

论 著

基于能谱CT联合AI定量参数的列线图模型预测磨玻璃结节型肺腺癌的浸润性

章友婷¹ 王 旭² 南 燕¹张 林^{1,*}1.石河子大学第一附属医院CT/MRI室
(新疆 石河子 832000)2. 石河子大学第一附属医院神经外科
(新疆 石河子 832000)

【摘要】目的 探讨能谱CT联合AI定量参数对磨玻璃(GGN)型肺腺癌浸润性的预测价值。**方法** 回顾性分析113例经能谱CT扫描并经病理证实为肺腺癌的GGN患者,分为非浸润组(64例)和浸润组(49例)。通过单因素和多因素分析筛选IAC的危险因素,建立联合预测模型,利用ROC曲线分析单一参数和联合模型的预测效能,绘制模型的列线图并用校准曲线、临床决策曲线评估其一致性和临床实用性。**结果** 平扫水基值、平扫能谱曲线斜率、动脉期水基值、静脉期水基值、3D长径、最大面面积、表面积、质量、体积、平均CT值在两组间差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素分析显示,WC-AP、K-NC、3D长径和平均CT值是IAC的独立危险因素(均 $OR>1$, $P<0.05$)。ROC曲线分析显示联合预测模型的AUC为0.965,灵敏度为0.918,特异度为0.953,利用Nomogram量化4个独立危险因素,校准曲线和决策曲线表明预测效能较好。**结论** 基于能谱CT联合AI定量参数建立的列线图模型对GGN型肺腺癌浸润性有较高预测价值。

【关键词】 磨玻璃结节; 能谱CT; AI; 浸润性; 列线图

【中图分类号】 R563

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.11.017

Nomogram Based on Quantitative Parameters of Energy Spectrum CT Combined with AI for Predicting the Invasiveness of Ground-glass Nodule Lung Adenocarcinoma

ZHANG You-ting¹, WANG Xu², NAN Yan¹, ZHANG Lin^{1,*}

1.Room of CT/MRI, the First Affiliated Hospital of Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

2.Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To investigate the predictive value of quantitative parameters of energy spectrum CT combined with artificial intelligence (AI) on the invasiveness of ground-glass nodules (GGN) lung adenocarcinoma. **Methods** The clinical data of 113 patients with lung ground-glass nodule who underwent chest energy spectrum CT scanning and had pathologically confirmed lung adenocarcinoma were retrospectively analyzed. According to the pathological results, the patients were divided into non-invasive group ($n=64$) and invasive group ($n=49$). The risk factors of invasive adenocarcinoma (IAC) were screened by univariate and multivariate analysis. A prediction model combined with multi-parameters was established and the receiver operating characteristic (ROC) curves were used to analyze the predication efficacy of the single parameter and the combined model. A nomogram for the prediction model was drawn, meanwhile, the calibration curve and decision curve analysis were used to evaluate its consistency and clinical practicability. **Results** Univariate analysis showed statistically significant differences in water concentration of non-contrast scan, water concentration in the arterial phase, water concentration in the venous phase, slope of energy spectrum curve of non-contrast scan, 3D length diameter, maximum surface area, superficial area, quality, volume and mean CT value between the two groups ($P<0.05$). The multivariate logistic regression analysis showed that WC-AP, K-NC, 3D length diameter and mean CT value were independent risk factors for IAC(all $OR>1$, $P<0.05$). ROC curve showed that the AUC of the combined predication model was 0.965, the sensitivity was 0.918, and the specificity was 0.953. The Nomogram was used to quantify four independent risk factors, and the calibration curve and decision curve analysis indicated good prediction performance. **Conclusion** The nomogram model based on the quantitative parameters of energy spectrum CT combined with AI can better predict the invasiveness of GGN lung adenocarcinoma.

