

· 胸部影像学 ·

纹理分析评估肺磨玻璃结节样腺癌的浸润性:基于 CT 平扫与增强图像的对照研究

吕燕,叶靖,凌俊

【摘要】 目的:探讨基于 CT 平扫 (NECT) 和对比增强 (CECT) 图像的纹理分析技术对磨玻璃密度 (GGO) 结节样肺腺癌浸润性的鉴别诊断价值。**方法:**回顾性分析 77 例 GGO 结节样肺腺癌患者的临床和影像资料。77 个 GGO 病灶中,浸润前病变 (PIL) 12 个 (15.6%),微浸润性病变 (MIA) 36 个 (46.8%),浸润性肺腺癌 (IA) 29 个 (37.7%)。分别在每个 GGO 病灶的 CT 平扫 (NECT) 和对比增强 (CECT) 图像上逐层手动勾画感兴趣区 (ROI),获得病灶的容积 ROI (VOI),提取其直方图参数 (8 个) 和灰度共生矩阵 (GLGM) 参数 (4 个)。采用 t 检验及受试者工作特征曲线 (ROC) 分析特征参数组间差异及诊断效能。**结果:**大多数纹理特征参数对鉴别 IA 与 MIA/PIL 具有统计学意义 ($P < 0.05$)。ROC 曲线分析显示在 NECT 和 CECT 纹理参数中,均以能量 (AUC 分别为 0.818 和 0.839) 和熵 (AUC 分别为 0.820 和 0.859) 的诊断效能较高。**结论:**基于 NECT 和 CECT 图像的纹理参数均能较好地鉴别 IA 与 MIA/PIL,其中以能量和熵的诊断效能较好。

【关键词】 磨玻璃结节; 体层摄影术, X 线计算机; 纹理分析; 肺腺癌; 浸润性

【中图分类号】 R814.42; R734.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)12-1503-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.12.009

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Texture analysis to evaluate the invasiveness of pulmonary ground glass nodular adenocarcinoma: a comparative study of non-enhanced and contrast-enhanced CT imaging LU Yan, YE Jing, LING Jun. Department of Radiology, Jiangsu Subei People's Hospital, Jiangsu 225002, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of non-enhanced CT (NECT) based and contrast-enhanced CT (CECT) based texture analysis in the differential diagnosis of the invasiveness of lung adenocarcinoma presented as ground-glass opacity (GGO) nodules. **Methods:** The clinical and CT images of 77 patients with lung adenocarcinoma presented as GGO nodules were retrospectively analyzed. Of the 77 lung GGO nodules, 12 (15.6%) were pre-invasive lesion (PIL), 36 (46.8%) were micro-invasive adenocarcinoma (MIA) and 29 (37.7%) were invasive adenocarcinoma (IA). The region of interest (ROI) of each GGO was segmented manually layer-by-layer, and then volume ROI (VOI) was obtained, and the texture feature parameters on NECT and CECT images were extracted respectively, including histogram parameters ($n=8$) and gray level co-occurrence matrix (GLGM) parameters ($n=4$). T-test and receiver operating characteristic curve (ROC) were used to analyze the difference of the texture features between the PLA and MIA/IA groups, and the diagnostic efficacy of the texture parameters. **Results:** Whether NECT or CECT texture features, most texture features showed significant differences between IAs and MIAs/PILs ($P < 0.05$). ROC analyses revealed that smaller energy and higher entropy were significant indicators of IA from MIA/PIL, whether based on NECT images [area under the curve (AUC): 0.839 and 0.859, respectively] or CECT images (AUC: 0.818 and 0.820, respectively). **Conclusion:** Texture features based on NECT or CECT images have the potential to distinguish IA from PIL/MIA, particularly the parameters of energy and entropy.

