

血管分型特征对磨玻璃结节型肺腺癌侵袭程度的预测价值

陈宇铭 张东森 莫秋茹 赵启迪 农凤艳 李彩云 俞同福 陈爱萍

【摘要】 目的 探讨高分辨率 CT(HRCT)上血管分型特征对磨玻璃结节(GGN)型肺腺癌侵袭程度的预测价值。**方法** 回顾性分析我院 2018 年 1 月—2019 年 12 月经手术病理证实为肺腺癌的 649 枚磨玻璃结节。依据术后病理类型将其分为非侵袭性腺癌组[原位腺癌(AIS)/微浸润性腺癌(MIA)](292 例)与侵袭性腺癌组[浸润性腺癌(IAC)](357 例)。分析 GGN 的 HRCT 征象以及 GGN 内部和周围的血管特征。采用二元 Logistic 回归分析建立预测模型,并通过受试者工作特征(ROC)曲线和 Z 检验比较各模型的诊断效果。**结果** 两组之间具有显著统计学意义的 HRCT 征象包括支气管充气征、分叶征、毛刺征、空泡征、胸膜凹陷征、结节直径大小、肿瘤实性成分占比(CTR)、血管分型特征($P<0.001$)。加入血管分型特征联合其他 CT 独立预测变量建模与未加入血管分型特征建立的预测模型相比,AUC 值为 0.853($P<0.001$, 95%CI: 0.83~0.88)比 0.814($P<0.001$, 95%CI: 0.78~0.85),敏感度为 72.3%比 74.8%,特异度为 82.2%比 76.4%,提高了特异度和 AUC 值。Z 检验 ROC 曲线下面积之差为 0.039($P<0.05$)。**结论** 血管分型特征联合其他 HRCT 特征建立综合预测模型,有助于提高 GGN 型肺腺癌侵袭程度的预测效能。

【关键词】 肺肿瘤;肺磨玻璃结节;体层摄影术,X 线计算机;血管分型

【中图分类号】 R734.2;R814.42

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-8001(2023)04-0278-06

Value of vascular characteristics in predicting invasiveness of lung adenocarcinoma manifesting as ground glass nodule CHEN Yuming, ZHANG Dongmiao, MO Qiuru, ZHAO Qidi, NONG Fengyan, LI Caiyun, YU Tongfu, CHEN Aiping. School of Medical Imaging, Nanjing Medical University, Jiangsu 211166, China

Corresponding author: CHEN Aiping, Email: chenaiping-123@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the value of blood vessel typing on high-resolution CT (HRCT) in predicting the invasion degree of ground glass nodule (GGN) lung adenocarcinoma. **Methods** A retrospective analysis was performed on 649 ground glass nodules pathologically confirmed as lung adenocarcinoma in our hospital between January 2018 and December 2019. According to postoperative pathological types, the patients were categorized into non-invasive adenocarcinoma group [adenocarcinoma in situ (AIS)/minimally invasive adenocarcinoma (MIA)] ($n=292$) and invasive adenocarcinoma group [invasive adenocarcinoma (IAC)] ($n=357$). HRCT signs of GGN and vascular features within and surrounding GGN were analyzed. Binary logistic regression analysis was used to establish the prediction model, and the diagnostic performance of each model was compared using receiver operating characteristic (ROC) curve and Z test. **Results** The HRCT findings that showed statistical significance between the two groups included air bronchogram, lobular sign, burr sign, vacuole sign, pleural sag sign, diameter size, consolidation-to-tumor ratio (CTR), and vascular classification characteristics ($P<0.001$). When comparing the combined prediction model composed of all other independent CT predictors with vascular classification to the model without vascular classification, the AUC value of the former was 0.853 ($P<0.001$, 95%CI: 0.83~0.88) compared to 0.814 ($P<0.001$, 95%CI: 0.78~0.85) for the latter; with respective sensitivities of 72.3% and 74.8%, as well as specificities of 82.2% and 76.4%. These results indicate an improvement in specificity and AUC value by incorporating vascular classification into the model analysis ($P<0.05$). **Conclusion** The combination of vascular classification features with other HRCT features enables the establishment of a comprehensive prediction model, which can be valuable in predicting the degree of invasion efficiency in GGN lung adenocarcinoma.

