

基于能谱CT参数及临床特征构建非小细胞肺癌PD-L1表达的列线图预测模型

朱凯博, 邓靓娜, 王海升, 刘建强, 雒攀, 周俊林

兰州大学第二医院放射科/兰州大学第二临床医学院/甘肃省医学影像重点实验室/医学影像人工智能甘肃省国际科技合作基地, 甘肃 兰州 730030

【摘要】目的:基于临床信息、常规CT征象及能谱CT参数构建列线图模型术前预测非小细胞肺癌(NSCLC)程序性死亡配体1(PD-L1)的表达水平。**方法:**回顾性分析经病理证实为NSCLC的52例患者,术前均行能谱CT检查。依据PD-L1表达水平分为阳性组和阴性组,收集两组患者的临床信息、常规CT征象及能谱CT定量参数。临床信息包括性别、年龄、Ki-67、肿瘤标志物。常规CT征象包括肿瘤密度、边界、钙化征、毛刺征、分叶征、胸膜凹陷征、空洞征等。测量两组病灶在动脉期和静脉期的能谱参数,包括有效原子序数(Eff-Z)、碘浓度(IC)、水浓度(WC),并计算归一化碘浓度(NIC)。比较两组间的差异,采用多因素Logistic回归来筛选独立预测因子并构建预测模型,采用受试者工作特征曲线、校准曲线和决策曲线评估列线图模型的预测效能及准确性。**结果:**临床信息中,两组在性别方面的差异有统计学意义($P<0.05$)。在动脉期和静脉期,PD-L1阳性组的能谱定量参数IC、NIC及Eff-Z均大于PD-L1阴性组,差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素Logistic回归分析显示性别($P=0.024$)、静脉期Eff-Z($P=0.002$)及静脉期IC($P=0.003$)为PD-L1表达的独立预测因素。基于以上独立预测因子构建的列线图预测模型曲线下面积为0.80,敏感度为88.00%,特异度为59.00%。校准曲线表明模型预测值和实际值具有较高的一致性。决策曲线显示高风险阈值界于0.10~0.83时,模型可以获得最大净收益。**结论:**基于能谱CT定量参数和临床信息的列线图模型在术前预测NSCLC的PD-L1表达水平中有一定的价值。

【关键词】非小细胞肺癌;列线图;能谱CT;程序性死亡配体1

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)04-0443-07

Construction of a nomogram prediction model for PD-L1 expression in non-small cell lung cancer using spectral CT parameters and clinical features

ZHU Kaibo, DENG Liangna, WANG Haisheng, LIU Jianqiang, LUO Pan, ZHOU Junlin

Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital/the Second Clinical Medical School, Lanzhou University/Key Laboratory of Medical Imaging of Gansu Province/Gansu International Scientific and Technological Cooperation Base of Medical Imaging Artificial Intelligence, Lanzhou 730030, China

Abstract: Objective To investigate the preoperative prediction of the expression level of programmed cell death ligand 1 (PD-L1) in non-small cell lung cancer (NSCLC) by a nomogram model constructed with clinical data, conventional CT signs and spectral CT parameters. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 52 patients with pathologically confirmed NSCLC and undergoing preoperative spectral CT examination. The patients were categorized into positive and negative groups according to PD-L1 expression level, and their clinical data, conventional CT signs and spectral CT parameters were collected. Specifically, clinical data included gender, age, Ki-67 and tumor markers; conventional CT signs included tumor density, margins, calcification, spiculation, lobulation, pleural indentation and cavitation; and spectral CT parameters measured in the arterial and venous phases included effective atomic number (Eff-Z), iodine concentration (IC), water concentration (WC) and normalized iodine concentration (NIC). Intergroup differences were analyzed, and multivariate Logistic regression was used to identify independent predictors and establish the prediction model which was evaluated for prediction performance and accuracy using receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curve and decision curve analyses. **Results** For clinical data, only the difference in gender between two groups had statistical

【收稿日期】2024-12-13

【基金项目】国家自然科学基金(82371914)

【作者简介】朱凯博,硕士研究生,研究方向:胸部影像学,E-mail: 18835359804@163.com

【通信作者】周俊林,博士,主任医师,教授,研究方向:神经影像,E-mail: ery_zhoujl@lzu.edu.cn

significance ($P<0.05$). The spectral CT parameters (IC, NIC and Eff-Z) in the arterial and venous phases of PD-L1 positive group were all greater than those of PD-L1 negative group, with statistically significant differences ($P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis identified gender ($P=0.024$), venous-phase Eff-Z ($P=0.002$), and venous-phase IC ($P=0.003$) as independent predictive factors for PD-L1 expression. The nomogram prediction model constructed with these independent predictors had an area under curve of 0.80, a sensitivity of 88.00%, and a specificity of 59.00%. The calibration curve showed that the predicted values had a high consistency with the actual values. The decision curve revealed that when the high-risk threshold was between 0.10 and 0.83, the model could achieve the maximum net benefit.

