	0.978	-306.48	100	89
分位数 95	0.978	-174.50	100	89
惯性	0.950	278.18	100	83.3
集群阴影	0.822	499511	70	94.4
集群突出*	0.994	118617500	100	94.4
Haralick 相关	0.978	338910500	100	89

注: \* 代表诊断能力最佳的参数; \* 代表诊断能力次之的参数。

## 讨论

影像组学是利用数学算法提取影像图像灰阶分布、像素、空间特征信息,反映感兴趣区的异质性和细微差异,并对影像数据深度挖掘进行定量分析,用来揭示疾病的组织结构和生理特性<sup>[7-9]</sup>。目前,纹理分析已应用于多种疾病的诊断、鉴别、疗效分析、预后评估,其价值已得到多项研究证实<sup>[10-14]</sup>。

HAPE 在高海拔区域的发病率约为 0.01%,是由缺氧性肺血管收缩引起导致肺动脉压、肺毛细血管压、蛋白质浓度及富含红细胞水肿液量的增高,加速非心源性肺水肿<sup>[15]</sup>。ACPE 是由于左心功能障碍引起肺毛细血管与组织之间的液体平衡交换发生障碍,导致肺组织间隙液体增多引起<sup>[16]</sup>。两种疾病的临床表现和发生机制不同,治疗方案也不一样<sup>[17]</sup>,但是两者均可危及患者生命。两者 CT 均表现为间质性肺水肿和肺泡性肺水肿的特征,一般表现为磨玻璃影和/或气腔实变、“蝶翼征”等。HAPE 以肺泡性肺水肿多见,起病较急,而 ACPE 以间质性肺水肿常见,急性 ACPE 多表现为肺泡性肺水肿,并且两者一般都是同时出现,单纯从肉眼进行观察很难鉴别。另外 HAPE 发病区域为高原地区,医疗环境有限,需要一种快速、简便、标准的诊断手段。

随着医学影像技术的飞跃发展,影像组学的出现让我们从肉眼影像特征判别,到利用精确的数字化定量参数进行诊断,明显提高了诊断准确率,同时还可以减轻医生工作负担;影像组学利用复杂的模式进行特

