·临床研究·

高分辨率 CT 在表现为纯磨玻璃结节肺腺癌中的诊断价值

李艳　李运健*

（江苏省盐城市第三人民医院影像科，盐城 224008）

【摘要】 **目的**　分析在高分辨率CT（high-resolution CT, HRCT）检查条件下表现为纯磨玻璃结节（pure ground-glass nodule, pGGN）的肺腺癌的CT特征与病理组织学之间的联系。**方法**　采用回顾性研究方法，选取我院2021年10月至2024年12月收治的经病理证实的pGGN肺腺癌患者作为研究对象。根据病理组织学结果将病变分为浸润前病变［包括不典型腺瘤样增生（atypical adenomatous hyperplasia, AAH）和原位腺癌（adenocarcinoma in situ, AIS）］和浸润性病变［包括微浸润性腺癌（minimally invasive adenocarcinoma, MIA）和浸润性腺癌（invasive adenocarcinoma cancer, IAC）］两类，比较两类病变在CT特征和血管、气腔及瘤肺交界面特征方面的差异。**结果**　本研究共纳入419例肺结节患者，病理类型包括AAH 21例（5.0%）、AIS 133例（31.7%）、MIA123例（29.4%）和IAC 142例（33.9%）。浸润性病变组的病变大小、长短径比值、平均CT值、CT增加值及CT值标准差均显著高于浸润前病变组，差异均有统计学意义（$P<0.05$）。浸润性病变组的血管改变、气腔改变和瘤肺交界面异常发生率高于浸润前病变组，差异均有统计学意义（$P<0.05$）。**结论**　HRCT的定量与形态学特征可构建用于pGGN肺腺癌术前精准分级的诊断框架，为浸润程度评估及治疗决策提供重要依据。

【关键词】 高分辨率CT；纯磨玻璃结节；肺腺癌

【中图分类号】 R814.42　　【文献标识码】 A　【DOI】 10.11876/mimt202506008

Diagnostic value of high-resolution CT in pulmonary adenocarcinoma presenting as pure ground-glass nodules

*Li Yan, Li Yunjian**

(Imaging Department, the Third People's Hospital of Yancheng City, Yancheng 224008, China)

【**Abstract**】 **Objective**　To analyze the association between CT features and histopathology of lung adenocarcinoma presenting as pure ground-glass nodules under high-resolution CT examination conditions. **Methods**　A retrospective analysis was conducted on the CT manifestations of lung adenocarcinoma with pure ground-glass nodules confirmed by pathology in our hospital from October 2021 to December 2024. The main objective factors to be observed are the size and density of ground-glass nodules, as well as the CT manifestations such as vacuole sign, bronchial changes, vascular changes, presence or absence of spicules, lobulation and nodule – lung interface. Compare the differences in CT features among different histopathological subtypes: pre-invasive group [including atypical adenomatous hyperplasia (AAH) and adenocarcinoma in situ (AIS)] and invasive group [including minimally invasive adenocarcinoma (MIA) and invasive adenocarcinoma cancer(IAC)]. **Results**　This study enrolled a total of 419 patients with pulmonary nodules. The pathological subtypes included 21 cases (5.0 %) of AAH, 133 cases (31.7%) of AIS, 123 cases (29.4%) of MIA, and 142 cases (33.9%) of IAC. The invasive group showed significantly greater lesion size, long-to-short diameter ratio, mean CT attenuation, CT enhancement, and standard deviation of CT values than the pre-invasive group ($P<0.05$). The incidences of vascular abnormality, air-space change, and tumor–lung interface abnormality were also higher in the invasive group than in the pre-invasive group ($P<0.05$). **Conclusion**　A diagnostic framework for the precise preoperative grading of pure ground-glass nodule pulmonary adenocarcinoma can be constructed from high-resolution CT features, providing important basis for assessment of invasion degree and treatment decision-making.

【**Key words**】 High-resolution CT (HRCT); Pure ground-glass nodules (pGGN); Lung adenocarcinoma