Conclusion The nomogram model constructed with spectral CT parameters and clinical data has certain value in predicting the expression level of PD-L1 in NSCLC.

Keywords: non-small cell lung cancer; nomogram; spectral CT; programmed cell death ligand 1

前言

非小细胞肺癌 (Non-Small Cell Lung Cancer, NSCLC) 是肺癌最常见的组织学亚型, 约占肺癌的 85%, 5 年生存率低于 5%^[1-3]。因此, 早期诊断及治疗显得尤为重要。近年来, 除常规的化疗和靶向治疗外, 免疫治疗已成为 NSCLC 患者的重要选择^[4]。其中, 针对程序性死亡 1 (Programmed Cell Death Protein 1, PD-1)/程序性死亡配体 1 (Programmed Cell Death Ligand 1, PD-L1) 的免疫抑制剂在临床中广泛应用^[5]。然而, PD-L1 表达的检测主要基于活检或切除标本, 容易发生出血、气胸等并发症^[6]。常规 CT 作为一种无创、简便的影像学检查, 在肺癌的筛查和诊断中具有重要的临床价值。能谱 CT 可以获得单能量图像、碘基物质如碘浓度 (Iodine Concentration, IC)、标准化碘浓度 (Normalized Iodine Concentration, NIC) 等参数, 在提高病灶检出率、病理分型鉴别、疗效及预后评估等方面发挥重要的作用^[7-8]。既往研究表明, 基于能谱 CT 的预测模型在 NSCLC Ki-67 表达、EGFR 突变及淋巴结转移等方面均具有一定的临床价值^[9-10]。列线图是一种多变量可视化的统计模型, 可纳入多种潜在因素, 量化疾病个体化风险^[11], 然而目前构建列线图模型术前预测 NSCLC 的 PD-L1 表达水平的研究较少。本研究旨在探究 NSCLC 患者治疗前的临床信息、常规 CT 特征及能谱 CT 定量参数在不同 PD-L1 表达程度之间的差异, 并通过 Logistic 回归分析和列线图模型来预测 NSCLC 的 PD-L1 表达水平。

1 材料与方法

1.1 临床资料

回顾性收集兰州大学第二医院 2021 年 4 月至 2023 年 12 月确诊为 NSCLC 的患者。纳入标准: (1) 经手术或穿刺活检病理证实为 NSCLC, 均行 PD-L1 免疫组织化学检测; (2) 患者行胸部能谱 CT 增强, 扫描前未经任何治疗; (3) 临床及影像资料完整。排除标准: (1) 胸部能谱 CT 扫描时间与手术时间间隔大

于两周; (2) 能谱 CT 图像质量差, 无法用于后续分析。最终纳入男性患者 35 例, 女性患者 17 例, 年龄为 41~76 岁。其中, PD-L1 阳性患者 27 例, PD-L1 阴性患者 25 例, 阳性率高达 51.92%。本研究经过兰州大学第二医院伦理委员会批准 (2021A-498), 豁免患者知情同意。

1.2 CT 扫描设备、方法、条件及参数

所有患者均使用 Discovery CT 750HD 系统在宝石光谱成像 (GSI) 模式下进行扫描。患者取仰卧位, 从胸廓入口至肋膈角水平。扫描参数为: 管电压 80/140 kVp 瞬时切换; 自动管电流调控技术, 螺距为 0.984 mm, 探测器宽度 40 mm, 重建层厚度和层间距均为 5 mm。使用高压注射器注射非离子碘造影剂 (50~80 mL, 300 mgI/mL), 注射速率为 4.0~5.5 mL/s。在造影剂注射后的 8、30 s 行动脉期和静脉期扫描。