Keywords: Ground-glass Nodules; Energy Spectrum CT; AI; Invasiveness; Nomogram

肺癌是全球范围内癌症相关死亡的主要原因,腺癌是最主要的组织学亚型^[1-2]。研究表明磨玻璃结节(ground-glass nodules, GGN)与早期肺腺癌密切相关,持续存在3个月以上且直径大于10mm的GGN,其恶性概率为10%-50%^[3]。肺腺癌分为非典型腺瘤性增生(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, IA)^[4],2021年WHO肺肿瘤新分类将AAH和AIS归为腺体前驱病变^[5]。对于不同浸润程度的GGN,其治疗方案和预后不同。目前国内外对GGN型肺腺癌浸润性的研究多集中在形态学特征或手动测量获得的病灶定量参数,受主观因素干扰较大,诊断价值有限。能谱CT成像(gemstone spectral imaging, GSI)是近年来一种新的成像技术,双能量多参数成像的优势为GGN早期肺腺癌提供了分析工具和定量指标^[6],现较多应用于GGN良恶性的鉴别,在浸润性方面的研究相对较少。基于深度学习的人工智能(artificial intelligence, AI)技术在医学领域飞速发展,正成功地应用于放射学、病理学、皮肤医学的图像分析,其诊断速度超过了医疗专家,准确性与医疗专家相当^[7]。关于能谱CT联合AI定量参数对GGN型肺腺癌浸润性的研究鲜有报道,本研究基于此建立nomogram模型,旨在为医务工作者及患者选择合适的治疗方案提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究资料 回顾性分析2021年10月至2022年10月期间于石河子大学第一附属医院行胸部能谱GSI模式平扫及双期增强扫描的GGN患者资料。

纳入标准: 病灶最大直径 ≤ 3 cm;检查前未进行任何治疗干预;有病理学结果。排除标准:患者有恶性肿瘤病史。影像有明显的呼吸运动伪影或肋骨造成的硬化伪影;碘剂过敏者;身体健康状况较差,存在重度心、肺、肝、肾功能不全者。最终纳入患者113例,男性45例,女性68例,年龄29-82(55 ± 10)岁。非浸润组64例(AAH 9例, AIS 20例, MIA 35例),浸润组49例。

1.2 扫描方法 采用宝石能谱CT(Discovery 750HD)GSI模式行胸部平扫及双期增强检查。患者取仰卧位,扫描前进行呼气训练,扫描范围从胸廓入口至膈肌上方。扫描参数:管电压为80kVp和140kVp瞬时切换,自动毫安,螺距0.984:1,转速0.6s/圈,层厚及层间距均为5.0mm,矩阵 512×512 。先平扫再进行动脉期和静脉期增强扫描,经肘静脉采用双筒

【第一作者】章友婷,女,在读研究生,主要研究方向:胸部肿瘤。E-mail: zyting1227@163.com

【通讯作者】张 林,男,主任医师,主要研究方向:肿瘤。E-mail: zlin1231021@163.com

高压注射器注入碘海醇(350mg/mL), 剂量为1.5mL/kg, 根据注射剂量设定注射流速, 使注射时间≤30s, 采用智能对比剂追踪法(smart prep)进行动脉期扫描, 扫描结束后30s完成静脉期扫描。

1.3 图像、数据后处理

1.3.1 能谱CT定量参数的测量 将原始图像采用GSI ASiR 50%的自适应迭代重建为层厚、层间距1.25mm的mono图像并上传至GE AW4.6工作站, 选用GSI Viewer软件进行图像分析。于结节最大层面手动勾画感兴趣区(region ointerest, ROI), ROI面积不小于病灶横截面最大面积的2/3, 同时避开血管、空洞及坏死区域, 确保平扫、动脉期和静脉期勾画的ROI形态、面积、位置一致。测量数据包括: 平扫: 水基值(water concentration, WC-NC)、能谱曲线斜率(slope of energy spectrum curve, K-NC); 动静脉期:水基值(WC-AP、WC-VP)、碘基值(iodine concentration, IC-AP、IC-VP)、标准化碘浓度(normalized concentration, NIC-AP、NIC-VP)、K-AP、K-VP。K_{40~70KeV}=[CT值(40KeV)- CT值(70KeV)]/30KeV(观察发现40-70keV区间K值差异最大)。NIC=IC_{les}/IC_{aorta}(IC_{les}为病灶ROI碘含量, IC_{aorta}为同层面主动脉碘含量)。本研究数据由两名熟练运用能谱后处理软件的高年资影像科医生采集完成, 如意见不同, 则共同讨论分析得出诊断意见。

1.3.2 AI定量参数的测量 将肺平扫1.25mm薄层图像上传至AI肺结节辅助诊断系统(推想科技影像人工智能软件), 得到相关定量参数: 3D长径、最大面面积、表面积、质量、体积、平均CT值。

1.4 统计学分析 本研究数据分析所用软件为SPSS 26和R 3.6.3。

计量资料若服从正态分布, 用($\bar{x} \pm s$)描述, 若不服从正态分布, 用中位数及其上、下四分位数描述, 计数资料用频数(百分比)描述; 若计量资料在两组间均服从正态分布且方差齐, 使用独立样本t检验, 若数据服从正态分布但两组方差不齐, 使用t' 检验, 若数据不服从正态分布, 使用Wilcoxon非参数秩和检验; 计数资料在两组间的差异性比较使用 χ^2 检验。对两组间具有统计学差异的变量进行多因素Logistic回归分析获取独立危险因素。采用Hosmer-Lemeshow检验联合预测模型拟合优度, 绘制ROC曲线评估各独立危险因素及联合预测模型的诊断效能, 计算曲线下面积(AUC值), 并绘制nomogram、校准曲线及临床决策曲线(DCA曲线), 进一步验证联合预测模型的效能。