第一作者：李艳，女，硕士研究生，副主任医师，研究方向：心胸乳腺方向

通信作者：李运健，男，硕士研究生，副主任医师，研究方向：心胸方向

肺癌是全球范围内发病率和死亡率最高的恶性肿瘤。根据2020年全球癌症统计数据，肺癌新发病例约221万例，占恶性肿瘤总发病数的11.5%，死亡病例约180万例，位居所有恶性肿瘤之首[1]。因此，早期肺癌的诊断和治疗对于提高患者的生存率和改善预后至关重要。近些年，随着高分辨率计算机断层扫描（high resolution CT, HRCT）技术的广泛应用，越来越多的肺结节，尤其是纯磨玻璃结节（pure ground-glass nodule, pGGN）被检出。pGGN是早期肺腺癌的常见表现形式，其病理过程通常是从不典型腺瘤样增生（atypical adenomatous hyperplasia, AAH）逐渐发展为原位腺癌（adenocarcinoma in situ, AIS）、微浸润性腺癌（minimally invasive adenocarcinoma, MIA），直至浸润性腺癌（invasive adenocarcinoma cancer, IAC）[2]。尽管HRCT使pGGN检出率增加，但现有研究仍存在不足。既往研究多聚焦于pGGN形态学特征与病理分期的相关性，缺乏基于计算机断层扫描影像精准区分不同病理阶段pGGN的综合标准[3]。此外，pGGN从AAH向AIS、MIA和IAC进展的动态变化及预测因素尚未完全明确。基于此，本研究探讨pGGN的CT特征与病理组织学之间的关系，以期为提高早期肺癌的诊断准确性和制定更有效的早期管理策略，改善患者预后提供一定参考。

1 材料和方法

1.1 一般资料

本研究采用回顾性研究方法，选取2021年10月至2024年12月盐城市第三人民医院收治的419例经病理证实的pGGN患者作为研究对象，其中，男性113例，女性306例；年龄45～67岁，平均（56.4±10.6）岁。纳入标准：①在窗宽窗位设置为肺窗的HRCT图像上无明显实性成分，即不能掩盖肺部血管或支气管影像的密度；②病理组织学确诊为肺腺癌（MIA、IAC）或者癌前病变（AHH、AIS）；③HRCT检查与手术切除之间的时间间隔小于15 d。排除标准：①合并其他部位原发性恶性肿瘤或肺内转移瘤者；②术前接受过穿刺活检、消融等肺部介入操作，可能影响结节影像学特征者；③伴有严重心肺功能障碍、血液系统疾病或免疫抑制状态等影响手术评估的并发症；④图像存在显著伪影或质量不满足诊断与分析要求。本研究经盐城市第三人民医院伦理审查委员会的批准。

1.2 pGGN病理诊断标准与分类依据

所有pGGN的病理结果均由一名胸部病理学诊断方面经验丰富的高年资副主任医师复核，根据《WHO胸部肿瘤分类（第5版）》[4]，将病变分为浸润前病变（包括AAH和AIS）和浸润性病变（包括MIA和IAC）两类，浸润性病变即诊断为肺腺癌，其中：①AAH表现为局限性（≤5 mm）的Ⅱ型肺泡上皮细胞轻度异型增生，无间质、脉管或胸膜侵犯；②AIS为纯贴壁生长型腺癌（≤3 cm），无间质、支气管或脉管浸润；③MIA以贴壁生长为主但伴有≤5 mm的浸润性成分（腺泡/乳头/实体型），且无脉管或胸膜侵犯；④IAC指浸润成分>5 mm或存在脉管、支气管及胸膜侵犯的病变。

1.3 检查方法

使用GE医疗64排128层宝石能谱CT进行HRCT扫描，管电压120 kVp，管电流100～250 mAs，层厚及层间距均为0.625 mm。患者于深吸气末屏息，扫描范围自肺尖至肺底。扫描结束后进行骨算法或者高分辨算法重建，窗位：-600 HU；窗宽：1 500 HU。

由两名具有10年以上胸部CT诊断经验的放射科副主任及以上职称医师独立评估HRCT图像。评估采用双盲设计，医师不知晓患者的病理结果及临床资料。若意见不一致，由两人协商裁定。pGGN被定义为中间窗图像上的结节状局限性密度增高影（窗位：-600 HU；窗宽：1 500 HU），在纵隔窗图像上病变内没有软组织衰减（窗位：40 HU；窗宽：400 HU）。每个结节采用中间窗设置（窗位：-600 HU；窗宽：1 500 HU）评估病变大小、平均CT值、CT值标准差、血管改变、气腔改变、瘤肺交界面。病变大小为横断面图像上的最大直径（长径）和与之垂直的短径的平均值。在显示结节最大径的轴位图像上，由医师手动勾画整个结节的轮廓作为感兴趣区，并小心避开结节内及边缘肉眼可见的血管和支气管。计算机自动计算该感兴趣区内所有像素的平均CT值与CT值标准差。血管改变定义为血管增