【Key words】 Round-glass opacity nodules; Tomography, X-ray computed; Texture analysis; Lung adenocarcinoma; Invasiveness

作者单位: 225002 江苏, 江苏省苏北人民医院放射科

作者简介: 吕燕 (1991-), 女, 安徽宣城人, 硕士, 住院医师, 主要从事肺结节的影像诊断和研究工作。

通讯作者: 凌俊, E-mail: lj98305@126.com

基金项目: 江苏省医学会伦琴影像科研专项资金项目 (SYH-3201150-0021-2021016)

肺腺癌是肺癌最常见的病理类型。肺腺癌病理分成浸润前病变(pre-invasive lesion, PIL)、微浸润性肺腺癌(micro-invasive lung adenocarcinoma, MIA)及浸润性肺腺癌(invasive adenocarcinoma, IA)^[1]。其中 PIL 包括非典型腺瘤样增生(atypical adenomatous hyperplasia, AAH)及原位癌(adenocarcinoma in situ, AIS)。PIL 和 MIA 患者行肺段切除术后的 5 年无病生存率接近 100%, 而对于 IA 患者以肺叶切除术为主, 且术后 5 年无病生存率 < 90%。因此, 术前准确评估肺结节的浸润性对手术方式的选择及预后的评估具有重要作用^[2]。

在 CT 影像诊断方面, 对于病变的侵袭性, 通常根据病变的大小、形态、边缘、内部特征(空泡征)、其内实性成分的大小和比例及周围特征(胸膜牵拉、血管聚集)等来判断^[3-4]。Lee 等^[3]指出胸膜牵拉征、磨玻璃密度(ground-glass opacity, GGO)结节内实性成分的面积及比例是鉴别肺腺癌浸润性的独立预测因子。但是, 不同层次、不同资历的放射科医师对 CT 特征的理解和认识存在一定的差异。此外, 传统的图像特征分析存在操作复杂、人为因素影响大和图像特征特异性差等问题。因此, 传统的 CT 影像诊断工作中判断肺腺癌浸润性的准确性仍有待提高。

AAH 或 AIS 仅表现为纯磨玻璃(pure GGO, pGGO)结节^[4]。然而, 随着浸润性的增加, 肿瘤可能仍然以 GGO 的形式出现, MIA 和 IA 既可表现为 pGGO 结节, 也可以表现为混合磨玻璃(mixed GGO, mGGO)结节^[5-7]。因此, 我们假设, 通过纹理分析技术提取 GGO 结节的纹理特征, 如偏度、峰度和熵等, 可以使我们检测到 GGO 结节内物理体素水平的变化特点, 从而可用于 IA 与 PIL/MIA 的鉴别诊断。许多文献已经指出 CT 纹理分析技术在众多疾病的诊断、治疗监测和预后评估中是可行的^[8-11]。因此, 本研究旨在研究 CT 图像纹理分析技术鉴别肺腺癌浸润性的可行性及其诊断效能, 并进一步对比了非对比增强 CT 和对比增强 CT 图像在其中的价值。

材料与方法

1. 一般资料

回顾性搜集 2017 年 1 月—2020 年 6 月在本院行胸部 CT 平扫和增强扫描并检出肺部 GGO 样结节的 600 例患者的临床和影像资料, 筛选出符合以下条件的病例: ①经手术病理证实为肺腺癌, 且 CT 检查前未接受过活检、放疗和化疗等操作或治疗; ②CT 图像中包含重建层厚为 1.25 mm 的图像; ③GGO 结节直径为 5~30 mm; ④GGO 无明显的分叶征和毛刺征, 且不含有钙化、空洞及坏死成分(图 1); ⑤可为 pGGO 结

节, 也可为含少量形态规则的实性成分(呈斑点状或线样)的 mGGO(图 2)。最终 77 例符合要求的患者纳入本研究, 男 25 例, 女 52 例, 年龄 23~75 岁, 平均(53.40 ± 11.13)岁。病理分型: PIL 12 例, MIA 36 例, IA 29 例。

2. 检查方法

使用 Lightspeed VCT(30 例)、Discovery CT 750 HD(28 例)或 GE Optima CT660 128 层(19 例)CT 机。扫描参数: 120 kV, 210 mAs, 层厚 5.00 mm, 螺距 0.984 或 1.375; 重建层厚 1.25 mm。所有图像存储于 PACS 系统。