2 结果

2.1 非浸润组和浸润组变量差异性比较 单因素分析显示能谱CT定量参数中的WC-NC、WC-AP、WC-VP、K-NC和AI定量参数3D长径、表面积、最大面面积、体积、质量和平均CT值在两组间具有统计学差异(P<0.05)(表1、表2)。

表1 非浸润组与浸润组临床基本资料分析

		非浸润组(n=64)	浸润组(n=49)	χ^2/t	P值
性别	男	25(39%)	20(41%)	0.36	0.850
	女	39(61%)	29(59%)		
年龄(岁)		53.92±9.37	57.22±11.60	-1.674	0.097

表2 非浸润组与浸润组能谱CT及AI定量参数的差异性比较

参数		非浸润组(n=64)	浸润组(n=49)	t/ Z	P值
能谱CT	WC-NC(mg/cm ³)	502.32±114.48	651.15±106.00	-7.070	<0.001
	WC-AP(mg/cm ³)	532.18±113.94	681.78±113.67	-6.924	<0.001
	WC-VP(mg/cm ³)	504.84±106.88	631.05±123.82	-5.806	<0.001
	IC-AP(100μg/cm ³)	24.59±4.41	22.83±7.41	1.470	0.146
	IC-VP(100μg/cm ³)	19.92±3.27	18.72±5.10	1.431	0.157
	K-NC	1.27±0.60	1.51±0.57	-2.057	0.042
	K-AP	4.08±0.86	4.20±0.95	-0.696	0.488
	K-VP	3.14±0.76	3.37±0.77	-1.618	0.108
	NIC-AP	0.29±0.04	0.30±0.05	-0.546	0.520
	NIC-VP	0.41±0.07	0.44±0.11	-1.807	0.058
AI	3D长径(mm)	11.80(10.20, 13.27)	15.90(13.20, 19.70)	-5.995	<0.001
	最大面面积(mm ²)	99.05(73.98, 120.70)	151.90(107.25,223.05)	-4.985	<0.001
	表面积(mm ²)	365.10(303.75, 553.98)	664.20(478.00, 839.05)	-5.675	<0.001
	质量(g)	226.48(163.98, 327.33)	398.12(289.87,619.99)	-5.805	<0.001
	体积(mm ³)	721.90(615.10, 826.63)	1206.80(739.75, 1932.00)	-5.165	<0.001
	平均CT值(HU)	-462.97±56.19	-377.22±76.894	-6.576	<0.001

注: WC-NC: 平扫水基值, WC-AP: 动脉期水基值, WC-VP: 静脉期水基值, IC-AP: 动脉期碘基值, IC-VP: 静脉期碘基值, K: 能谱曲线斜率, NIC: 标准化碘浓度。

2.2 多因素Logistic回归 将单因素分析有统计学意义的参数纳入多因素Logistic回归分析, 结果显示能谱CT定量参数中的WC-AP、K-NC和AI定量参数中的3D长径、平均CT值为GGN型肺腺癌浸润性的独立危险因素(表3)。

2.3 ROC曲线分析 绘制各独立危险因素及联合预测模型的ROC曲线(图1), 结果显示联合预测模型的AUC为0.965, 大于WC-AP(AUC=0.817)、K-NC(AUC=0.603)、3D长径(AUC=0.830)、平均CT值(AUC=0.817)(表4), Hosmer-Lemeshow检验结果显示该模型P>0.10(0.954), 拟合度良好。

2.4 Nonogram模型的构建 图2为利用联合模型绘制的列线图, 根据每一个变量向上投射到0-100的小标尺上得到相应的分值, 将每个变量对应的分值相加得到总分值, 将总分值向下投射到总风险标度轴上即可预测浸润性的概率。图3、图4分别为联合模型的校准曲线和决策曲线分析, 均表明多参数联合模型具有较好的预测性能和临床收益。

表3 多因素Logistic回归结果

参数	B	OR值	OR值95%CI	P值
WC-AP	0.019	1.019	1.009-1.029	<0.001
K-NC	1.719	5.576	1.229-25.295	0.026
3D长径	0.533	1.705	1.226-2.370	0.002
平均CT值	0.028	1.028	1.012-1.045	0.001