粗、增多、扭曲紊乱或周边血管向结节纠集（走行方向的改变）。气腔改变包括空泡征和支气管扩张扭曲，空泡征定义为结节内局限性无肺纹理无壁的密度减低区，支气管扩张扭曲定义为结节内异常扩张的细支气管或者扭曲变形的细支气管。瘤肺交界面的评估为有无分叶、有无毛刺以及有无小叶间隔阻挡，当毛刺与胸膜相连时则形成胸膜牵拉征。

1.4 观察指标

（1）统计所有患者的病理组织学亚型分布，即AAH、AIS、MIA和IAC的占比。

（2）分析pGGN不同病理组织学亚型的CT特征，包括病变大小、长短径比值、平均CT值、CT增加值、CT值标准差。于平扫CT结节最大层面勾画全结节感兴趣区（避开血管、支气管），计算机自动计算感兴趣区内像素均值，即为平均CT值。CT增加值为同一结节增强后CT值与平扫平均CT值之差，公式为 $\Delta CT=CT_{增强}-CT_{平扫}$，需在同一层面相同感兴趣区测量。CT值标准差是指肺结节内部所有像素的CT值的离散程度，用于反映结节内部密度的均匀性，计算公式为 $\sigma=\sqrt{\frac{\sum(x_i-\mu)^2}{N}}$，其中，$x_i$是第$i$个像素的CT值，$\mu$是所有像素的平均CT值，$N$是结节区域内的像素总数。

（3）分析pGGN不同病理组织学亚型的血管、气腔及瘤肺交界面特征。

1.5 统计学方法

采用SPSS 22.0软件进行数据统计分析。计量资料以$\bar{x}\pm s$表示，组间比较采用独立样本t检验；计数资料以n（%）表示，组间比较采用χ^2检验。以$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 病理组织学亚型分布及CT特征比较

419例pGGN患者中，21例为AAH（5.0%），133例为AIS（31.7%），123例为MIA（29.4%），142例为IAC（33.9%）。浸润性病变组的病变大小、长短径比值、平均CT值、CT增加值及CT值标准差均显著高于浸润前病变组，差异均有统计学意义（$P<0.05$），见表1。

表1 不同病理组织学亚型的CT特征比较（$\bar{x}\pm s$）

CT特征	浸润前病变（AAH + AIS）（n=154）	浸润性病变（MIA + IAC）（n=265）	t值	P值
病变大小（mm）	6.60 ± 2.10	11.60 ± 3.50	12.342	<0.001
长短径比值	1.10 ± 0.20	1.40 ± 0.30	8.763	<0.001
平均CT值（HU）	–606.00 ± 90.00	–366.00 ± 141.00	10.231	<0.001
CT增加值（HU）	236.00 ± 70.00	457.00 ± 124.00	11.540	<0.001
CT值标准差（HU）	66.00 ± 40.00	78.00 ± 45.00	3.450	0.001

注：AAH为不典型腺瘤样增生；AIS为原位腺癌；MIA为微浸润性腺癌；IAC为浸润性腺癌。

2.2 不同病理组织学亚型的血管、气腔及瘤肺交界面特征比较

浸润性病变组的血管改变、气腔改变和瘤肺交界面异常发生率分别为45.3%、37.7%、41.5%，高于浸润前病变组的19.5%、12.9%、16.2%，差异均有统计学意义（$P<0.05$）。在伴有血管改变的病例中，浸润性病变组的血管改变位于病灶内的比例为87.5%（105/120），浸润前病变组则为66.7%（20/30），差异有统计学意义（$\chi^2=4.170$, $P=0.041$）；在存在气腔改变的病例中，浸润性病变组主要表现为空泡征，占比为75.0%（75/100），浸润前病变组则为空泡征与支气管扩张/扭曲各占50.0%（10/20），差异有统计学意义（$\chi^2=5.042$, $P=0.025$）；在存在瘤肺交界面异常的病例中，浸润性病变组主要表现为分叶/毛刺，占比为70.9%（78/110），浸润前病变组则为分叶/毛刺占40.0%（10/25）、小叶间隔阻挡占60.0%（15/25），差异有统计学意义（$\chi^2=8.574$, $P=0.003$）。

3 讨论

原发性肺癌的发病率和病死率在我国所有恶性肿瘤中均居首位。当前，我国肺癌患者的5年生存率不到20%。然而，对于一期肺癌患者，其5年生存率可达到77% ~ 92%。特别是表现为pGGN的早期肺癌，其5年生存率较高，预后显著优于其他类型的早期肺癌[5]。因此，肺癌早诊早治能够明显提高肺癌患者的 5 年生存率以及显著改善患者的预后。