3. 纹理特征提取

从 PACS 系统中调取薄层 CT 重建图像, 并存储为 DICOM 格式, 然后将图像调入 Matlab 7.3.0 后处理软件进行纹理分析。在病灶所在的所有层面, 逐层沿病灶边缘手动勾画 ROI, 继而得到病灶的三维容积 ROI(图 3)。软件可以自动计算并提取出基于病灶整体的各种纹理特征。本研究分析的纹理特征参数包括直方图参数和灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLGM)参数。直方图参数包括第 10、25、50、75 和 90 百分位数(percentile, P)、标准差、平均值、偏度和峰度, GLGM 参数包括能量、熵、相关性和均匀性。

4. 统计学分析

使用 SPASS 20.0 软件进行统计学分析。先对各项计量资料进行 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验。采用独立样本 *t* 检验(正态分布)或 Mann Whitney *U* 检验(偏态分布)分别对的 IA 组与 PIL/MIA 组各项纹理参数值(分别基于非增强 CT 和增强 CT 图像提取)进行比较, 对差异有统计学意义的指标进行 ROC 曲线分析并计算曲线下面积(area under the curve, AUC), 获得各参数的诊断效能。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. IA 组与 PIL/MIA 组纹理参数的比较

IA 组与 PIL/MIA 组纹理参数值及组间比较结果见表 1~2。基于平扫 CT 图像提取的纹理特征参数中, 平均值、标准差、 P_{10} 、 P_{25} 、 P_{50} 、 P_{75} 和 P_{90} 、能量、熵、相关性和均匀性在两组间的差异有统计学意义($P < 0.001$), 而偏度和峰度在两组间差异无统计学意义($P > 0.05$)。基于增强 CT 图像提取的纹理特征参数中, P_{75} 、 P_{90} 、能量、熵和相关性在两组间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2. ROC 曲线分析

对组间差异有统计学意义的参数进行 ROC 曲线

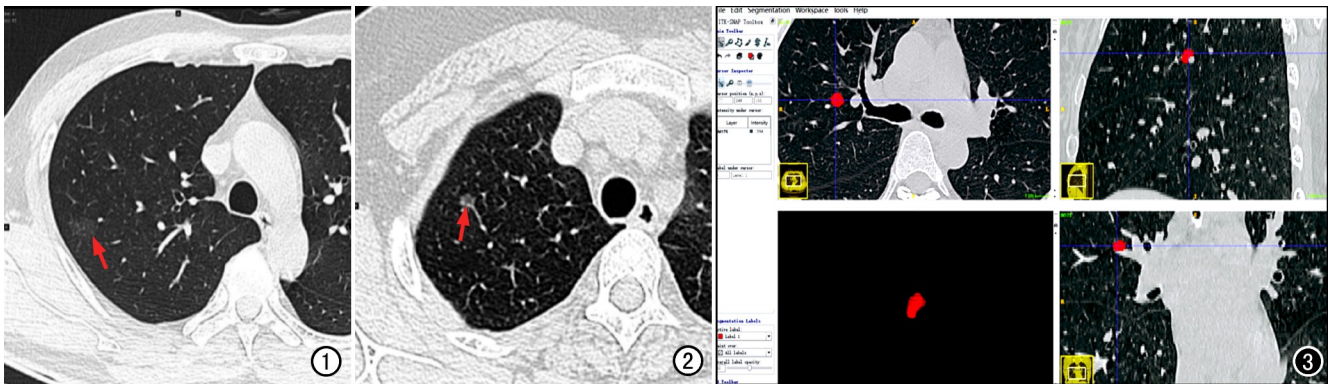


图1 患者,男,54岁,右肺上叶纯磨玻璃结节,术后病理结果为原位癌。HRCT示结节形态规则(箭),无钙化、空洞、分叶征及毛刺征。图2 患者,女,52岁,右肺上叶混合性磨玻璃结节,术后病理结果为微浸润性肺腺癌。HRCT示结节形态规则(箭),无钙化、空洞、分叶征及毛刺征,其内实性成分较小、形态规则、呈线样。图3 女,45岁,右肺上叶纯磨玻璃样结节。在CT图像上沿病灶边缘逐层手动勾画ROI,软件即可生成结节的三维容积ROI,用于提取结节的纹理特征参数。