注: WC-AP: 能谱CT动脉期水基值。K-NC: 平扫能谱曲线斜率。

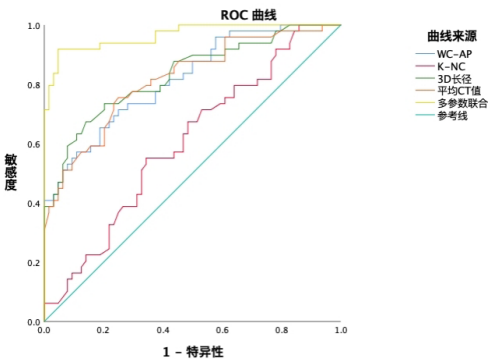


图1 WC-AP、K-NC、3D长径和平均CT值单独及联合模型预测GGN浸润性的ROC曲线

表4 非浸润组和浸润组的ROC曲线分析

参数	AUC(95%CI)	阈值	灵敏度	特异度
WC-AP	0.817(0.740-0.894)	627.28(mg/cm ³)	0.653	0.812
K-NC	0.603(0.498-0.707)	1.44	0.551	0.656
3D长径	0.830(0.753-0.907)	14.25(mm)	0.673	0.859
平均CT值	0.817(0.738-0.896)	-422.50HU	0.755	0.750
多参数联合	0.965(0.934-0.996)	0.57	0.918	0.953

注: WC-AP: 能谱CT动脉期水基值。K-NC: 平扫能谱曲线斜率。

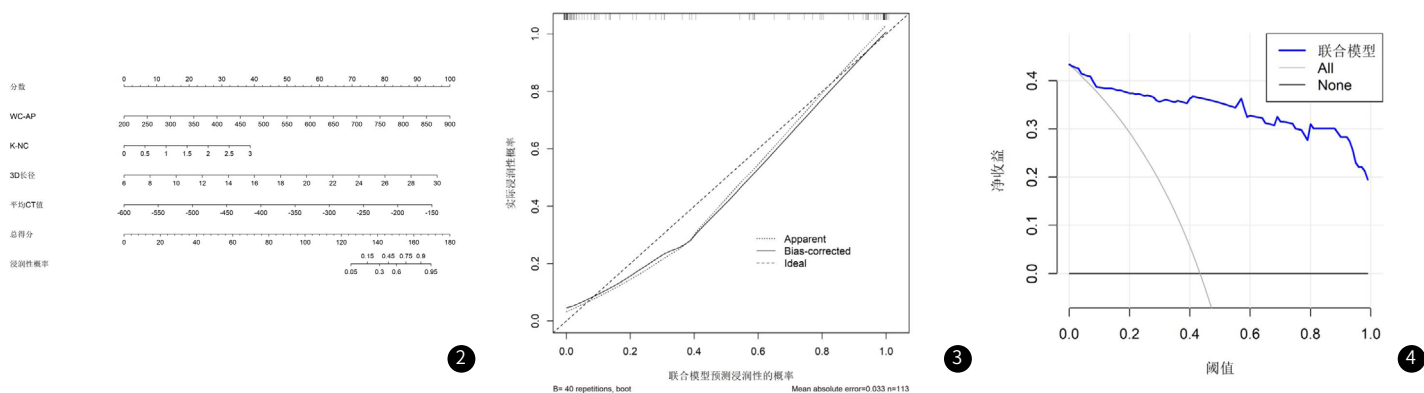


图2 联合模型绘制的Nomogram

图3 Nomogram模型的校准曲线; (校准曲线描述了模型对浸润性腺癌的预测结果与实际发生浸润性腺癌的一致性, Ideal线表示理想的预测效能, Apparent线表示模型的预测性能, Bias-corrected线表示模型预测性能偏差的修正, 预测曲线与理想曲线吻合度越高代表nomogram的预测能力越好)

图4 Nomogram模型的决策曲线分析; (横线代表所有GGN均不是浸润性腺癌, 净获利为0, 斜线代表所有GGN均是浸润性腺癌, 净获利为该反斜线的斜率, 蓝线代表本模型的DCA曲线, 阈值在斜线与蓝线之间时本模型预测浸润性腺癌是可行的, 患者净收益高)

