

论 著

基于CT征象与血清因子构建重症肺炎克雷伯菌肺部感染的预测模型*

徐丽^{1,*} 刘超² 孙艳¹
安跃振¹ 陈兰¹ 梁颖¹1.沧州市中心医院检验科
2.沧州市中心医院CT诊断科
(河北 沧州 061001)

【摘要】目的 基于CT征象与血清因子构建重症肺炎克雷伯菌肺部感染的预测模型。**方法** 选取2022年3月至2025年3月本院收治的98例肺炎克雷伯菌肺部感染者,记录重症肺炎克雷伯菌肺部感染率。比较不同病情程度患者CT征象与血清因子水平,构建重症肺炎克雷伯菌肺部感染的预测模型。**结果** 98例患者中轻度62例,重度36例。Logistic多因素回归模型分析显示,滋养血管征、空洞性结节、外周楔形影CT征象、血清TNF- α 及IL-8是重症肺炎克雷伯菌感染的独立影响因素($P<0.05$)。根据多因素分析结果建立预测模型,该模型的预测概率与实际概率的平均绝对误差为0.003。ROC分析结果显示,Nomogram预测模型判断重症肺炎克雷伯菌肺部感染的AUC为0.891($SE=0.033$, $95\%CI=0.825-0.956$, $P<0.001$),敏感度和特异度分别为0.833和0.726。**结论** 基于CT征象与血清TNF- α 、IL-8构建的预测模型有助于判断重症肺炎克雷伯菌肺部感染,这对指导临床具有较高应用价值。

【关键词】 肺炎克雷伯菌; CT; 血清TNF- α ;
血清IL-8; 病情程度

【中图分类号】 R563.1

【文献标识码】 A

【基金项目】 河北省医学科学研究课题(20220396)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.016

Construction of a Predictive Model for Severe Klebsiella Pneumoniae Pulmonary Infection Based on CT Features and Serum Factors*

XU Li^{1,*}, LIU Chao², SUN Yan¹, AN Yue-zhen¹, CHEN Lan¹, LIANG Ying¹.

1.Department of Laboratory, Cangzhou Central Hospital, Cangzhou 061001, Hebei Province, China

2.Department of CT Diagnosis, Cangzhou Central Hospital, Cangzhou 061001, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To construct a predictive model for severe Klebsiella pneumoniae pulmonary infection based on CT features and serum factors. **Methods** 98 cases of Klebsiella pneumoniae lung infection admitted in our hospital from March 2022 to March 2025 were selected, the incidence of severe Klebsiella pneumoniae lung infection was recorded. The CT signs and serum factor levels in patients with different degrees of illness were compared, and construct a predictive model for severe Klebsiella pneumoniae pulmonary infection. **Results** Among the 98 patients, 62 were mild and 36 were severe. Logistic multiple regression model analysis showed that nourishing vessel sign, hollow nodules, peripheral wedge-shaped CT signs, serum TNF- α and IL-8 were independent influencing factors of severe Klebsiella pneumoniae infection ($P<0.05$). Based on the results of multiple factor analysis, a prediction model was established, and the average absolute error between the predicted probability and the actual probability of the model was 0.003. The ROC analysis results showed that the AUC of the Nomogram prediction model for severe Klebsiella pneumoniae pulmonary infection was 0.891 ($SE=0.033$, $95\%CI=0.825-0.956$, $P<0.001$), the sensitivity and the specificity was 0.833 and 0.726, respectively. **Conclusion** The predictive model constructed based on CT features and serum TNF- α and IL-8 is helpful in determining severe Klebsiella pneumoniae pulmonary infection, which has high clinical application value in guiding clinical practice.

Keywords: Klebsiella Pneumoniae; CT; Serum TNF- α ; Serum IL-8; Degree of Illness

肺炎克雷伯菌是常见格兰阴性杆菌,肺炎克雷伯菌肺部感染可引起高热、寒战、呼吸呼吸困难症状,重症患者还可诱发脓毒症、感染性休克等严重并发症,危及患者生命^[1-2]。因而,早期筛查重症肺炎克雷伯菌肺部感染的高风险患者对指导临床,改善预后具有重要意义。CT是临床常用影像学检查工具,其高分辨率特点可清晰显示肺组织细微变化,实现肺炎克雷伯菌感染的早期诊断^[3],已成为肺炎诊疗的主要辅助检查手段。但常规CT征象也存在一定局限性,特异度较低。血清因子具有动态、可重复特点,近年来,本院将CT征象与血清因子联合用于肺炎克雷伯菌肺部感染的诊疗,获得一定成效。本研究通过回顾性分析,基于CT征象与血清因子构建重症肺炎克雷伯菌肺部感染的预测模型,为临床早期干预提供更多依据。报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2022年3月至2025年3月在本院就诊的98例肺炎克雷伯菌肺部感染者临床资料,并开展回顾性分析。