【Key words】 Lung tumor; Pulmonary ground glass nodule; Tomography, X-ray computed; Vascular classification

肺癌是目前全球致死率最高的恶性肿瘤^[1], 其中肺腺癌是最常见的病理类型, 约占所有肺癌

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8001.2023.04.007

基金项目: 2021 年江苏省高等学校大学生创新创业训练计划基金资助项目(202110312071Y)

作者单位: 211166 江苏南京, 南京医科大学医学影像学院(陈宇铭、张东森、莫秋茹、赵启迪、农凤艳); 210029 江苏南京, 南京医科大学第一附属医院放射科(李彩云、俞同福、陈爱萍)

通信作者: 陈爱萍, Email: chenaiping-123@163.com

的 60%^[2]。肺磨玻璃结节(ground glass nodule, GGN)检出率持续升高,绝大部分早期肺腺癌表现为磨玻璃结节。根据 2021 年 WHO 胸部肿瘤分类,肺腺癌病理类型分为:腺体前驱病变即不典型腺瘤样增生(atypical adenomatous hyperplasia, AAH)、原位腺癌(adenocarcinoma in situ, AIS)、微浸润性腺癌(minimally invasive adenocarcinoma, MIA)和浸润性腺癌(invasive adenocarcinoma, IAC)^[3,4]。

不同病理亚型腺癌的处理方法及临床预后有很大差别^[5-7]。各种病理亚型的 GGN 在 CT 上具有较大的重叠性,高分辨率 CT(high-resolution CT, HRCT)的各种影像学特征如分叶征、毛刺征、胸膜凹陷征、支气管充气征、血管异常改变特征等,对于 GGN 良恶性及侵袭程度均有一定的价值。GGN 基本不掩盖结节内部穿行的血管走行,结节内穿行血管的数量、形态和走行能够在 HRCT 上进行清晰地分型,是分析肺结节良恶性及恶性程度的一个主要征象。本研究目的是分析磨玻璃结节的瘤内及瘤周血管分型特征联合其他影像特征对于 GGN 型肺腺癌侵袭程度的预测价值。

1 资料与方法

1.1 病例资料

回顾性分析我院 2018 年 1 月—2019 年 12 月经手术病理证实的 GGN 型肺腺癌患者。纳入标准如下:1)薄层胸部 HRCT 表现为 GGN;2)图像完整,均有高分辨率肺算法和标准算法,图像质量佳;3)术前 1 个月行 HRCT 检查;4)结节最大径介于 5 mm~3 cm;5)未接受放化疗或其他抗炎治疗。本研究共纳入 649 枚 GGN,女 481 例,男 168 例;年龄 21~80 岁,平均年龄 53 岁;非浸润性腺癌组 292 例(AIS:75 例, MIA:217 例),浸润性腺癌组(IAC)357 例。本研究为回顾性研究,已通过医院伦理委员会文件批准(2023-SRFA-337),免除患者知情同意。

1.2 CT 检查方法

采用双源 CT(Siemens Somatom Definition CT)进行横断面扫描,病人取仰卧位,扫描范围从肺尖至双侧肾上腺水平。扫描参数:探测器 192×0.6 mm,管电压 Sn 100 kV,管电流 80~250 mAs,重组层厚为 1.0 mm,层间距为 0.5 mm,分辨率 512×512 矩阵,准直器宽度 64×0.6 mm, Pitch 值 1.2。

1.3 图像分析

两名工作经验分别为 5 年和 15 年的胸部影像诊断医师未知病理结果前提下阅读横断面薄层 CT 肺窗和纵隔窗图像,并结合 CT 多种后处理重组技术[多平面重组(multi-planar reconstruction, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、三维容积再现(volume rendering, VR)等]进行评估。意见不一致时由一名具有 35 年胸部影像诊断经验的高年资放射科医师判决。分析的 HRCT 特征包括结节位置、分叶征、毛刺征、边缘特征、空泡征、结节数量、实性成分肿瘤占比、支气管充气征、胸膜凹陷征、直径大小和血管分型特征。

GGN 血管分型特征分为四型(图 1~5)^[8]:I 型:无内部穿行血管,邻近边缘仅有贴边走行血管;II 型:只有一支穿行血管,走行自然,管径正常或增粗;III 型:多支(≥ 2 支)穿行血管,走形自然,管径正常或增粗;IV 型:多支穿行血管,结构欠清,伴增粗或网状吻合。