表1 2组基于平扫CT图像提取的纹理参数值的比较

纹理特征参数	IA组	MIA/PIL组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
直方图参数				
平均值/HU	-147.49±135.86	-564.56±127.55	-3.03	0.003
标准差/HU	200.38±42.38	167.85±44.30	-3.17	0.002
P ₁₀ /HU	-708.35±99.69	-757.37±91.89	-2.20	0.031
P ₂₅ /HU	-609.34±125.48	-680.44±106.20	-2.66	0.010
P ₅₀ /HU	-491.24±149.18	-581.00±134.13	-2.73	0.008
P ₇₅ /HU	-351.65±163.59	-470.46±157.30	-3.16	0.002
P ₉₀ /HU	-202.75±172.55	-346.26±181.87	-3.42	0.001
偏度	0.51±0.54	0.72±0.55	1.63	0.108
峰度	0.71±1.22	1.43±1.97	1.96	0.053
GLCM参数				
能量	0.009±0.002	0.012±0.003	5.64	<0.001
熵	7.100±0.200	6.690±0.350	-6.50	<0.001
相关性	3.40±1.20	2.60±1.10	-2.71	0.008
均匀性	1.49±0.23	1.33±0.18	-3.21	0.002

表2 2组基于增强CT图像提取的纹理参数值的比较

纹理特征参数	IA组	MIA/PIL组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
直方图参数				
平均值/HU	-459.26±134.12	-524.40±140.46	-2.01	0.049
标准差/HU	202.71±54.29	171.28±55.21	-2.43	0.017
P ₁₀ /HU	-692.91±118.39	-721.70±104.50	-1.11	0.269
P ₂₅ /HU	-597.91±134.46	-639.12±123.52	-1.37	0.174
P ₅₀ /HU	-482.79±142.57	-543.04±145.20	-1.78	0.080
P ₇₅ /HU	-344.76±152.45	-432.63±169.24	-2.29	0.025
P ₉₀ /HU	-186.10±170.60	-303.80±197.34	2.67	0.009
偏度	0.63±0.54	0.77±0.51	1.08	0.282
峰度	1.12±1.69	1.45±1.50	0.90	0.372
GLGM参数				
能量	0.010±0.002	0.012±0.003	3.82	<0.001
熵	7.000±0.210	6.690±0.360	-4.60	<0.001
相关性	3.50±0.90	2.70±1.20	-3.11	0.002
均匀性	1.50±0.23	1.37±0.31	-1.61	0.1132

分析,结果见表3~4。基于平扫和增强CT图像提取的纹理特征参数中,均以熵的AUC最大,其次为能量的AUC(图4a~b)。当联合能量和熵进行诊断时,基于非增强CT图像的AUC为0.873,基于增强CT图像的AUC为0.847(图4c)。

讨论

表现为GGO的肺腺癌在遗传和组织病理学水平

表3 基于平扫CT图像提取的纹理特征参数鉴别的效能

纹理特征参数	AUC	阈值	敏感度	特异度
平均值	0.708	-612.55/HU	89.7%	50.0%
标准差	0.700	161.17/HU	86.2%	47.9%
P ₁₀	0.656	-762.73/HU	72.4%	46.2%
P ₂₅	0.668	-670.67/HU	69.0%	66.7%
P ₅₀	0.682	-535.53/HU	69.0%	66.7%
P ₇₅	0.716	-520.38/HU	86.2%	56.2%
P ₉₀	0.734	-508.67/HU	82.8%	59.2%
能量	0.839	0.009	85.4%	72.4%
熵	0.859	6.87	89.7%	66.7%
相关性	0.667	3.23	96.6%	42.7%
均匀性	0.726	1.33	79.3%	60.4%

表4 增强CT图像提取的纹理特征参数鉴别的效能

纹理特征参数	AUC	阈值	敏感度	特异度
平均值	0.649	-527.84HU	72.4%	62.5%
标准差	0.660	179.19HU	72.4%	58.3%
P ₇₅	0.675	-406.85HU	72.4%	66.7%
P ₉₀	0.693	-256.01HU	72.4%	66.7%
能量	0.808	0.010	75.0%	79.3%
熵	0.820	6.85	82.8%	72.9%
相关性	0.711	2.85	79.3%	60.4%