1.3 图像分析与能谱 CT 定量数据采集

所有图像的评估和分析均由一位拥有 5 年胸部影像经验的放射科医生使用 AW4.7 后处理工作站进行。常规 CT 特征包括肿瘤密度、边界、钙化征、毛刺征、分叶征、胸膜凹陷征、支气管充气征、空泡征、毛玻璃样密度影、血管集束征、阻塞性肺不张和胸腔积液。选取病灶密度较均匀的肿瘤最大层面面以及其相邻两个层面勾画感兴趣区域 3 次, 以计算平均值。在动脉期和静脉期扫描中, 尽量保持感兴趣区域的大小及形状的一致。每个感兴趣区域的定量参数值有动脉期、静脉期碘浓度 (IC_A 、 IC_V), 同时测量胸主动脉的碘浓度, 然后计算标准化碘浓度 (NIC_A 、 NIC_V), $NIC=IC_{\text{病灶}}/IC_{\text{主动脉}}$ 。

1.4 病理数据采集

通过手术或经皮肺部活检获得的肿瘤标本采集后, 运用免疫组织化学技术的标准流程行 PD-L1 的免疫染色。观察切片标本, 计算肿瘤比例评分 (Tumor Proportion Score, TPS) 作为评估 PD-L1 表达水平的标准, $TPS=\text{染色阳性的肿瘤细胞}/\text{总肿瘤细胞}$ 。以 $TPS\geq 1\%$ 为 PD-L1 阳性组; $TPS<1\%$ 为阴性组 (图 1、图 2)。

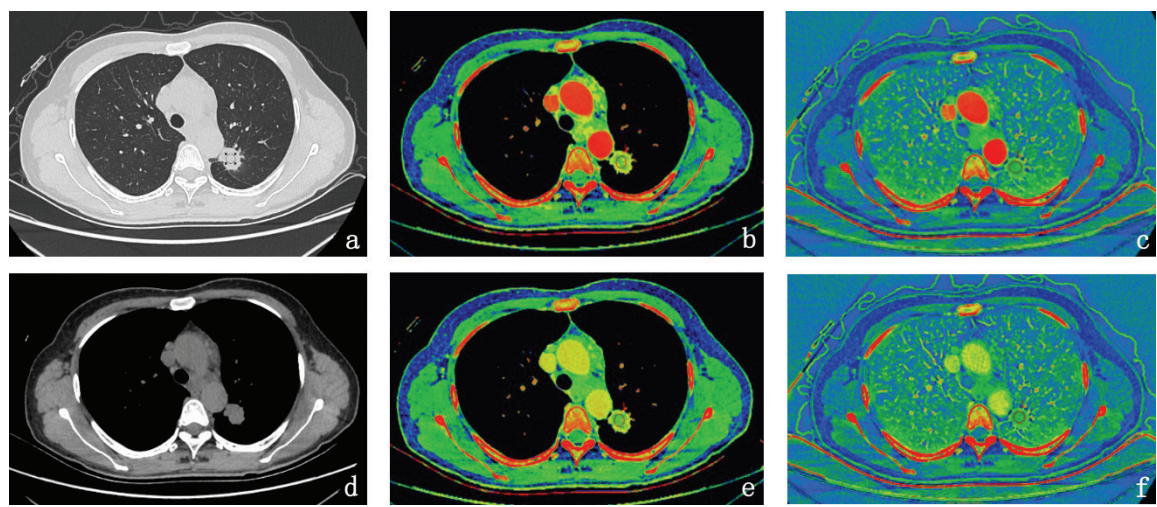


图1 患者,女,49岁,左肺上叶腺癌,PD-L1阳性(TPS>5%)
Figure 1 A 49-year-old female patient with adenocarcinoma at the upper lobe of the left lung, positive for PD-L1 (TPS>5%)
a:肺窗;b:动脉期有效原子序数(Eff-Z)伪彩图,Eff-Z:8.44;c:动脉期碘基伪彩图,碘值24.06 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$;d:纵隔窗,平均CT值30.0 HU;e:静脉期Eff-Z伪彩图,Eff-Z:8.35;f:静脉期碘基伪彩图,碘值19.86 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$. 图中红色圈为感兴趣区域