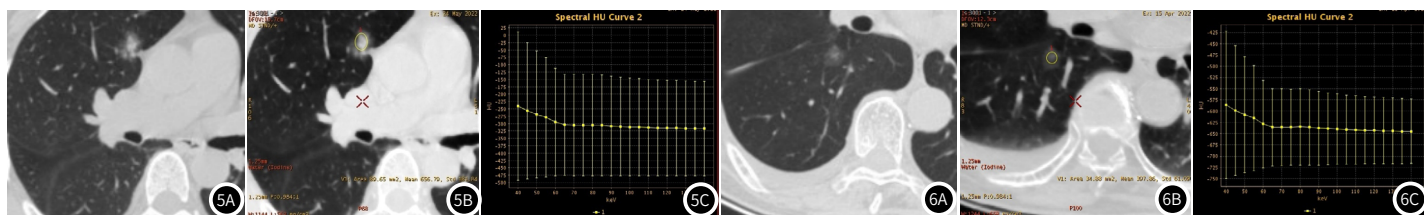


图5A-图5C 肺浸润性腺癌患者能谱CT图像 图5A: 右肺中叶内侧段混合磨玻璃结节影; 图5B: 动脉期水基图, 水基值为656.79mg/cm³; 图5C: 平扫40-70KeV能谱曲线斜率为2.17; AI测量3D长径为20.9mm, 平均CT值为-395HU。

图6A-图6C 肺微浸润性腺癌患者能谱CT图像 图6A: 右肺下叶背段混合磨玻璃结节影; 图6B: 动脉期水基图, 水基值为397.86mg/cm³; 图6C: 平扫40-70KeV能谱曲线斜率为1.35。AI测量3D长径为9.5mm, 平均CT值为-545HU。

3 讨论

既往研究表明, AIS、MIA经完整切除后, 术后5年生存率可达100%, 而IAC易发生血管、间质浸润和淋巴结转移, 术后5年生存率不到90%^[8]。另有研究发现, 对于AIS和MIA患者, 肺亚叶切除在保留患者更多肺功能的同时具有与肺叶切除术相当的生存率^[9-10]。因此, 临床上腺体前驱病变和MIA患者常常采用亚肺叶切除术, 即肺楔形或肺段切除术, 而IAC患者则采用肺叶切除联合系统性淋巴结清扫。因此, 临床迫切需要准确诊断GGN型肺腺癌的浸润性, 从而指导手术方案、术后随访管理及预后评估等。本研究将AAH/AIS/MIA和IAC进行分组研究更符合临床实际需求。

能谱CT成像通过物质分离技术可获得虚拟单能量、能谱曲线和基物质对(碘-水、钙-水等)等多参数图像^[11]。本研究通过对碘-水物质对分析, 结果显示浸润组平扫及动脉期水基值均高于非浸润组, 差异具有统计学意义, 与既往文献报道相符合^[12-14]。分析可能原因是腺体前驱病变和MIA恶性程度低, 主要为少量肿瘤细胞的附壁式生长, 而IAC恶性程度较高, 细胞增殖致细胞成分明显增加, 病灶内肿瘤新生血管增多、血供增大, 细胞代谢水平旺盛, 代谢产物相应增加, 因此肺泡腔及肺间质内液体更丰富, 此外肿瘤细胞伏壁式生长导致了肺泡壁结构塌陷或微破坏, 细胞间隔增厚, 部分气体从肺泡腔内排出, 肺泡腔内气体含量减少, 最终导致病灶密度增大, 即水基值增加, 在CT影像上表现为平均CT值增加。此外, 由于水基值受外界干扰较小, 因此水基值较常规测得的CT值能更灵敏反映病灶的相对密度。本研究结果显示动脉期水基值是预测IAC的独立危险因素, 当临界值为627.28mg/cm³时, 其鉴别浸润组与非浸润组的AUC为0.817, 因此水基值可以作为预测GGN型肺腺癌浸润性的较好指标。

本研究还比较了GGN的能谱曲线斜率(K值)和碘相关参数(IC、NIC)。根据不同物质在不同单能量下的衰减系数可得到不同的CT值进而得到能谱曲线^[15], 能谱曲线可反映病灶内物质的含量, 本研究显示两组能谱曲线均呈下降型, 在40-70KeV区间下降最明显, 浸润组平扫K值大于非浸润组, 差异有统计学意义, 二元logistic回归发现平扫K值是IAC的独立危险因素, Liu等^[16]研究表明GGN存在碘摄取, Aoki等^[17]研究通过测量肺内实性肿瘤病灶和