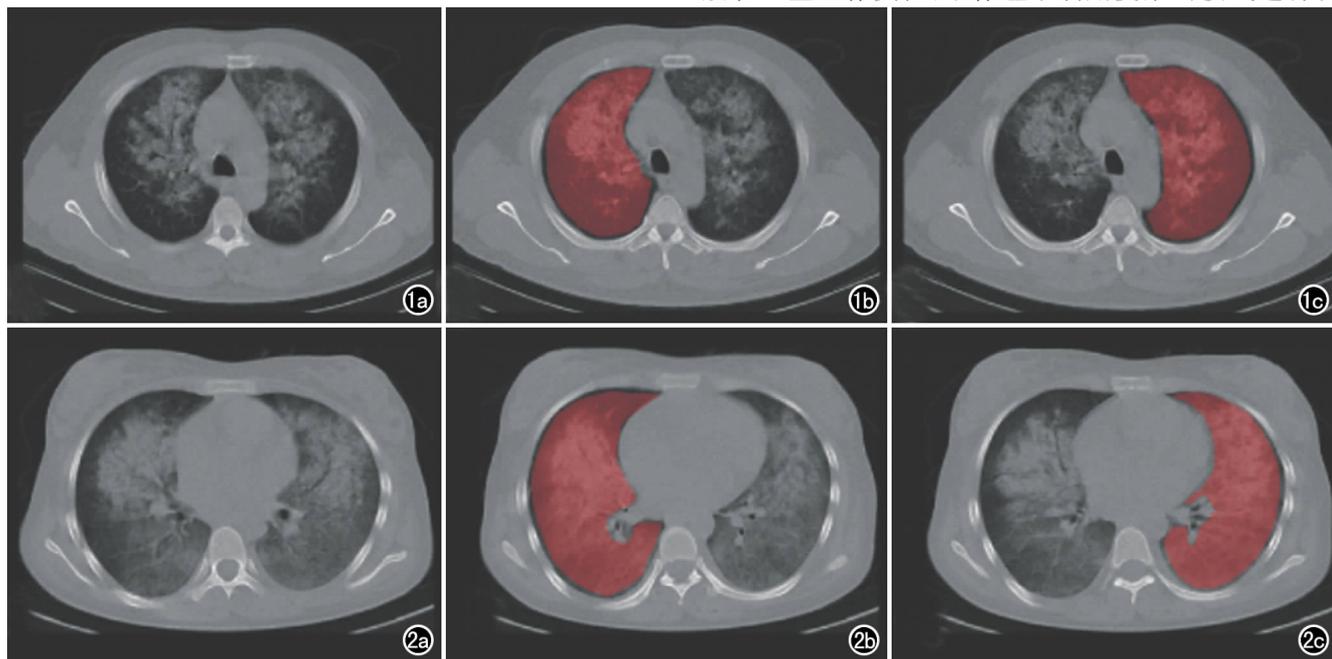


图 1 高原肺水肿患者。a) 双肺呈“蝶翼”状肺水肿表现; b) 右肺勾画 ROI 范围; c) 左肺勾画 ROI 范围。

图 2 心源性肺水肿患者。a) 双肺呈大片状模糊影,其内呈“蝶翼”状肺水肿表现; b) 右肺勾画 ROI 范围; c) 左肺勾画 ROI 范围。

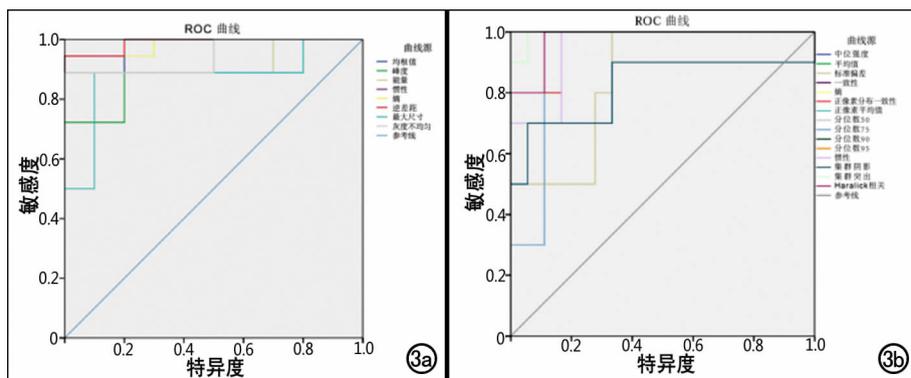


图3 相关影像组学特征参数鉴别诊断 ACPE 与 HAPE 的 ROC 曲线。a) 均根值、峰度、能量、逆差距、最大尺寸、灰度不均匀等 6 个影像组学特征参数, HAPE 高于 ACPE; b) 中位强度、平均值、标准偏差等 15 个影像组学特征参数, ACPE 高于 HAPE。

征的量化,基本特征有形态特征、强度特征和纹理特征<sup>[18]</sup>。Li 等<sup>[19]</sup>和 Huynh 等<sup>[20]</sup>通过对肺癌患者 CT 影像特征的提取来预测复发、转移情况,最终证实影像组学特征模型对肺癌患者的诊断与复发评估具有重要意义。肺 CT 纹理分析基于定量分析的优势,已被证实肺部结节和占位性病变中具有重要价值。如 Ma 等<sup>[21]</sup>从肺结节 CT 图像中提取纹理特征,用于肺结节常规筛查和肺癌诊断是有效的;另有文献也证实包括熵和一致性等纹理参数,可以反映病灶的恶性程度<sup>[22]</sup>。关于肺水肿这种弥漫性病变的影像组学研究较少,尚没有被明确证实的特征性纹理参数。

本研究结果表明,通过涵盖肺组织全境,得到的 CT 图像纹理参数特征中有 21 个在高原肺水肿与急性心源性肺水肿中差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),其中高原肺水肿的 6 个纹理参数高于心源性肺水肿,而其余 15 个纹理参数低于心源性肺水肿。因为肺组织具有良好的天然对比度,这也使得大范围勾画区带来的影响因素相对减少,是相对较为可靠的鉴别诊断参数。ROC 曲线分析结果显示,在 CT 图像纹理参数中,以灰度共生矩阵纹理参数集群突出的诊断能力最佳( $AUC = 0.994$ ),而参数逆差距诊断能力次之( $AUC = 0.989$ )。灰度共生矩阵是像素距离和角度的矩阵函数,它通过计算图像中一定距离和一定方向的两点灰度之间的相关性,来反映图像在方向、间隔、变化幅度及快慢上的综合信息。笔者发现不同的重建算法和不同的灰度级别下得到的纹理特征经过秩和检验,最终选出了差异性纹理特征,表明两者具有较好的区分度,可以解释两者在图像中的差异性。另外本研究结果显示诊断效能最高的两个纹理参数的诊断敏感度及特异度都达到较高水平,分别为 100.0%、94.4%(集群突出)和 94.40%、100.0%(逆差距),表明灰度共生矩阵

中两个参数与 HAPE、ACPE 两种疾病 CT 图像差异存在相关性,意味着这些参数可以用来鉴别两种疾病。

本研究的局限性:①样本量较少,因为高原肺水肿与急性心源性肺水肿的发病地域与因素比较特殊,病例搜集困难。在今后的研究中需进一步扩大样本量;②本研究 CT 图像 3D ROI 的勾画采用二维手动勾画,存在一定差异性;后期将尝试运用自动或半自动勾画 ROI。

综上所述,基于 CT 图像纹理分析对鉴别高原肺水肿与心源性肺水肿具有重要价值,可为后期进行大数据影像组学分析在诊断高原肺水肿和预测其与基因标本关系的研究中提供重要参考。