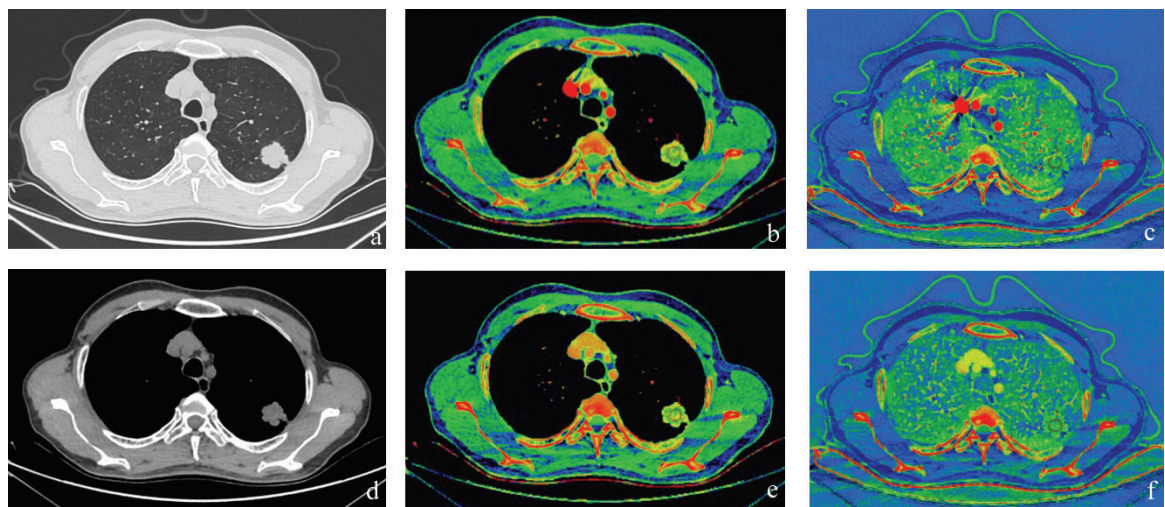


图2 患者,男,53岁,左肺上叶腺癌,PD-L1阴性(TPS<1%)
Figure 2 A 53-year-old male patient with adenocarcinoma at the upper lobe of the left lung, negative for PD-L1 (TPS <1%)
a:肺窗;b:动脉期Eff-Z伪彩图,Eff-Z:8.47;c:动脉期碘基伪彩图,碘值37.97 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$;d:纵隔窗,平均CT值17.6 HU;e:静脉期Eff-Z伪彩图,Eff-Z:8.39;f:静脉期碘基伪彩图,碘值32.37 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$. 图中红色圈为感兴趣区域

1.5 统计学方法

采用SPSS(Version 27.0)软件进行统计学分析。分类变量采用 χ^2 或Fisher确切概率法比较。计量资料先行正态性检验,若数据服从正态分布,采用独立样本 t 检验比较两组间的差异;反之则用Mann-Whitney U 检验。对组间差异显著的参数,采用多因素Logistic回归分析筛选预测PD-L1表达的独立预测因子。基于独立预测因子构建预测NSCLC的PD-L1表达水平的列线图模型,通过受试者工作特征(Receiver Operating Characteristic,ROC)曲线评估其预测效能,并计算ROC曲线下面积(Area under

Curve,AUC)、敏感度及特异度。使用校准曲线评价列线图的预测性能。使用决策曲线分析评估列线图的临床实用性。 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 患者临床信息及常规CT征象

52例NSCLC患者中PD-L1阳性27例、阴性25例。性别在PD-L1表达阳性组和阴性组之间的差异具有统计学意义($P<0.05$);年龄、Ki-67、肿瘤标志物及常规CT特征在两组之间的差异无统计学意义($P>0.05$)。见表1、表2。

表1 PD-L1阳性组和阴性组临床资料对比

Table 1 Comparison of clinical data between PD-L1 positive and negative groups

项目	PD-L1(-) (n = 25)	PD-L1(+) (n = 27)	χ^2/t 值	P值
性别[例(%)]			5.127	0.024
男	13(52.00)	22(81.50)		
女	12(48.00)	5(18.50)		
年龄	59.00±9.46	61.33±10.70	-0.830	0.411
Ki-67	44.60±3.16	47.22±4.15	-0.496	0.666
肿瘤标志物[例(%)]				
癌胚抗原(+)	19(76.00)	17(62.96)	1.036	0.309
神经元特异性烯醇化酶(+)	7(28.00)	6(22.22)	0.231	0.631
细胞角蛋白19片段(+)	15(60.00)	20(74.07)	-1.072	0.289
胃泌素释放肽前体(+)	4(16.00)	5(18.52)	0.058	0.810
鳞状上皮细胞癌抗原(+)	5(20.00)	6(22.22)	0.038	0.845

表2 PD-L1阳性组与阴性组常规CT特征比较 [例(%)]

Table 2 Comparison of conventional CT signs between PD-L1 positive and negative groups [cases (%)]