肿瘤性GGN病灶的平均CT值和IC, 证实了GGN存在血供, 同时也说明IC不受病灶内部空气的影响, 能较为准确反映病灶内部的微循环状态, 从而鉴别具有不同血供的病灶, 而动脉期K值、IC和NIC均与GGN病灶的血液供应相关, IC反映病灶对比剂的摄取, 可间接反映病灶微血管分布状态, NIC则在IC的基础上减少了病人个体血流循环差异所导致的影响, 更真实反映病灶实际血液供应情况。本研究发现两组间动脉期的K值、IC和NIC值存在差异, 证实GGN存在碘摄取, 但统计学分析发现差异无统计学意义, 与国内外部分研究报道一致^[13,16,18]。分析其原因, 可能是GGN型肺腺癌处于肺癌发展的早期阶段, 虽然IAC的浸润性相对高于癌前病变和MIA, 但各病理亚型之间的微血管分布相似, 尚处于同一水平, 病灶内部微循环状态区别不大。但Yang等^[14]通过对53例纯磨玻璃结节进行研究指出校正后的NIC(mNIC)能有效鉴别AAH/AIS与MIA/IAC。此外, 本研究发现, 无论是浸润组还是非浸润组, 静脉期NIC均高于动脉期, 考虑除了与选择时相有关之外, 还可能是因为GGN病灶中新生成的微血管管径较细、走行迂曲, 同时微血管外周细胞匮乏从而导致对比剂外渗较明显, 至静脉期时对比剂已弥散至整个病灶。基于上述研究我们认为碘相关定量参数分析对早期肺腺癌浸润性的诊断价值还需更详细和深入的研究。

肺腺癌的癌细胞生长模式和生物学行为作为其形态学的基础, 决定了GGN瘤体的大小、密度逐渐增加及形态学特征逐渐显著的趋势, 影像学上从pGGN、mGGN到实性结节的变化对应病理学上从AAH、AIS、MIA到IAC的进展过程, 因此理论上根据影像学图像获取的有效信息能在一定程度上反映出病灶所处的阶段^[19]。传统依靠非定量形态学特征作为评价指标主观性较强, 且对于GGN这一类早期肺腺癌, 这些征象尚不典型, 即使部分病灶出现这些特异性征象, 但最终病理结果也未必是恶性。因此定量参数用于GGN病灶的诊断更加客观。陈琦等^[20]研究提出定量参数可有效预测肿瘤性GGN的恶性程度, 但不同测量者之间由于测量手法、习惯等原因依然存在一定的误差。AI可自动识别、定位结节位置并量化结节参数, 减少了主观偏倚。

国内外学者对AI预测早期肺腺癌的浸润性进行了相应的研

究,其中大小和密度是临床工作中最常用于评估GGN浸润性的指标^[21-23]。研究表明对于恶性GGN,IAC的可能性与病灶最大径成正相关^[24]。Zhang等^[25]研究以12.2mm为阈值鉴别GGN中IAC与浸润前病变和MIA,其敏感性和特异性分别为85%和62%。本研究采用的3D长径是AI基于三维空间测量所得,比传统的二维横断面最大径测量结果更真实准确^[26]。Lin等^[27]指出结节内实性成分代表纤维细胞的增殖或肿瘤内的侵袭性成分。GGN的CT值增高,代表实性成分增加,反映病灶的浸润性增高^[28-30],符合AAH→AIS→MIA→IAC的组织学变化。Zhou等^[31]研究认为平均CT值诊断IAC的阈值为-571.63HU,敏感性和特异性分别为0.854和0.758。张正华等^[32]分析AI定量参数时指出平均CT值是早期浸润性肺腺癌的独立危险因素。本研究结果显示发现3D长径和平均CT值是预测GGN浸润性的独立危险因子,与周小君等^[21]和梁云等^[22]研究一致。通过ROC曲线分析,3D长径诊断IAC的阈值为14.25mm,敏感度和特异度分别为0.673、0.859,当平均CT值>-422.50HU时,诊断IAC的敏感性和特异性为0.755、0.750,而与既往各文献报道阈值存在的差异,考虑可能与病例数量、CT机型、窗宽窗位和AI软件等不同有关。

本研究发现,质量、体积可作为评估GGN浸润性的重要参数。研究表明,肺结节的体积增长速度明显快于直径^[33]。多项肺结节管理指南推荐使用体积参数评估肺GGN^[34-35]。研究显示,基于AI测得的病灶体积较手动测量结果更准确并具有高度的可重复性,尤其对于最大径<10mm的病灶^[36]。质量基于病灶体积和密度测量所得,可更灵敏的预测病变的浸润性。Lim HJ等^[37]研究发现,质量有助于鉴别GGN的病理分型,还可用于患者预后判断。本研究结果与冯会等^[38]报道一致。研究^[39]报道GGN的最大横截面积是诊断浸润性病变的独立危险因子。本研究结果显示最大面面积、表面积有助于预测GGN型肺腺癌的浸润性,与周小君等^[21]研究结果一致。