早期肺癌尤其是早期肺腺癌常表现为pGGN[6]。随着HRCT在肺结节筛查中的广泛应用，越来越多的肺结节尤其是pGGN 被检出。持续存在3个月以上且无明显缩小的pGGN就有可能是肺腺癌或癌前病变[7]。此外，既往研究[8-9]提示，肺腺癌患者的预后可能取决于病理组织中侵袭性成分的组成和大小。肺腺癌尤其是表现为pGGN的肺腺癌往往是由AAH样增生逐渐发展为AIS乃至MIA直至IAC，是一个渐进性缓慢发展的过程[10]。因此，表现为pGGN的肺腺癌不同的病理组织学亚型之间的CT特征必然存在着一定的重叠，给精准诊断带来困惑和难点。本研究结果显示，浸润前病变和浸润性病变在病变大小、长短径比值、平均CT值、CT增加值、CT值标准差方面比较差异有统计学意义，提示影像学特征可以作为区分浸润前病变和浸润性病变的潜在指标，与何亚奇等[11]研究结果一致。分析原因在于病变大小的差异反映了肿瘤细胞的侵袭能力和生长模式，浸润性病变的肿瘤细胞突破基底膜后，能够沿着周围组织间隙和血管、淋巴管等结构进行扩散，其生长不受原有组织结构的限制，因此病变范围往往更大，而浸润前病变的肿瘤细胞被限制在基底膜内，生长空间有限，病变范围相对较小。这种病理学上的差异在影像学上表现为病变大小的不同，为影像学诊断提供了重要的参考依据。长短径比值的差异则与病变的形态特征密切相关[12]。浸润性病变由于肿瘤细胞的浸润性生长，其形态往往不规则，边界模糊，呈现出毛刺状、蟹足状等特征，导致长短径比值发生显著变化，而浸润前病变通常形态较为规则，其长短径比值相对稳定。这种形态学上的差异在影像学检查中可以通过精确测量病变的长径和短径来体现，从而为区分浸润前病变和浸润性病变提供了重要的量化指标[13]。平均CT值的差异反映了病变内部组织成分的不同，浸润性病变在生长过程中，会侵入周围正常组织，导致病变内部组织成分更加复杂，可能包含更多的纤维组织、坏死组织、出血等成分，这些成分会影响CT值的测量，而浸润前病变主要由增殖的肿瘤细胞和少量的间质组织组成，其组织成分相对单一，CT值相对稳定。CT增加值则进一步反映了病变在增强扫描后的强化程度，浸润性病变由于其血管生成更活跃，可能会表现出更高的强化程度，从而导致CT增加值更大[14]。CT值标准差则可以反映病变内部CT值的均匀性，浸润性病变由于内部组织成分复杂，CT值标准差可能会更大，而浸润前病变则相对较小。

浸润前病变以细胞异形为主，没有明显的破坏力，未能破坏肺泡间隔，而浸润性病变则伴随着成纤维成分的增加和肿瘤细胞的浸润，导致结节内部结构和周围组织的改变更为显著[15]。本研究结果显示，两组的血管改变、气腔改变、瘤肺交界面比较差异有统计学意义，提示病变在侵袭性、间质反应及局部浸润能力等方面具有本质区别，可为良恶性鉴别、浸润程度评估及治疗决策提供重要影像学依据，与韩萍萍等[16]报道结果一致。分析原因在于浸润性病变中，肿瘤细胞突破基底膜向周围间质浸润，刺激成纤维细胞活化并产生明显的促结缔组织增生反应，这一过程导致病灶内微血管扭曲变形、管腔狭窄甚至闭塞（血管改变）；同时，肿瘤细胞破坏肺泡壁结构，形成特征性的空泡征和支气管扩张（气腔改变）；此外，肿瘤边缘的浸润性生长方式及其引发的宿主间质反应共同导致了毛刺、分叶等瘤肺交界面特征[17]。相比之下，浸润前病变因局限于上皮层内，尚未突破基底膜，故不会引起明显的间质反应和结构破坏。这些影像学差异不仅反映了病变的侵袭性程度，也为临床鉴别诊断提供了重要依据，同时临床需要对血管改变、气腔异常和瘤肺交界面特征保持高度警惕，防范患者

发生浸润性病变的风险。值得注意的是，本研究发现，肺腺癌患者中女性占比较高，与全球肺腺癌性别分布趋势一致[18]。肺腺癌在亚洲女性中发病率较高，尤其是非吸烟人群；其次，激素因素如雌激素受体表达可能促进肿瘤发生，且女性表皮生长因子受体（epidermal growth factor receptor, EGFR）突变率显著高于男性；此外，环境暴露（二手烟、烹饪油烟）和诊断偏倚（筛查参与度）也可能产生影响。因此，临床需重视女性患者的早期筛查和分子检测，提前制定科学的肺腺癌治疗方案，改善患者预后。