特征	PD-L1(-)(n = 25)	PD-L1(+) (n = 27)	χ^2/t 值	P值
密度			0.123	0.726
均匀	16(64.00)	16(59.26)		
不均匀	9(36.00)	11(40.74)		
边界			0.105	0.746
模糊	15(60.00)	15(55.56)		
清楚	10(40.00)	12(44.44)		
钙化征			1.621	0.203
无	22(88.00)	20(74.07)		
有	3(12.00)	7(25.93)		
毛刺征			1.358	0.244
无	4(16.00)	8(29.63)		
有	21(84.00)	19(70.37)		
分叶征			0.931	0.335
无	7(28.00)	11(40.74)		
有	18(72.00)	16(59.26)		
胸膜凹陷征			1.621	0.203
无	3(12.00)	7(25.93)		
有	22(88.00)	20(74.07)		
支气管充气征			0.066	0.797
无	13(52.00)	15(55.56)		
有	12(48.00)	12(44.44)		
空洞征			0.017	0.897
无	18(72.00)	19(70.37)		
有	7(28.00)	8(29.63)		
毛玻璃样密度影			0.277	0.598
无	12(48.00)	11(40.74)		
有	13(52.00)	16(59.26)		
血管集束征			0.014	0.906
无	4(16.00)	4(14.81)		
有	21(84.00)	23(85.19)		
阻塞性肺不张			0.146	0.703
无	8(32.00)	10(37.04)		
有	17(68.00)	17(62.96)		
胸腔积液			0.234	0.629
无	19(76.00)	22(81.48)		
有	6(24.00)	5(18.52)		

2.2 能谱CT定量参数分析比较

在动脉期和静脉期,PD-L1 表达阳性组的患者IC、NIC 及 Eff-Z 均大于 PD-L1 阴性组,差异有统计学意义 ($P<0.05$);而两组间的水浓度 (Water Concentration, WC) 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表3。

2.3 PD-L1 表达的多因素 Logistic 回归分析

将以上具有统计学差异的临床信息、常规 CT 特征及能谱 CT 定量参数纳入多因素 Logistic 回归分析,结果显示性别 ($P=0.024$)、静脉期 Eff-Z ($P=0.002$) 及静脉期 IC ($P=0.003$) 是 PD-L1 表达的独立预测因素。见表4。

表3 PD-L1 阳性组和阴性组能谱CT定量参数比较
Table 3 Comparison of quantitative parameters of spectral CT in PD-L1 positive and negative groups

定量参数	PD-L1(-) (n = 25)	PD-L1(+) (n = 27)	t/Z 值	P 值
动脉期				
Eff-Z	8.18±0.17	8.39±0.17	4.490	<0.001
IC/mg·cm ⁻³	9.63±2.87	13.17±2.97	4.370	<0.001
WC/mg·cm ⁻³	1 030.51±6.23	1 028.81±8.60	-0.821	0.416
NIC	0.08±0.03	0.11±0.37	3.107	0.003
静脉期				
Eff-Z	8.27±0.14	8.44±0.24	3.210	0.002
IC/mg·cm ⁻³	11.01±2.40	13.93±4.12	3.150	0.003
WC/mg·cm ⁻³	1 025.49±7.38	1 024.63±7.87	-0.410	0.684
NIC	0.32±0.08	0.38±0.10	2.500	0.016

表4 PD-L1 阳性的多因素 Logistic 回归分析
Table 4 Multivariate Logistic regression analysis of independent predictive factors for PD-L1 positive expression

参数	AUC(95%CI)	约登指数	最佳阈值	敏感度	特异度
性别	0.65 (0.50~0.80)	0.30	0.50	0.48	0.82
静脉期能谱参数					
Eff-Z	0.71 (0.56~0.85)	0.37	8.42	0.48	0.89
IC	0.70 (0.56~0.85)	0.37	13.74	0.44	0.93
联合	0.80 (0.68~0.92)	0.47	—	0.88	0.59

2.4 构建列线图模型及模型性能评估

多因素 Logistic 回归分析筛选独立预测因子并构建列线图模型,利用该模型预测 NSCLC 的 PD-L1 表达水平。列线图中性别为 0~1 赋值,而其他因素的值范围从 0~100 赋值,将每个因素相加得到总分,通过将分数投影到底部数轴上反映预测 NSCLC 的 PD-L1 表达水平的概率值。