上具有异质性。异质性是公认的恶性肿瘤的特征,反映了较高的细胞密度、坏死、出血和黏液样变^[12]。纹理分析通过检测图像中细微体素灰度的分布和关系来定量获取图像中的信息,从而提取与组织异质性相关的定量参数^[13]。

Lee等^[14]发现,pGGO可表现为AAH、AIS或MIA,mGGO则主要表现为MIA和IA,其结果与本研究结果一致。在本研究中,所有PIL均表现为pGGO,而MIA和IA部分表现为pGGO、部分表现为mGGO。一些研究表明,含有实性成分、毛刺征、分叶征、空泡征和胸膜凹陷征是GGO的典型恶性征象^[14-16]。为了更好地解决临床实际问题,部分研究中将有明显恶性征象的病例剔除,包括肿瘤明显分叶、空

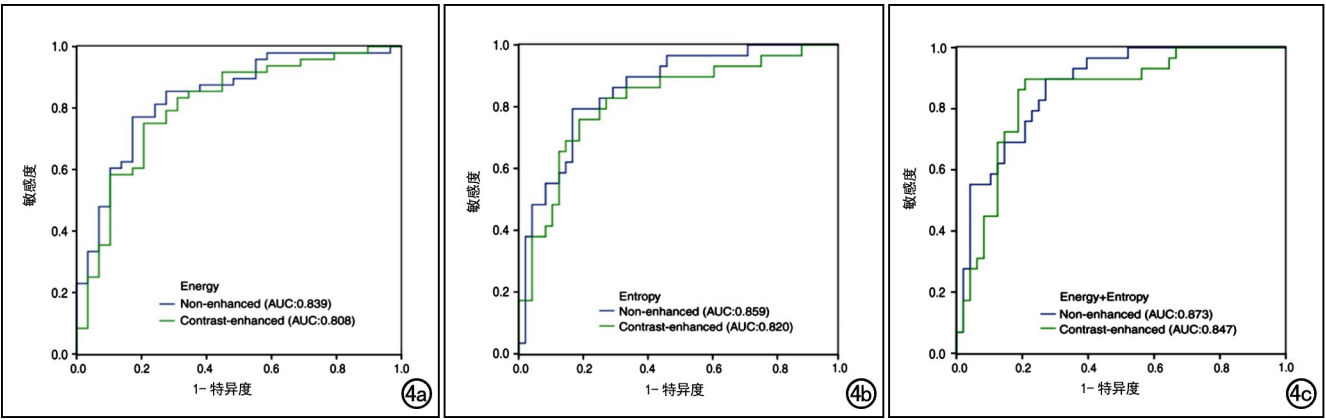


图 4 纹理特征参数(能量和熵)评估肺腺癌浸润性的 ROC 曲线。a)基于平扫 CT 图像提取的能量和熵的 ROC 曲线,AUC 分别为 0.839 和 0.859;b)基于 CT 增强图像提取的能量和熵的 ROC 曲线,AUC 分别为 0.818 和 0.820;c)联合能量和熵进行评估时,基于平扫图像时 AUC 为 0.873,基于增强图像时 AUC 为 0.847。

泡、明显的实性成分及不规则形状的实性成分^[17-18]。我们团队同样是将 pGGO 或含有少量实性成分的 mGGO 结节纳入本研究中(图 3)。谭明瑜等^[19]将样本分为浸润前病变和浸润性病变,即 PIL 和 MIA/IA。Li 等^[20]将样本分为 3 组,即 PIL、MIA 和 IA。Son 等^[17]和 Chae 等^[18]与本研究一样,将样本分为 PIL/MIA 组和 IA 组。PIL/MIA 和 IA 患者的手术方式及预后相差较大^[2-3],因此,样本分为 PIL/MIA 和 IA 两组,不仅使实验设计简单,而且能够更好地解决临床实际问题。既往有研究者使用平扫 CT 图像进行纹理分析^[18-20],也有一些研究者使用对比增强 CT 图像^[21-22]。然而,这些研究中并没有解释原因。本研究中旨在探讨并比较了基于平扫 CT 和对比 CT 图像的纹理分析技术在鉴别 IA 和 PIL/MIA 中的价值。