肿瘤实性成分占比(consolidation-to-tumor ratio, CTR)指 GGN 实性成分最大径与 GGN 最大径的比值^[9],当结节形态不规则时,在三维重组图像上进行分析比较,实性成分的测量标准为 CT 值大于-188 HU^[10]。根据 CTR 将结节分为 3 组:0,无实性成分;1, $0.00 \leq \text{CTR} < 0.50$;2, $0.50 \leq \text{CTR} < 1.00$ 。

结节位置分类:左肺上叶 1,左肺下叶 2,右肺上叶 3,右肺中叶 4,右肺下叶 5。

1.4 统计学方法

采用 IBM SPSS Statistics Version 19、MedCalc Version 20.123 统计软件进行统计分析。正态分布两组数据的比较采用独立样本 t 检验,非正态分布两组数据用 Mann-Whitney U 检验,并使用卡方检验或 Fisher 确切概率法检验分类变量。

选用多变量 Logistic 回归计算优势比(odds ratio, OR)建立鉴别 GGN 非侵袭性腺癌组与侵袭性腺癌组的预测模型。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)及曲线下面积(area under curve, AUC)比较不同变量构建的预测模型的预测效能。用 Hosmer-Lemeshow 检验评价模型的拟合优度, $P > 0.05$ 视为拟合良好。