构建的列线图模型需要进行模型的校准和评估,基于以上独立预测因子构建的模型 AUC 为 0.80,敏感度为 88.00%,特异度为 59.00%。校准曲线表明模型预测概率与实际发生概率相符,预测性能稳定。决策曲线显示当高风险阈值界于 0.10~0.83 时,使用列线图预测模型做出临床决策时,可以获得更大的净收益,见图3~图5。

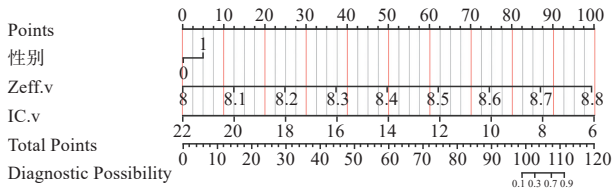


图3 术前预测 NSCLC 的 PD-L1 表达水平的列线图
Figure 3 Nomogram for preoperatively predicting PD-L1 expression level in NSCLC

3 讨论

随着对 NSCLC 研究的深入,针对 PD-L1 的免疫疗法已成为患者的关键治疗选择^[12],PD-L1 表达与患者生存期预后密切相关^[13]。因此,准确评估 PD-L1 表

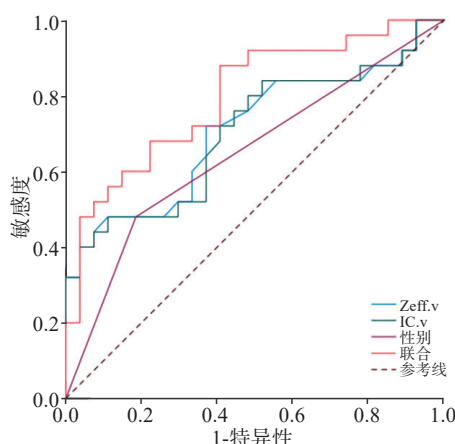


图4 各预测因子诊断PD-L1表达的ROC曲线
Figure 4 ROC curves of each factor for predicting PD-L1 expression

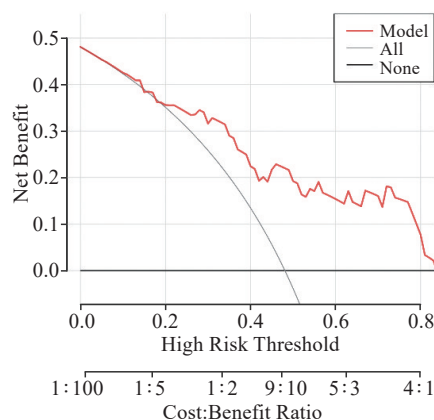
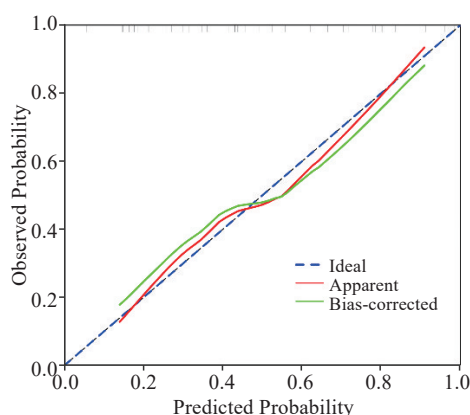


图5 列线图模型预测PD-L1表达水平列线图模型的校准曲线和决策曲线
Figure 5 Calibration curve and decision curve of the nomogram model for predicting PD-L1 expression

评估了常规CT征象(肿瘤密度、边界、钙化征、毛刺征、分叶征、胸膜凹陷征、空洞征等)在PD-L1阳性组和阴性组之间的差异,结果表明本研究纳入的常规征象在两组之间的差异均没有统计学意义,这与Yoon等^[20]研究结果一致。

IC、NIC、Eff-Z能在一定程度上反映肿瘤的血流动力学信息,也可以间接反映肿瘤细胞的增殖情况^[21-22]。本研究显示,动脉期和静脉期的Eff-Z、IC、NIC在PD-L1阳性组和阴性组之间差异存在统计学意义,并且三者PD-L1表达中阳性组均高于阴性组,提示PD-L1阳性组血供较阴性组更为丰富。PD-L1高表达时,更易于T细胞表面的PD-L1受体结合,从而抑制T细胞的活化、细胞溶解以及增殖等能力^[23-24];其次,也有研究表明PD-L1阳性的肿瘤细胞对碘的摄取和代谢能力增强有关,可以帮助肿瘤获得更多的血量以及能量供应^[25]。