纳入标准:患者均可见咳嗽、咳痰、呼吸困难等表现,且均经病原菌检测证实为肺炎克雷伯菌肺部感染^[4];患者年龄 >18 岁,均接受CT检查和血清因子检测,且临床资料完整。**排除标准:**精神意识障碍,未能有效配合完成CT检查者;CT图像质量差,不能有效分析者;合并有肺炎链球菌、金黄色葡萄球菌或病毒感染;妊娠哺乳期患者。

1.2 检查方法 (1)CT检查:采用GE LightSpeed 16排及LightSpeed VCT 64排螺旋CT进行检查,先自胸廓入口至膈肌水平进行胸部平扫,参数设置:管电压120 kV,管电流205 mA,层厚5 mm,矩阵 512×512 。完成后用高压注射器经肘静脉注射碘海醇(福安药业集团宁波天衡制药有限公司,国药准字H20083566,规格:50mL),剂量1.5mL/kg,速率3.0mL/s,在注射后20 s、60 s行动脉期和静脉期扫描。(2)CT征象结果:根据CT扫描检查结果,记录CT征象^[5],具体标准见表1。所有检查结果均由2位副主任医师采用盲法阅片,获得一致意见后记录。(3)血清因子检测:在患者入院后3d内经肘静脉采集空腹血3.0mL,用离心机以3000 r/min离心10 min,留取上清液,全自动化学发光仪(重庆科迈生物科技有限责任公司,登记号:2021SR1279859,型号:smart500s)检测血清TNF- α 与血清IL-8水平。

1.3 观察指标 根据共识将患者分为轻度组与重度组^[6]。比较两组患者基线特征、CT影像特征及血清因子水平,分析重症肺炎克雷伯菌肺部感染的相关因素,据此构建重症肺炎克雷伯菌肺部感染的预测模型,并验证其预测价值。

1.4 统计学方法 选用SPSS 24.0软件包对患者临床特征相关数据进行统计学分析,以[n(%)]描述计数资料,组间行卡方检验,以($\bar{x} \pm s$)描述计量资料,行t检验,以Logistic多因素回归模型分析相关因素,以R语言构建预测模型,以受试者工作特征曲线(ROC)分析CT影像征象的诊断价值,以曲线下面积(AUC)描述结果, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

【第一作者】 徐丽,女,主管检验师,主要研究方向:检验与影像。E-mail: xuli0404d@163.com

【通讯作者】 徐丽

表1 CT影像征象判断标准

CT影像征象	判断标准
晕征	在病变部位可见环状磨玻璃密度影
滋养血管征	CT图像可见直接指向肺内病变区域的血管影
空洞性结节	病变区域可见结节，结节内可见含气体或液体的密度影
无空洞性结节	结节内不含更低密度的气体或液体密度影
外周楔形影	胸膜下可见楔形高密度影，且可见空气支气管征

2 结果

2.1 检查结果 98例肺炎克雷伯菌肺部感染中，轻度62例，重度36例。典型病例介绍见图1-2。

2.2 不同病情程度患者临床特征指标比较 不同病情程度患者滋养血管征、空洞性结节及外周楔形影占比比较，差异均有统计学意义($P<0.05$)，两组血清PCT、IL-8及TNF- α 水平差异显著($P<0.05$)，见表2。