选用 ROC 曲线和 Z 检验分析比较各定量指标及联合模型的诊断效能。 $P < 0.05$ 时视为检验诊断

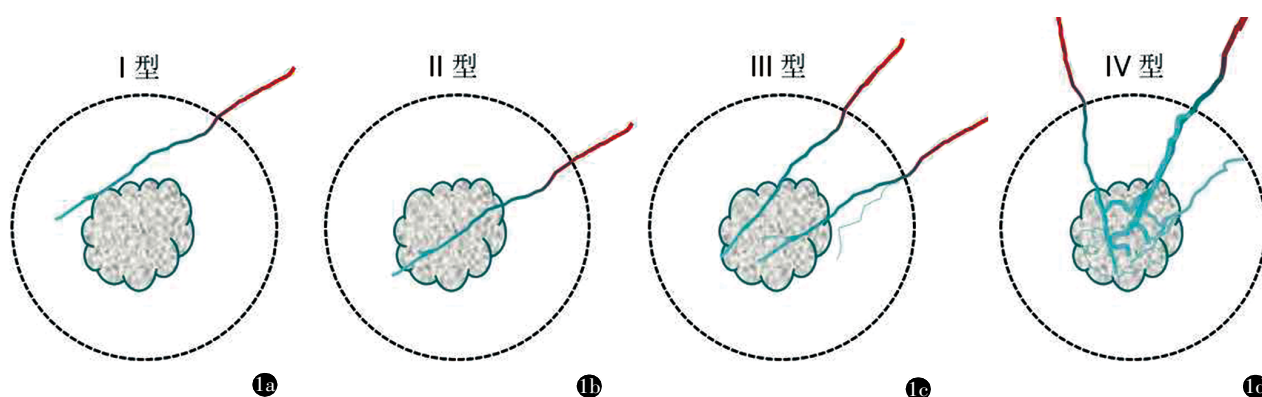


图 1 结节-血管分型特征示意图。a)~d)分别对应血管 I~IV 四型特征。

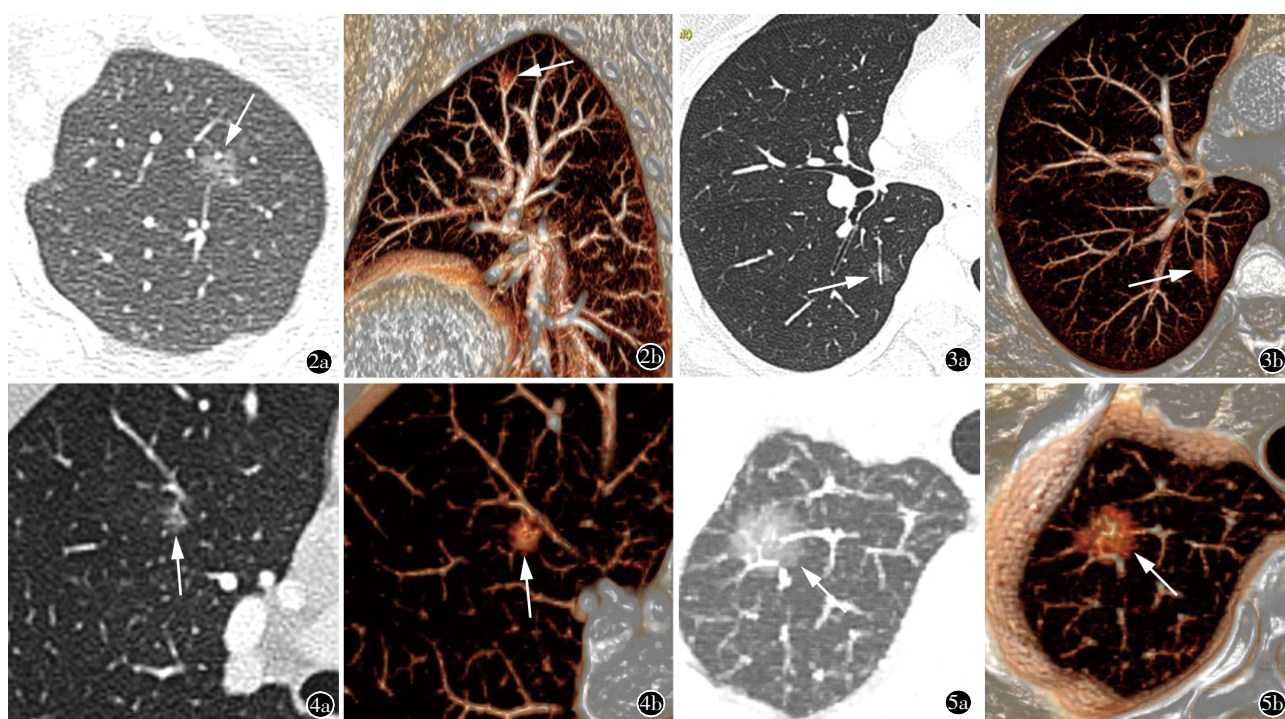


图 2 女, 42 岁, AIS。a)、b) 结节与血管关系对应 I 型, 仅有贴边血管, 内部无穿行血管(箭)。图 3 女, 38 岁, MIA。a)、b) 结节与血管关系对应 II 型, 单支穿行血管, 走形自然(箭)。图 4 女, 41 岁, IAC。a)、b) 结节与血管关系对应 III 型, 内部见多支穿行血管, 走形自然(箭), 部分稍增粗(箭)。图 5 女, 72 岁, IAC。a)、b) 结节与血管关系对应 IV 型, 多支穿行血管, 伴增粗及网状吻合(箭)(见封面彩图)。

指标有统计学意义。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床资料的比较

非侵袭性腺癌组 292 例, 侵袭性腺癌组 357 例, 两组患者的基本临床资料的比较结果显示, 非侵袭性腺癌组的年龄 50 岁(42, 59)与侵袭性腺癌组的年龄 55 岁(48, 63)比较, 不服从正态分布($P = 0.011$)。侵袭性腺癌组的最大三维直径(22.64 ± 19.29)显著大于非侵袭性腺癌组的最大三维直径(15.45 ± 12.05), 具有统计学差异($t = -5.55$,

$P < 0.001$)。非侵袭性腺癌组的男性占比 21.6%, 女性占比 78.4%, 侵袭性腺癌组男性占比 29.4%, 女性占比 70.6%, 差异具有统计学意义($\chi^2 = 5.14$, $P = 0.023$) (表 1)。

2.2 CT 特征的比较

两组间 CT 征象的比较见表 2。侵袭性腺癌组 GGN 的分叶征、毛刺征、胸膜凹陷征、空泡征、肿瘤实性成分占比、血管分型 III 型和 IV 型显著高于非侵袭性腺癌($P < 0.05$)。结节位置($P = 0.850$)、边缘特征($P = 0.115$)均差异无统计学差异。