列线图能整合多种危险因素,用于预测肿瘤的表达式^[26],但目前通过构建列线图模型术前预测

达水平对临床决策具有显著意义。常规CT作为一种无创、简便的影像学检查,在肺癌的筛查和诊断中具有重要的临床价值^[14-15]。能谱CT以其多功能参数定量分析的优势,为病变在组织学和功能学的客观评估提供重要工具^[16-17]。利用能谱CT定量参数、常规CT征象及临床信息有效评估PD-L1表达水平对NSCLC患者有重要的临床意义。

以往研究中,PD-L1表达阳性率差异较大,约为0%~82%^[18],这可能与PD-L1表达的影响因素较多或者多因素间相互作用有关。本研究中,PD-L1阳性率为51.92%;在性别方面,PD-L1阳性组和阴性组之间的差异存在统计学意义,男性患者PD-L1表达阳性的风险较女性高,这与既往研究结论一致^[19]。本研究还

NSCLC的PD-L1表达水平的研究较少。本研究筛选出的临床信息和能谱CT定量参数,包括性别、静脉期Eff-Z、静脉期IC这3个指标来构建列线图模型,结果显示其具有良好的预测效能以及准确性,为术前预测NSCLC的PD-L1表达水平提供一种便利的指导工具。然而,本研究属于回顾性研究,可能存在选择偏差,并且样本量较小,还有待扩大样本量来进一步验证结论;其次,本研究中缺乏验证组,在以后的研究中需要增加验证组。

综上所述,本研究表明性别、静脉期IC及静脉期Eff-Z是NSCLC患者PD-L1阳性表达的独立预测因子,结合以上参数构建个性化列线图模型可以在术前无创地预测PD-L1表达水平,为临床制定个体化治疗方案提供依据。