本研究结果显示浸润组3D长径、平均CT值、最大面面积、表面积、体积和质量均显著大于非浸润组,差异具有统计学意义,这与GGN的病理发展进程密切相关。早期肿瘤细胞沿着肺泡壁生长,随着病情的发展和恶性程度增高,逐渐累及肺泡间质导致肺泡塌陷,肺泡腔内气体减少,同时肿瘤组织成分增加、肺泡间隔增厚,导致密度增高,病灶在一维(直径)、二维(最大面面积、表面积)及三维空间(体积)呈现相应增大^[40],质量根据密度和体积的增大相应也会增加。因此利用AI定量参数可以从多方面、多角度更客观、精确地反映出肿瘤的生长规律和浸润深度。

将本研究中的各独立危险因素建立联合预测模型,结果显示模型的AUC为0.965($P<0.05$),表明联合预测模型对GGN型肺腺癌浸润性具有较高的预测价值。

为了更直观展示出联合预测模型,我们根据Logistic模型中各独立危险因素的所占比重进行相应的赋分构建了列线图模型,通过对模型进行一致性和临床实用性的验证分析发现此模型校准曲线显示该模型具有良好的一致性,决策曲线显示该模型具有良好的临床实用性。

本研究还存在一些局限性:(1)收集病例数量较少,同时不同病理亚型不平衡,有待进一步扩大样本量或多中心研究。(2)建立的列线图预测模型缺乏内部及外部验证,还需要进行大样本分析。(3)本文为回顾性研究,存在选择偏倚。

综上,能谱CT联合AI定量参数对GGN型肺腺癌的浸润性有较高预测价值,能谱CT定量参数中的WC-AP、K-NC和AI定量参数中的3D长径、平均CT值是IAC的独立危险因素,基于这些因素建立的nomogram有助于基于个体水平的浸润性肺腺癌的风险评估,对临床治疗方案的选择及患者的预后具有重要的参考意义。

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] Perez-Johnston R, Araujo-Filho J A, Connolly J G, et al. CT-based radiogenomic analysis of clinical stage I lung adenocarcinoma with histopathologic features and oncologic outcomes[J]. Radiology, 2022, 303(3): 664-672.