本研究共选取了 13 个纹理特征参数。在基于平扫 CT 图像的纹理分析中,有 11 个参数对鉴别 AI 与 MIA/PIL 有统计学意义,其中以能量和熵的诊断效能较高。在基于增强 CT 图像的纹理分析中,有 8 个参

数有鉴别诊断价值,同样以能量和熵的诊断效能较高。有研究表明,高熵值与肺癌^[17,21]、肝硬化^[23]和附件肿瘤^[24-25]的恶性程度相关。熵是衡量图像灰度分布随机性的特征参数,代表了图像纹理的复杂性,图像纹理越复杂,熵值越高^[26]。能量反映了纹理的灰度分布均匀性和粗糙度,图像越均匀,能量越高。肺腺癌浸润性增加伴有细胞通透性改变、异常血管生成、黏液化和坏死,从而导致肿瘤的不均匀性。因此 IA 在病理上表现为成分混杂和不均匀。本研究结果显示 IA 组的能量小于 PIL/MIA 组,IA 组的熵大于 PIL/MIA 组,表明 IA 在 CT 图像上灰度分布相对不均匀、局部纹理较杂乱,而 PIL/MIA 多表现为灰度分布较均匀、局部纹理规律性较强。

最初假设偏度或峰度可能有助于区分 IA 与 PIL/MIA,如之前的许多研究结果所示^[16,18,27,28]。然而,目前本研究结果并未能证实这一点。猜测可能是由于 IA、PIL 和 MIA 的直方图差异太大,无法准确区分。大部分研究中基于整个 GGO 病灶来提取纹理特征,即在薄层 CT 图像上逐层勾画 ROI,得到整个病灶的三维容积 ROI,而不是使用 GGO 最大直径所在层面(单层面)来提取纹理特征^[26,29,30],此外,不同的放射科医师对 GGO 最大直径的选择可能有所不同。因此,在本研究中,同样提取病灶的三维图像进行纹理分析。

在 GGO 的影像诊断中,平扫和增强 CT 图像有各自的优点:增强 CT 可提供病灶的血供特征以及是否肺血管受累,从而有助于间接判断病灶的良、恶性;而平扫 CT 操作简单,无需使用对比剂,在 GGO 病灶的定期复查和对比观察过程中是主要的检查方法。在本研究中,与增强 CT 图像相比,平扫 CT 图像上提取的纹理参数中在两组间差异有统计学意义的参数更多。基于平扫 CT 图像提取的能量和熵的诊断效能略高于

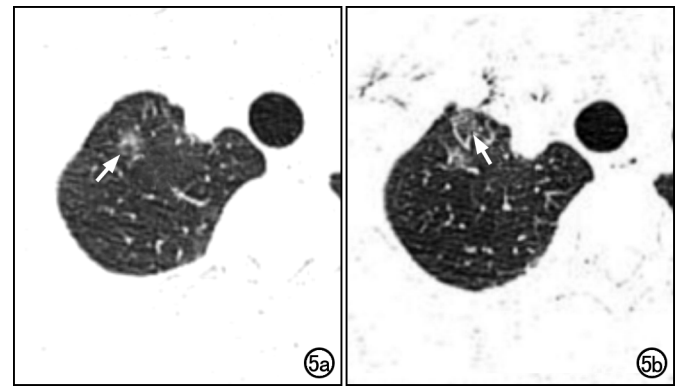


图 5 患者,女性,38 岁,右肺上叶磨玻璃结节。a)平扫 CT 图像上病灶清晰显示(箭);b)增强 CT 图像上,由于局部有明显的射线硬束化伪影,结节显示较模糊(箭)。

增强 CT 图像,尽管它们都具有良好的诊断性能。笔者分析原因可能如下:首先,使用碘对比剂获得的增强 CT 图像主要与存在不同血管化区域有关。然而,基于平扫 CT 图像的纹理分析可以反映肿瘤细胞在病灶内的分布。此外,在增强 CT 扫描中,腋静脉、锁骨下静脉和上腔静脉内的高浓度碘对比剂可能产生明显的射线束硬化伪影,并可能干扰附近 GGO 病变的显示(图 5)。因此,对于 CT 纹理分析,NECT 可能是一个更好的选择。