#### 参考文献:

- [1] Maggiorini M. Prevention and treatment of high-altitude pulmonary edema[J]. Prog Cardiovasc Dis, 2010, 52(6): 500-506.
- [2] Glaus T, Schellenberg S, Lang J. Cardiogenic and non cardiogenic pulmonary edema: pathomechanisms and causes[J]. Schweiz Arch Tierheilkd, 2010, 152(7): 311-317.
- [3] Dennie C, Thomhill R, Setli-VinIlalli 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.
- [4] 张娜, 鄂林宁, 吴山, 等. CT 纹理分析技术鉴别良恶性孤立性肺结节[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(8): 1211-1215.
- [5] Wang X, Mao K, Wang L, et al. An appraisal of lung nodules automatic classification algorithms for CT images[J]. Sensors (Basel), 2019, 19(1): E194.
- [6] 余焯, 吴华伟. 影像组学在肺癌中的应用进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2018, 41(6): 646-649.
- [7] 雷强, 万齐, 邹乔, 等. 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[J]. 放射学实践, 2018, 33(12): 1246-1250.
- [8] 张胜, 李玉林, 黄送. 增强 T<sub>1</sub>WI 直方图在胶质母细胞瘤和脑单发转移瘤鉴别诊断中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 25(2): 89-92.
- [9] 周海龙, 张古沐阳, 石冰, 等. 定量 CT 纹理分析鉴别诊断透明细胞型与非透明细胞型肾癌[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(12): 1768-1773.
- [10] Zhang GM, Sun H, Shi B, et al. Quantitative CT texture analysis for evaluating histologic grade of urothelial carcinoma[J]. AbdomRadiol(NY), 2017, 42(2): 561-568.
- [11] 吴亚平, 刘博, 顾建钦, 等. 基于影像组学的脑胶质瘤分级方法[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(12): 902-905.
- [12] Wilson R, Devaraj A. Radiomics of pulmonary nodules and lung cancer[J]. Transl Lung Cancer Res, 2017, 6(1): 86-91.

- [13] 崔效楠,刘颖,叶兆祥,等.影像组学特征对肺纯磨玻璃结节侵袭性腺瘤与非侵袭性腺瘤的鉴别价值[J].国际医学放射学杂志,2018,41(4):375-378.
- [14] Dhara AK, Mukhopadhyay S, Dutta A, et al. Content-Based image retrieval system for pulmonary nodules: assisting radiologists in self-learning and diagnosis of lung cancer[J]. J Digit Imaging, 2017, 30(1): 63-77.
- [15] 陈杨,潘春光,姜俊杰,等.高原肺水肿发病机制及其防治研究进展[J].解放军预防医学杂志,2018,36(4):532-536.
- [16] 何丽蓉,况九龙,康蕙.急性心源性肺水肿患者的死亡危险因素分析[J].中国急救医学,2016,36(10):908-912.
- [17] 冯守瑞,任建英,郭喜云,等.心源性肺淤血肺水肿的影像诊断分析[J].基层医学论坛,2017,21(8):960-962.
- [18] Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, et al. Artificial intelligence in radiology[J]. Nat Rev Cancer, 2018, 18(8): 500-510.
- [19] Li Q, Kim J, Balagurunathan Y, et al. CT imaging features associated with recurrence in non-small cell lung cancer patients after stereotactic body radiotherapy[J]. Radiat Oncol, 2017, 12(1): 158.
- [20] Huynh E, Coroller TP, Narayan V, et al. Associations of radiomic data extracted from static and respiratory-gated CT scans with disease recurrence in lung cancer patients treated with SBRT[J]. PLoS One, 2017, 12(1): e0169172.
- [21] Ma J, Zhou Z, Ren Y, et al. Computerized detection of lung nodules through radiomics[J]. Med Phys, 2017, 44(8): 4148-4158.
- [22] Son JY, Lee HY, Lee KS, et al. Quantitative CT analysis of pulmonary ground-glass opacity nodules for the distinction of invasive adenocarcinoma from pre-invasive or minimally invasive adenocarcinoma[J]. PLoS One, 2014, 9(8): e104066.

(收稿日期:2019-01-30 修回日期:2019-06-20)

## 欢迎订阅 2020 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管,华中科技大学同济医学院主办,与德国合办的全国性影像学学术期刊,创刊至今已 35 周年。2018 年 8 月,《放射学实践》杂志再次入选北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。这是继 1999 年之后的第 4 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向,关注国内外影像医学的新进展、新动态,全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果,受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文核心期刊、中国科学引文数据库统计源期刊,在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中,被评为《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊。

主要栏目:论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊,每册 25 元,全年定价 300 元。

国内统一刊号:ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号:38-122

电话:(027)69378385

E-mail:fsxsjzz@163.com 网址:http://www.fsxsj.net

编辑部地址:430199 武汉市蔡甸区中法新城同济医院专家社区别墅 C 栋