2.3 CT 征象的独立预测效能分析

基于逐步多因素 Logistic 回归分析建立的影像组学模型结果见表 3, 支气管充气征、分叶征、胸膜凹陷征、CTR、血管分型特征均为独立显著性危险因素。

2.4 CT 图像特征及联合模型的诊断效能分析

根据回归方程的系数列出回归方程式, 将有统计学意义的临床和影像变量进行建模。血管分型特征的预测值为 0.735 ($P<0.001$, 95%CI: 0.69~0.77), CTR 的预测值为 0.717 ($P<0.001$, 95%CI: 0.68~0.76), 分叶征的预测值为 0.663 ($P<0.001$, 95%CI: 0.62~0.71), 胸膜凹陷征预测值为 0.652 ($P<0.001$, 95%CI: 0.61~0.69), 支气管充气征预测值为 0.620 ($P<0.001$, 95%CI:

0.58~0.66), 毛刺征的预测值为 0.555 ($P<0.001$, 95%CI: 0.51~0.60), 均有统计学差异。

Hosmer-Lemeshow 拟合度检验显示, 未加入血管分型特征预测模型和加入血管分型特征预测模型差异均无统计学意义 ($P=0.819$ 、0.376)。未加入血管分型特征预测模型的 AUC=0.814 ($P<0.001$, 95%CI: 0.78~0.85), 敏感度和特异度分别为 74.8% 和 76.4%。加入血管分型特征预测模型的 AUC=0.853 ($P<0.001$, 95%CI: 0.83~0.88), 敏感度和特异度分别为 72.3% 和 82.2%, Z 检验表明两组 ROC 曲线下面积之差为 0.039, $P=0.006<0.05$ (图 6)。

3 讨论

GGN 是一种惰性进展的肿瘤, 随着对 GGN 诊断和预后认识的深入, 2017 年 Fleischner 协会^[11]和美国国立综合癌症网络 (National Comprehensive Cancer Network, NCCN) 都更新了 GGN 诊疗指南, 目前手术指征更严格, 随访间隔时间更长。不同侵袭程度腺癌的预后有很大差别。AIS/MIA 预后良好, 5 年无病生存率几乎可达 100%, 可采用肺段/楔形切除、微创治疗, 或建议 CT 随访而无需手术治疗; 而 IAC 的 5 年无病生存率为 74.6%, 通常需行肺叶切除并术后密切随访排除其转移复发的可能^[5-7]。因此, 临床精准判断 GGN 型肺腺癌的病理分型和侵袭程度具有重要意义。

表 1 非侵袭性腺癌组与侵袭性腺癌组临床资料比较

特征	非侵袭性腺癌 (n=292)	侵袭性腺癌 (n=357)	t/ χ^2 /Z 值	P 值
性别 n (%)				
男	63 (21.6)	105 (78.4)	5.14	0.023
女	229 (29.4)	252 (70.6)		
年龄/岁	50 (42, 59)	55 (48, 63)	1.66	0.008
结节最大直径/mm	15.45±12.05	22.64±19.29	4.04	<0.001

表 2 非侵袭性腺癌组与侵袭性腺癌组影像特征比较

	非侵袭性腺癌 (n=292)	侵袭性腺癌 (n=357)	χ^2	P 值	OR 值
支气管充气征 n (%)	261 (89.4)	233 (65.3)	51.39	<0.001	4.44
分叶征 n (%)	136 (46.6)	282 (79.0)	73.63	<0.001	4.36
毛刺征 n (%)	7 (2.4)	48 (13.4)	25.28	<0.001	6.28
胸膜凹陷征 n (%)	46 (15.8)	163 (45.7)	65.79	<0.001	4.62
空泡征 n (%)	43 (14.7)	78 (21.8)	5.37	0.02	1.61
CTR					
0	261 (89.4)	167 (46.8)	130.13	<0.001	3.3
1	29 (9.9)	169 (47.3)			
2	1 (0.3)	22 (6.1)			
血管分型特征					
I 型	20 (6.9)	3 (0.8)	148.11	<0.001	7.11
II 型	103 (35.4)	18 (5.0)			
III 型	163 (56.0)	262 (73.2)			
IV 型	5 (1.7)	74 (20.9)			