【参考文献】

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, 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] Chen QL, Shao JJ, Xue T, et al. Intratumoral and peritumoral radiomics nomograms for the preoperative prediction of lymphovascular invasion and overall survival in non-small cell lung cancer[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(2): 947-958.
- [3] 董懂, 黄意恒, 张亚杰, 等. 《中华医学会肺癌临床诊疗指南(2023版)》解读[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2023, 30(11): 1533-1538.
Dong D, Huang YH, Zhang YJ, et al. Chinese medical association guideline for clinical diagnosis and treatment of lung cancer (2023 edition): an interpretation[J]. *Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2023, 30(11): 1533-1538.
- [4] Agazzi GM, Ravanelli M, Roca E, et al. CT texture analysis for prediction of EGFR mutational status and ALK rearrangement in patients with non-small cell lung cancer[J]. *Radiol Med*, 2021, 126(6): 786-794.
- [5] Deng HS, Zhao Y, Cai XY, et al. PD-L1 expression and tumor mutation burden as pathological response biomarkers of neoadjuvant immunotherapy for early-stage non-small cell lung cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Crit Rev Oncol Hematol*, 2022, 170: 103582.
- [6] 赵恒亮, 孟闫凯, 岳思宇, 等. 双能量CT定量参数与T1期非小细胞肺癌PD-L1表达的相关性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2023, 42(5): 754-759.
Zhao HL, Meng YK, Yue SY, et al. Correlation between DECT quantitative parameters and PD-L1 expression in T1 stage non-small cell lung cancer[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2023, 42(5): 754-759.
- [7] 宋洪政, 杨蕾, 张亮, 等. 能谱CT定量参数预测非小细胞肺癌PD-L1表达的价值[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2023, 34(8): 544-548.
Song HZ, Yang L, Zhang L, et al. The value of quantitative parameters of spectral CT in predicting PD-L1 expression in non-small cell lung cancer[J]. *Journal of China Clinic Medical Imaging*, 2023, 34(8): 544-548.
- [8] Deng LN, Yang JJ, Zhang MT, et al. Predicting lymphovascular invasion in N0 stage non-small cell lung cancer: a nomogram based on dual-energy CT imaging and clinical findings[J]. *Eur J Radiol*, 2024, 179: 111650.
- [9] Lin LY, Cheng JJ, Tang DQ, et al. The associations among quantitative spectral CT parameters, Ki-67 expression levels and EGFR mutation status in NSCLC[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 3436.
- [10] Gao L, Lu XM, Wen QY, et al. Added value of spectral parameters for the assessment of lymph node metastasis of lung cancer with dual-layer spectral detector computed tomography[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(6): 2622-2633.
- [11] Naffouje S, Sabesan A, Powers BD, et al. Patient risk subgroups predict benefit of adjuvant chemotherapy in stage II rectal cancer patients following neoadjuvant chemoradiation and total mesorectal excision[J]. *Clin Colorectal Cancer*, 2021, 20(3): e155-e164.
- [12] Liu XY, Sun W, Wu JH, et al. Major pathologic response assessment and clinical significance of metastatic lymph nodes after neoadjuvant therapy for non-small cell lung cancer[J]. *Mod Pathol*, 2021, 34(11): 1990-1998.
- [13] Lin LY, Zhang Y, Suo ST, et al. Correlation between dual-energy spectral CT imaging parameters and pathological grades of non-small cell lung cancer[J]. *Clin Radiol*, 2018, 73(4): 412.e1-412.e7.
- [14] Gao SG, Li N, Wang SH, et al. Lung cancer in people's republic of China[J]. *J Thorac Oncol*, 2020, 15(10): 1567-1576.
- [15] Baldwin DR, Ten Haaf K, Rawlinson J, et al. Low dose CT screening for lung cancer[J]. *BMJ*, 2017, 359: j5742.
- [16] 邓巍巍, 张国晋, 张斌, 等. 周围型肺腺癌和周围型肺鳞癌的能谱CT表现[J]. *中国医学物理学杂志*, 2021, 38(9): 1097-1102.
Deng LN, Zhang GJ, Zhang B, et al. Spectral CT findings of peripheral lung adenocarcinoma and peripheral lung squamous cell carcinoma[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2021, 38(9): 1097-1102.
- [17] Yabuuchi H, Kawanami S, Iwama E, et al. Prediction of therapeutic effect of chemotherapy for NSCLC using dual-input perfusion CT analysis: comparison among bevacizumab treatment, two-agent platinum-based therapy without bevacizumab, and other non-bevacizumab treatment groups[J]. *Radiology*, 2018, 286(2): 685-695.
- [18] Li HJ, Xu YY, Wan B, et al. The clinicopathological and prognostic significance of PD-L1 expression assessed by immunohistochemistry in lung cancer: a meta-analysis of 50 studies with 11383 patients[J]. *Transl Lung Cancer Res*, 2019, 8(4): 429-449.
- [19] Büttner R, Gosney JR, Skov BG, et al. Programmed death-ligand 1 immunohistochemistry testing: a review of analytical assays and clinical implementation in non-small-cell lung cancer[J]. *J Clin Oncol*, 2017, 35(34): 3867-3876.
- [20] Yoon J, Suh YJ, Han K, et al. Utility of CT radiomics for prediction of PD-L1 expression in advanced lung adenocarcinomas[J]. *Thorac Cancer*, 2020, 11(4): 993-1004.
- [21] 黄倩文, 陈应东, 钟华, 等. 肺癌能谱CT相关参数定量与临床应用[J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(7): 1316-1321.
Huang QW, Chen YD, Zhong H, et al. Quantification of energy spectrum CT parameters in the diagnosis of lung cancer and clinical application[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2020, 39(7): 1316-1321.
- [22] 张国晋, 曹云太, 张婧, 等. 能谱CT定量参数在鉴别肺腺癌EGFR突变状态中的价值[J]. *临床放射学杂志*, 2021, 40(3): 448-452.
Zhang GJ, Cao YT, Zhang J, et al. The value of quantitative parameters of spectral CT in the identification of EGFR mutation status in lung adenocarcinoma[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2021, 40(3): 448-452.
- [23] Deng LN, Yang JJ, Ren TZ, et al. Can spectral computed tomography (CT) replace perfusion CT to assess the histological classification of non-small cell lung cancer? [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(8): 4960-4972.
- [24] Lu S, Fang J, Wang ZP, et al. Results from the IMpower132 China cohort: atezolizumab plus platinum-based chemotherapy in advanced non-small cell lung cancer[J]. *Cancer Med*, 2023, 12(3): 2666-2676.
- [25] Chen ML, Shi AH, Li XT, et al. Is there any correlation between spectral CT imaging parameters and PD-L1 expression of lung adenocarcinoma? [J]. *Thorac Cancer*, 2020, 11(2): 362-368.
- [26] Merritt RE, Abdel-Rasoul M, Fitzgerald M, et al. Nomograms for predicting overall and recurrence-free survival from pathologic stage IA and IB lung cancer after lobectomy[J]. *Clin Lung Cancer*, 2021, 22(4): e574-e583.

(编辑:谭斯允)