- [3] Mazzone P J, Lam L. Evaluating the patient with a pulmonary nodule: a review[J]. JAMA, 2022, 327(3): 264-273.
- [4] Travis W D, 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]. Journal of Thoracic Oncology, 2011, 6(2): 244-285.
- [5] 中华医学会肿瘤学分会, 中华医学杂志, 中华医学会肺癌临床诊疗指南(2022版)[J]. 中华医学杂志, 2022, 102(23): 1706-1740.
- [6] Du W, Yu M, Luo X, et al. Application value of spectral CT imaging in quantitative analysis of early lung adenocarcinoma[J]. J Oncol, 2022, 2022: 2944473.
- [7] Miller D D, Brown E W. Artificial intelligence in medical practice: the question to the answer[J]. Am J Med, 2018, 131(2): 129-133.
- [8] 张晶晶, 张强, 董旭鹏. HRCT扫描对纯磨玻璃结节侵袭性的预测价值研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(11): 67-69.
- [9] Eguchi T, Kadota K, Park B J, et al. The new IASLC-ATS-ERS lung adenocarcinoma classification: what the surgeon should know[J]. Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2014, 26(3): 210-222.
- [10] 沈莹冉, 戴洁, 姜格宁. 微浸润腺癌的术前诊断和术式选择[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2017, 33(9): 513-516.
- [11] Agostini A, Borgheresi A, Mari A, et al. Dual-energy CT: theoretical principles and clinical applications[J]. La Radiologia Medica, 2019, 124(12): 1281-1295.
- [12] Zhang Y, Tang J, Xu J, et al. Analysis of pulmonary pure ground-glass nodule in enhanced dual energy CT imaging for predicting invasive adenocarcinoma: comparing with conventional thin-section CT imaging[J]. J Thorac Dis, 2017, 9(12): 4967-4978.
- [13] Yu Y, Cheng J J, Li J Y, et al. Determining the invasiveness of pure ground-glass nodules using dual-energy spectral computed tomography[J]. Transl Lung Cancer Res, 2020, 9(3): 484-495.
- [14] Yang Y, Li K, Sun D, et al. Invasive pulmonary adenocarcinomas versus preinvasive lesions appearing as pure ground-glass nodules: differentiation using enhanced dual-source dual-energy CT[J]. AJR Am J Roentgenol, 2019, 213(3): W114-W122.
- [15] 李敏, 王化. 双能量CT在肺癌诊断中的应用进展[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(3): 301-304.
- [16] Liu G, Li M, Li G, et al. Assessing the blood supply status of the focal ground-glass opacity in lungs using spectral computed tomography[J]. Korean J Radiol, 2018, 19(1): 130-138.
- [17] Aoki M, Takai Y, Narita Y, et al. Correlation between tumor size and blood volume in lung tumors: a prospective study on dual-energy gemstone spectral CT imaging[J]. J Radiat Res, 2014, 55(5): 917-923.
- [18] 余蕊, 侯金鹏, 倪晓琼, 等. 能谱CT在肺纯磨玻璃结节鉴别诊断中的应用价值[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(45): 3742-3747.
- [19] 刘奎, 华展辰, 范国华. 肺磨玻璃结节HRCT影像特征与肺腺癌病理分型的相关性研究[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(4): 588-592.
- [20] 陈琦, 朱全新, 郑义星, 等. 肺部单发微小磨玻璃结节(<10mm) MSCT特征对肺腺癌病理亚型的诊断价值[J]. 放射学实践, 2019, 34(7): 778-783.
- [21] 周小君, 马玲, 盛林丽, 等. 人工智能量化参数预测磨玻璃结节早期肺癌浸润性的临床初探[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(3): 388-391.
- [22] 梁云, 谢宁, 刁晶艳, 等. 人工智能量化参数预测肺结节浸润程度的临床价值[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2022, 29(07): 878-885.
- [23] Ashraf S F, Yin K, Meng C X, et al. Predicting benign, preinvasive, and invasive lung nodules on computed tomography scans using machine learning[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2022, 163(4): 1496-1505. e10.
- [24] Lee S M, Park C M, Goo J M, 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.
- [25] Zhang Y, Shen Y, Qiang J W, et al. HRCT features distinguishing preinvasive from invasive pulmonary adenocarcinomas appearing as ground-glass nodules[J]. Eur Radiol, 2016, 26(9): 2921-2928.
- [26] 侯秋阳, 邓克学, 叶茗珊, 等. 基于深度学习的周围型肺小腺癌CT图像计算机辅助诊断初步研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2018, 24(5): 378-382.
- [27] Lin Y-H, Hsu H-S. Ground glass opacity on chest CT scans from screening to treatment: a literature review[J]. Journal of the Chinese Medical Association: JCMSA, 2020, 83(10): 887-890.
- [28] 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.
- [29] Lee H W, Jin K N, Lee J K, et al. Long-term follow-up of ground-glass nodules after 5 years of stability[J]. J Thorac Oncol, 2019, 14(8): 1370-1377.
- [30] 曹立武, 谢召勇, 朱志磊, 等. 磨玻璃结节肺腺癌组织学与CT表现特点对比研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022(7): 48-51.
- [31] Zhou Q J, Zheng Z C, Zhu Y Q, et al. Tumor invasiveness defined by IASLC/ATS/ERS classification of ground-glass nodules can be predicted by quantitative CT parameters[J]. J Thorac Dis, 2017, 9(5): 1190-1200.
- [32] 张正华, 周小君, 韩丹, 等. 基于AI对磨玻璃密度早期肺癌浸润相关因素Logistic回归分析[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(10): 2120-2123.
- [33] Nasrullah N, Sang J, Alam M S, et al. Automated lung nodule detection and classification using deep learning combined with multiple strategies[J]. Sensors (Basel), 2019, 19(17).
- [34] Li X, Hu B, Li H, et al. Application of artificial intelligence in the diagnosis of multiple primary lung cancer[J]. Thorac Cancer, 2019, 10(11): 2168-2174.
- [35] Callister M E, Baldwin D R, Akram A R, et al. British Thoracic Society guidelines for the investigation and management of pulmonary nodules[J]. Thorax, 2015, 70 Suppl 2: ii1-i154.
- [36] Revel M-P, Lefort C, Bissery A, et al. Pulmonary nodules: preliminary experience with three-dimensional evaluation[J]. Radiology, 2004, 231(2): 459-466.
- [37] Lim H J, Ahn S, Lee K S, 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.
- [38] 冯会, 时高峰, 杜煜, 等. 计算机辅助诊断定量测量在鉴别纯磨玻璃结节早期肺腺癌中的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(2): 216-219.
- [39] 胡红梅. 肺磨玻璃结节CT影像学特征研究进展[J]. 放射学实践, 2020, 35(11): 1472-1475.
- [40] Lantuejoul S, Rouquette I, Brambilla E, et al. New WHO classification of lung adenocarcinoma and preneoplasia[J]. Ann Pathol, 2016, 36(1): 5-14.

(收稿日期: 2023-03-15)

(校对编辑: 韩敏求)