注: CTR: 肿瘤实性成分占比。

表 3 影像特征的多因素 Logistic 回归模型

	回归系数	OR 值	95% 可信区间	P 值
截距	-0.33			<0.001
支气管充气征	0.10	1.11	0.023~0.180	0.012
分叶征	0.12	1.13	0.048~0.0192	0.001
毛刺征	0.06	1.06	-0.062~0.175	0.353
胸膜凹陷征	0.10	1.10	0.024~0.173	0.009
CTR	0.22	1.25	0.153~0.286	<0.001
血管分型特征	0.23	1.26	0.179~0.283	<0.001

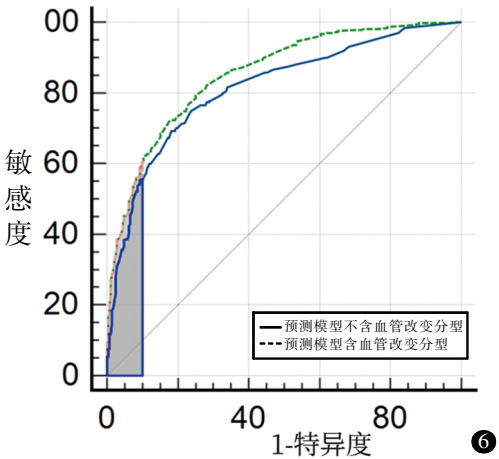


图 6 预测模型加入血管分型前后的 ROC 曲线。

国际和国内指南对 GGN 分类管理的主要依据是基于结节测量的直径大小和磨玻璃成分比例来制定随访计划, 缺乏综合 HRCT 特征分类的评估模型。本组病例显示 IAC 组结节的三维重组的最大径和肿瘤实性成分占比均显著大于 AIS/MIA 组, 提示 GGN 随着浸润程度的增高, 突破早期仅局限于沿肺泡壁贴壁生长模式, 超过肺泡间隔和小叶间隔的阻挡, 直径变大, 随着肺泡塌陷及肿瘤细胞的增殖, 实性成分增多, 与既往对 GGN 生长规律的研究一致^[12-14]。较小的 GGN 往往因结节体积较小且不具备分叶、毛刺、胸膜凹陷等常见的恶性征象, 很难依靠传统的影像特征进行诊断。随着 GGN 型肺腺癌侵袭程度的增加, 结节越容易表现出较多的常见恶性 CT 征象。本研究结果显示 IAC 组 GGN 的分叶征、毛刺征、胸膜凹陷征、空泡征显著高于 AIS/MIA 组 ($P<0.05$), 这符合腺癌的生长方式, 早期直径较小肿瘤没有突破小叶间隔, 随着肿瘤生长, 空间各方向受到的间质阻力不一致, 可表现为分叶征, 肿瘤向周围间质的浸润可以呈现毛刺征。胸膜凹陷征往往提示肿瘤对胸膜的侵犯增加, 恶性程度增高。混杂 GGN 内部出现空泡征预示着浸润程度提高。这与既往文献研究表明 GGN 结节的大小、内部结构、边缘及与邻近结构关系在一定程度上可以有效判断 GGN 型肺腺癌的侵袭性一致^[8, 12-21]。IAC 组的实性成分比例明显升高, 部分无实性成分的 GGN 也可以为 IAC, 其 CT 上显示结节直径大小、分叶、毛刺征和胸膜凹陷征的比例均高于 AIS/MIA 组, 这说明综合 HRCT 征象分析对腺癌侵袭性预测的重要性。实性成分占比超过 50% 的混杂 GGN, 绝大多数为浸润性腺癌, 本组 1 例混合磨玻璃结节诊断为 AIS 的患者, 其内部的实性成分在病理上对应肺纤维化。

GGN 在 CT 上不遮盖正常走行的肺血管, 因此 CT 高分辨率和多种图像后处理方法可以较好分析 GGN 瘤内和瘤周的血管特征。既往研究结节血管关系的文献^[8, 13-15, 19, 22]表明, 磨玻璃结节与血管的关系特征是亚实性结节 (sub-solid nodule, SSN) 型肺腺癌侵袭性的一个重要的指标, 血管向肺结节汇聚或包围可能与肺癌的分期和病理分型相关。Gao 等^[8]回顾性分析 108 例 GGN 的 CT 表现, 将结节血管关系分为四型, 结果显示, IAC 与 III 型和 IV 型关系密切相关。Zhang 等^[15]对 83 例孤立性