本研究存在一定的局限性:①本研究为回顾性研究,可能存在一定的选择偏倚;②样本量较小;③所有患者并不是使用同一台 CT 机进行扫描的,不同机型 CT 图像间提取的纹理参数有可能存在系统误差;④病灶边界均由放射科医师手动勾画,对病灶具体轮廓的判定受个人经验的影响;⑤患者的 CT 平扫和增强检查并不是在同一时间进行的,对两者的对照研究有可能存在影响。⑥除了肺腺癌,良性病变,包括局灶性炎症、水肿或出血,也可表现为 GGO,本研究中仅包括确诊为肺腺癌的 GGO,对包括其它类型 GGO 的研究将是下一步的研究重点。

总之,CT 图像纹理分析技术,不管是基于平扫还是增强 CT,都能较好地鉴别 IA 与 MIA/PIL,尤其是能量和熵这 2 个纹理参数;从本组的初步研究结果来看,基于平扫 CT 图像的纹理分析效果似更好,且其获取更简单、无需使用对比剂,故认为基于平扫 CT 图像的纹理分析可能是一个更好的选择。

参考文献:

- [1] Travis WD, Brambilla E, Noguchi M, et al. International association for the study of lung cancer: American Thoracic Society/European Respiratory Society International Multidisciplinary Classification of Lung Adenocarcinoma[J]. Thorac Oncol, 2011, 6(2): 244-285.
- [2] 姜格宁, 陈昶, 朱余明, 等. 上海市肺科医院磨玻璃结节早期肺腺癌的诊疗共识(第一版)[J]. 中国肺癌杂志, 2018, 21(3): 147-159.
- [3] Lee SM, Park CM, Goo JM, et al. Invasive pulmonary adenocarcinomas versus preinvasive lesions appearing as ground-glass nodules: differentiation by using CT features[J]. Radiology, 2013, 268(1): 265-273.
- [4] Kim HY, Shim YM, Lee KS, et al. Persistent pulmonary nodular ground-glass opacity at thin-section CT: histopathologic comparisons[J]. Radiology, 2007, 245(1): 267-275.
- [5] Lee SM, Park CM, Goo JM, et al. Invasive pulmonary adenocarcinomas versus preinvasive lesions appearing as ground-glass nodules: differentiation by using CT features[J]. Radiology, 2013, 268(1): 265-273.
- [6] Lee HJ, Goo JM, Lee CH, et al. Nodular ground-glass opacities on thin-section CT: size change during follow-up and pathological results[J]. Korean J Radiol, 2007, 8(1): 22-31.
- [7] Lim HJ, Ahn S, Lee KS, et al. Persistent pure ground-glass opacity lung nodules ≥ 10 mm in diameter at CT scan: histopathologic comparisons and prognostic implications[J]. Chest, 2013, 144(4): 1291-1299.
- [8] 龚爱迪, 杨光杰, 王振光, 等. HRCT 纹理分析术前预测肺腺癌患者微血管侵犯的价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 35(5): 903-907.
- [9] 张晶晶, 李庆祝, 王建华, 等. 增强 CT 联合纹理分析鉴别胰头肿块型胰腺炎与胰头癌价值分析[J]. 中华医学杂志, 2019, 99(33): 2575-2580.
- [10] 丁玖乐, 邢兆宇, 陈真, 等. CT 纹理分析术前预测肾脏透明细胞癌 Fuhrman 分级的价值[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(8): 614-618.
- [11] 邢倩, 张晓东, 王霄英. 基于胸部 CT 影像组学的肺结节影像学性质判断[J]. 放射学实践, 2020, 35(3): 340-345.
- [12] 刘慧, 王小宜, 龙学颖. 基于 CT 图像纹理分析肿瘤异质性的研究进展及应用[J]. 国际医学放射学杂志, 2016, 39(5): 543-548.
- [13] Balaji G, Miles KA. Quantifying tumour heterogeneity with CT[J]. Cancer Imaging, 2013, 13(1): 140-149.
- [14] Lee SW, Leem CS, Kim TJ, et al. The long-term course of ground-glass opacities detected on thin-section computed tomography[J]. Respir Med, 2013, 107(6): 904-910.
- [15] 李月月, 罗学毛, 张鑫, 等. 磨玻璃结节样多灶性肺腺癌 CT 征象与病理对照[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(1): 60-63.
- [16] Aoki T, Tomoda Y, Watanabe H, et al. Peripheral lung adenocarcinoma: correlation of thin-section CT findings with histologic prognostic factors and survival[J]. Radiology, 2001, 220(3): 803-809.
- [17] 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/OL]. PLoS One, 2014, 9(8): e104066. DOI: 10.1007/s00330-015-3816-y.
- [18] Chae HD, Park CM, Park SJ, et al. Computerized texture analysis of persistent part-solid ground-glass nodules: differentiation of preinvasive lesions from invasive pulmonary adenocarcinomas[J]. Radiology, 2014, 273(1): 285-293. DOI: 10.1148/radiol.14132187
- [19] 谭明瑜, 赵伟, 马伟玲, 等. 基于薄层 CT 的三维影像组学在预测亚厘米磨玻璃样肺腺癌浸润程度的价值[J]. 放射学实践, 2020, 35(8): 960-966.
- [20] Li W, Wang X, Zhang Y, et al. Radiomic analysis of pulmonary ground-glass opacity nodules for distinction of preinvasive lesions, invasive pulmonary adenocarcinoma and minimally invasive adenocarcinoma based on quantitative texture analysis of CT[J]. Chin J Canc Res, 2018, 30(4): 415-424.
- [21] 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.
- [22] Suo S, Cheng J, Cao M, et al. Assessment of heterogeneity difference between edge and core by using texture analysis[J]. Acad Radiol, 2016, 23(9): 1115-1122.
- [23] Fujimoto K, Tonan T, Azuma S, et al. Evaluation of the mean and entropy of apparent diffusion coefficient values in chronic hepatitis C: correlation with pathologic fibrosis stage and inflammatory activity grade[J]. Radiology, 2011, 258(3): 739-748. DOI: 10.