综上所述，肺部pGGN与早期肺癌有明显的相关性，在CT检查中，我们需要多方面观察pGGN的密度、大小等定量测量，也应密切关注pGGN的血管改变以及气腔改变，当出现气腔改变时，结节的诊断效能明显提高。本研究存在一些局限性。首先，本研究存在患者选择偏倚，因为只纳入了手术切除且由病理证实为肺腺癌的pGGN，未纳入其他良性或者炎症性结节，其HRCT特征更倾向于恶性肿瘤。其次，本研究未分析浸润性腺癌的组织学亚型（如贴壁型与实体型）的CT差异，可能掩盖亚型特异性影像特征。最后，本研究未涉及结节的体积和质量测量，在机器辅助测量的情况下可能具有更大的意义，是今后需要进一步研究的方向。

[参 考 文 献]

[1] 邹小农, 贾漫漫, 王鑫, 等.《2020全球癌症报告》要点解读[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2021, 28(1): 11–18.

[2] Han B, Zheng R, Zeng H, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022[J]. J Natl Cancer Cent, 2024, 4(1): 47–53.

[3] Travis W D, Brambilla E, Nicholson A G, et al. The 2015 World Health Organization classification of lung tumors: impact of genetic, clinical and radiologic advances since the 2004 classification[J]. J Thorac Oncol, 2015, 10(9): 1243–1260.

[4] Nicholson A G, Tsao M S, Beasley M B, et al. The 2021 WHO classification of lung tumors: impact of advances since 2015[J]. Journal of Thoracic Oncology, 2022, 17(3): 362–387.

[5] Chen W, Sun K, Zheng R, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2014[J]. Chinese Journal of Cancer Research, 2018, 30(1): 1–12.

[6] 张晓东, 邢倩, 韩超, 等. 基于机器学习的低剂量胸部CT肺结节分类和预后随访的研究[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(10): 1962–1966.

[7] 周莹莹, 张永奎, 张善华, 等. 基于三维重建技术的肺磨玻璃结节生长规律研究[J]. 中国肺癌杂志, 2023, 26(4): 265–273.

[8] 黄楚红, 程贞, 卢惠浩, 等. RuvB样AAA ATP酶2通过激活AKT/mTOR信号通路促进肺腺癌细胞增殖、迁移及侵袭[J]. 肿瘤学杂志, 2025, 31(5): 390–400.

[9] 罗丽花, 张婉仪, 阮君. 伴有浸润性微乳头结构肺腺癌的病理诊断及预后评价[J]. 临床医学工程, 2012, 19(7): 1082–1084.

[10] 陈杰, 步宏. 临床病理学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015.

[11] 何亚奇, 唐秉航, 全勇, 等. 浸润前病变与早期（ⅠA期）肺腺癌的影像学对比研究[J]. 肿瘤影像学, 2021, 30(1): 50–55.

[12] 王婉玲, 许存宝, 杨金玲, 等. 初治肺腺癌患者*EGFR*基因突变和*C-MET*基因扩增共存的临床病理及预后分析[J]. 中国医学科学院学报, 2023, 45(4): 627–633.

[13] 刘江江, 于晓军, 黄海涛, 等. 表现为周围型肺磨玻璃结节的浸润性腺癌影像学高危因素分析[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2024, 31(1): 85–91.

[14] 王蓉, 张娜, 王倩, 等. 基于CT影像特征及人工智能定量参数预测肺腺癌磨玻璃结节生长的危险因素[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2025, 23(1): 59–64.

[15] 倪玉宝, 卢金山, 陈健. 不同病理分型肺腺癌CT征象及其与血清肿瘤标志物水平、EGFR基因突变的关系[J]. 中南医学科学杂志, 2025, 53(3): 426–430.

[16] 韩萍萍, 富丽萍, 张凌, 等. 原发性肺黏液腺癌18F–FDG PET/CT与增强CT影像特征分析[J]. 协和医学杂志, 2022, 13(2): 270–276.

[17] 邵元伟, 滕敏敏, 王晓蕾, 等. 原发性肺浸润性黏液腺癌的临床病理特征与CT表现[J]. 中国临床医学影像杂志, 2020, 31(10): 719–722, 726.

[18] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 2018, 68(6): 394–424.