SSN 患者行周围血管 (I~IV 型) 分类, 发现 IAC 中周围血管 III 型和 IV 型占 92.1%。因此, 本研究在既往研究 GGN 瘤内和瘤周血管关系特征四型基础上做了适当调整, 增加了数据量, 结果显示 IAC 组绝大多数表现为 III 型和 IV 型, AIS/MIA 组以 II 型和 III 型为主, 这与既往文献的研究结果基本一致^[8, 13-15, 19, 22]。这表明不同病理类型 GGN 型肺腺癌与 CT 血管形态特征之间存在相关性, 非侵袭性腺癌的结节其内血管多走行自然, 提示腺癌早期并未侵犯肺间质; 而结节内部血管有增粗扭曲, 结构显示欠清晰, 出现交通吻合分支, 则提示腺癌的生长与侵袭性增高。其机制可能是由于非侵袭性腺癌其内穿行的血管自肺门向外周放射状分布且逐渐变细, I 型和 II 型血管为正常走行的肺血管, 并不能反应肿瘤的侵袭程度。Guo 等^[22]的研究结果证实肿瘤内微血管密度表达与不同病理类型 GGN 型肺腺癌的 CT 血管形态特征之间存在相关性。大多数 GGN 在 CT 图像上存在血管旁路或穿通, 51% 的恶性 GGN 存在血管扭曲、扩张或复杂的血管外观, 其机制是由于随着肺癌的生长, 肿瘤新生血管增多导致血管形态多样, 血管粗细不均匀, 相互吻合沟通。肿瘤血管生成在一定程度上反映肿瘤的生长和增殖状态, 恶性程度越高, 其供血越丰富, 聚集血管越复杂。

既往一些研究^[8, 13-15, 19, 23]通过筛选 CT 征象建立 GGN 型肺腺癌侵袭性的预测模型, 但由于多中心很难统一预测因子。本研究着重分析血管分型特征预测 GGN 侵袭程度的价值。本组病例侵袭性腺癌组主要表现为结节内部穿行血管分支增多、增粗, 血管扭曲、扩张及网状沟通, 而非侵袭性腺癌组内部穿行血管多走行自然, 数量较少, 两组间具有明显的统计学差异 ($P<0.001$), 提示血管分型特征可以作为评估 GGN 型肺腺癌侵袭程度的一个独立预测指标。增加血管特征预测的敏感度没有明显提高, 特异度 (82.2% 比 76.4%) 有提高。加入血管分型特征联合其他筛选的特征构建综合预测模型, 其预测效能高于仅有其他特征建立的预测模型 (AUC 值: 0.853 比 0.814), 具有统计学意义。因此, 血管分型特征可作为临床个性化预测模型中的重要指标, 通过加入血管分型特征的模型优化, 提高了 GGN 型肺腺癌侵袭程度的预测价值, 在一定程度上增加了临床诊断信心。

本研究尚存在一些局限性:1)回顾性研究,在病例选择上可能存在偏倚;2)使用的薄层 HRCT 图像矩阵为 512×512,重组层厚为 1.0 mm,分辨率有限,对部分病例的极细小的血管及其他征象无法精准判断,且影像学特征分析取决于放射科医生的主观经验;3)GGN 的分组需要进一步细化,评估血管特征与各种其他征象的相关性;4)需要纳入良性 GGN 病例进行进一步对照研究。

综上所述,血管分型特征可作为 GGN 型肺腺癌的一个独立预测指标,通过肺磨玻璃结节 HRCT 征象建立的综合预测模型,可作为胸外科医生术前判断 GGN 型肺腺癌侵袭程度的重要预测依据,从而指导 GGN 患者的预后和分层管理。