- 1148/radiol.10100853.
- [24] Kierans AS, Bennett GL, Mussi TC, et al. Characterization of malignancy of adnexal lesions using ADC entropy: comparison with mean ADC and qualitative DWI assessment[J]. JMRI, 2013, 37(1):164-171.
- [25] Cao MQ, Suo ST, Zhang B, et al. Entropy of T_2 -weighted imaging combined with apparent diffusion coefficient in prediction of uterine leiomyoma volume response after uterine artery embolization[J]. Acad Radiol, 2014, 21(4):437-444.
- [26] Ganeshan B, Miles KA, Young R, et al. Hepatic entropy and uniformity: additional parameters that can potentially increase the effectiveness of contrast enhancement during abdominal CT: Science Direct[J]. Clin Radiol, 2007, 62(8):761-768.
- [27] Chandarana H, Rosenkrantz AB, Mussi TC, et al. Histogram analysis of whole-lesion enhancement in differentiating clear cell from papillary subtype of renal cell cancer[J]. Radiology, 2012, 265(3):790-798.
- [28] Wang S, Kim S, Zhang Y, et al. Determination of grade and subtype of meningiomas by using histogram analysis of diffusion-tensor imaging metrics[J]. Radiology, 2012, 262(2):584-592.
- [29] 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.
- [30] Ravanelli M, Farina D, Morassi M, et al. Texture analysis of advanced non-small cell lung cancer (NSCLC) on contrast-enhanced computed tomography: prediction of the response to the first-line chemotherapy[J]. Eur Radiol, 2013, 23(12):3450-3455.
- (收稿日期:2021-02-05 修回日期:2021-06-22)

《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

遵照同行评议、价值导向、等效应用原则,国内各大学会、协会、组织机构通过科技工作者推荐、专家评议、结果公示等规定程序,《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。《放射学实践》杂志入选 2020 年版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》。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过“添加朋友”,在搜索栏里直接输入“放射学实践”进行搜索。
2. 在“查找微信公众号”栏里输入“放射学实践”即可找到微信公众号,点击“关注”,添加到通讯录。
3. 打开微信,点击“扫一扫”,手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



关注有惊喜!