4 参考文献

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021,71(3):209–249.
- [2] KIM H, PARK C M, KOH J M, et al. Pulmonary subsolid nodules: what radiologists need to know about the imaging features and management strategy[J]. Diagn Interv Radiol, 2014,20(1):47–57.
- [3] TSAO M S, NICHOLSON A G, MALESZEWSKI J J, et al. Introduction to 2021 WHO classification of thoracic tumors[J]. J Thorac Oncol, 2022,17(1):e1–e4.
- [4] 李彩云,袁梅,朱佳佳,等. DECT 鉴别混合性磨玻璃结节型肺肿瘤亚型的价值[J]. 影像诊断与介入放射学, 2022,31(4):252–258.
- [5] MURAKAMI S, ITO H, TSUBOKAWA N, et al. Prognostic value of the new IASLC/ATS/ERS classification of clinical stage IA lung adenocarcinoma[J]. Lung Cancer, 2015,90(2):199–204.
- [6] YE T, DENG L, XIANG J, et al. Predictors of Pathologic tumor invasion and prognosis for ground glass opacity featured lung adenocarcinoma[J]. Ann Thorac Surg, 2018,106(6):1682–1690.
- [7] YOTSUKURA M, ASAMURA H, MOTOI N, et al. Long-term prognosis of patients with resected adenocarcinoma in situ and minimally invasive adenocarcinoma of the lung[J]. J Thorac Oncol, 2021,16(8):1312–1320.
- [8] GAO F, LI M, GE X J, et al. Multi-detector spiral CT study of the relationships between pulmonary ground-glass nodules and blood vessels[J]. Eur Radiol, 2013,23(12):3271–3277.
- [9] YE T, DENG L, WANG S P, et al. Lung adenocarcinomas manifesting as radiological part-solid nodules define a special clinical subtype[J]. J Thorac Oncol, 2019,14(4):617–627.
- [10] KO J P, SUH J, IBIDAPO O, et al. Lung adenocarcinoma: correlation of quantitative ct findings with pathologic findings[J]. Radiology, 2016,280(3):931–939.
- [11] BANKIER A A, MACMAHON H, GOO J M, et al. Recommendations for measuring pulmonary nodules at CT: a statement from the Fleischner Society[J]. Radiology, 2017,285(2):584–600.
- [12] LEE H Y, CHOI Y L, LEE K S, et al. Pure ground-glass opacity neoplastic lung nodules: histopathology, imaging, and management[J]. Am J Roentgenol, 2014,202(3):W224–W233.
- [13] 张鹏举,李天然,陶雪敏,等. 磨玻璃结节早期贴壁生长为主型浸润性肺腺癌与其他病理亚型的 CT 特征分析[J]. 中华放射学杂志, 2021,55(7):739–744.
- [14] 刘莉,吴宁,周丽娜,等. 亚实性结节血管及支气管异常与肺腺癌类病变侵袭性的相关性分析[J]. 中华放射学杂志, 2019,53(11):987–991.
- [15] ZHANG C G, LI J K, SUN M Y, et al. Peripheral vessel and air bronchograms for detecting the pathologic patterns of subsolid nodules[J]. Clin Imaging, 2019,56:63–68.
- [16] EGUCHI T, KONDO R, KAWAKAMI S, et al. Computed tomography attenuation predicts the growth of pure ground-glass nodules[J]. Lung Cancer, 2014,84(3):242–247.
- [17] LEE K H, GOO J M, PARK S J, et al. Correlation between the size of the solid component on thin-section CT and the invasive component on pathology in small lung adenocarcinomas manifesting as ground-glass nodules[J]. J Thorac Oncol, 2014,9(1):74–82.
- [18] SON J Y, LEE H Y, LEE K S, 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.
- [19] LIANG J, XU X Q, XU H, et al. Using the CT features to differentiate invasive pulmonary adenocarcinoma from pre-invasive lesion appearing as pure or mixed ground-glass nodules[J]. Br J Radiol, 2015,88(1053):20140811.
- [20] ZHANG Y, SHEN Y, QIANG J W, et al. HRCT features distinguishing pre-invasive from invasive pulmonary adenocarcinomas appearing as ground-glass nodules[J]. Eur Radiol, 2016,26(9):2921–2928.
- [21] YANG Y, LI K H, SUN D D, et al. Invasive pulmonary adenocarcinomas versus preinvasive lesions appearing as pure ground-glass nodules: differentiation using enhanced dual-source dual-energy CT[J]. Am J Roentgenol, 2019,213(3):W114–W122.
- [22] GUO C R, HAN R, XUE F, et al. Expression and clinical significance of CD31, CD34, and CD105 in pulmonary ground glass nodules with different vascular manifestations on CT[J]. Front Oncol, 2022,12:956451.
- [23] 单文莉,孔丹,张辉,等. 浸润性肺腺癌分化程度预测模型的临床价值[J]. 中华肿瘤杂志, 2022,44(7):767–775.

(收稿日期:2023-06-09)