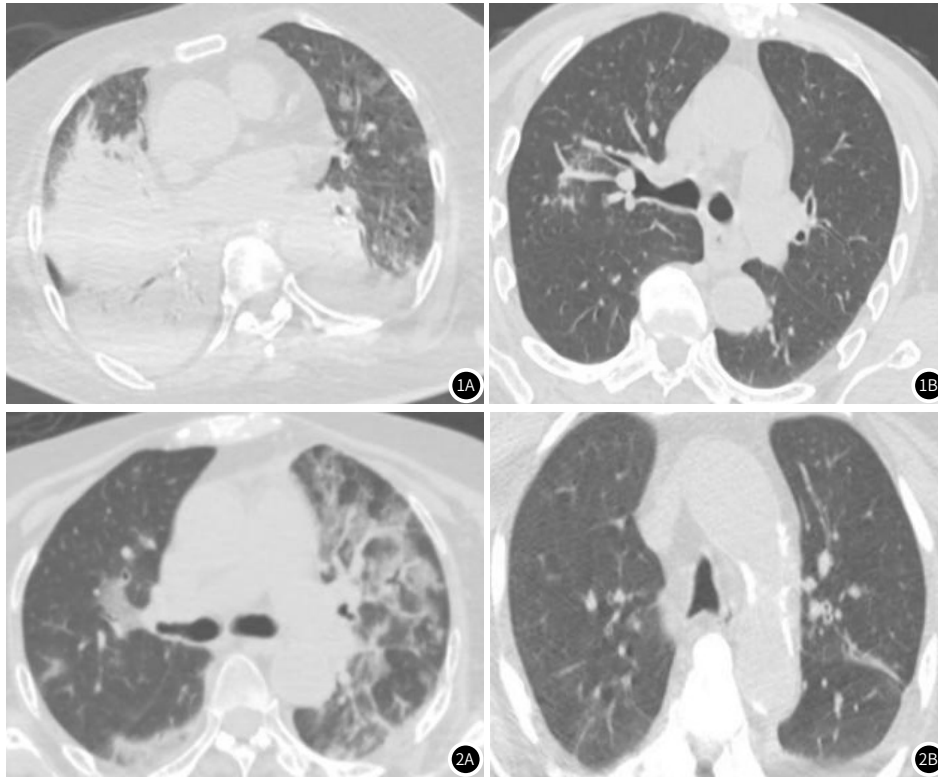


图1 不同病情程度患者CT图像。图1A为重度肺炎克雷伯菌感染，CT见两肺血管支气管束增粗延长，双肺可见多发高密度影和片状实变影，见右主支气管、中叶及下叶支气管狭窄。图1B为轻度肺炎克雷伯菌感染，CT可见两侧胸廓对称，右侧胸腔少量积液，右侧见多发实性结节和斑片状影。另CT见气管纵隔居中，段以上支气管通畅，纵隔内未见明显肿大淋巴结。

图2 不同病情程度患者CT征象。图2A为重度肺炎克雷伯菌感染，两侧胸膜无增厚，两侧支气管血管束增多延长，局部支气管管壁增厚，两肺散在斑片及实变影，部分支气管欠通畅，段以上支气管通畅。图2B为轻度肺炎克雷伯菌感染，两侧胸廓对称，左侧胸腔少量积液略增多。两肺纹理增多并散在斑片高密度影，左肺上叶支气管扩张，左肺背侧坠积性实变。气管纵隔居中，段以上支气管通畅，两肺门不大，纵隔内未见明显肿大淋巴结。

表2 不同病情程度患者临床特征指标比较

指标	轻度组(n=62)	重度组(n=36)	t/ χ^2 值	P值
性别			1.455	0.228
男	42(67.74)	20(55.56)		
女	20(32.26)	16(44.44)		
年龄(岁)	52.78 \pm 10.06	51.95 \pm 8.94	0.410	0.683
体重指数(kg/m ²)	22.84 \pm 2.91	23.01 \pm 2.62	0.290	0.773
病变部位			0.088	0.767
单侧	36(58.06)	22(61.11)		
双侧	26(41.94)	14(38.89)		
CT征象				
晕征	16(25.81)	10(27.78)	0.045	0.831
滋养血管征	5(8.06)	10(27.78)	6.828	0.009
空洞性结节	16(25.81)	20(55.56)	8.673	0.003
外周楔形影	8(12.90)	12(33.33)	5.852	0.016
血清因子				
血清CRP(mg/L)	42.17 \pm 8.96	45.06 \pm 10.15	1.465	0.146
血清PCT(ng/mL)	0.96 \pm 0.29	1.15 \pm 0.44	2.575	0.012
血清IL-8(pg/mL)	159.41 \pm 46.28	186.50 \pm 38.91	2.956	0.004
血清TNF- α (pg/mL)	24.72 \pm 6.90	33.45 \pm 7.08	5.981	<0.001

2.3 肺炎克雷伯菌重度感染相关因素 以CT征象和血清因子为自变量，以病情程度为因变量，进行Logistic多因素回归模型分析，结果显示滋养血管征、空洞性结节、外周楔形影、血清TNF- α 及血清IL-8是影响肺炎克雷伯菌病情程度的独立影响因素($P<0.05$)，见表3。

表3 肺炎克雷伯菌重度感染相关因素

指标	β	SE	Wald χ^2 值	P值	OR值	95%CI
滋养血管征	1.339	0.427	9.829	0.002	3.816	1.652-8.815
空洞性结节	1.424	0.351	16.454	<0.001	4.152	2.087-8.260
外周楔形影	1.155	0.342	11.387	0.001	3.175	1.623-6.211
血清PCT	0.883	0.522	2.860	0.091	2.418	0.869-6.728
血清TNF- α	0.957	0.306	9.813	0.002	2.605	1.431-4.742
血清IL-8	1.162	0.469	6.141	0.013	3.196	1.275-8.011

2.4 肺炎克雷伯菌肺部感染预测模型的构建 将滋养血管征、空洞性结节、外周楔形影等CT征象与血清TNF- α 、血清IL-8纳入R语言分析,构建重症肺炎克雷伯菌肺部感染的预测模型,并绘制校准曲线,见图3-4,结果显示,预测概率与实际概率的平均绝对误差为0.003。根据预测模型计算患者得分,将其作为自变量,以

患者病情程度为因变量,进行ROC分析,结果显示Nomogram预测模型判断重症肺炎克雷伯菌肺部感染的AUC为0.891(SE=0.033, 95%CI=0.825~0.956, $P<0.001$),敏感度和特异度分别为0.833和0.726,见图5。

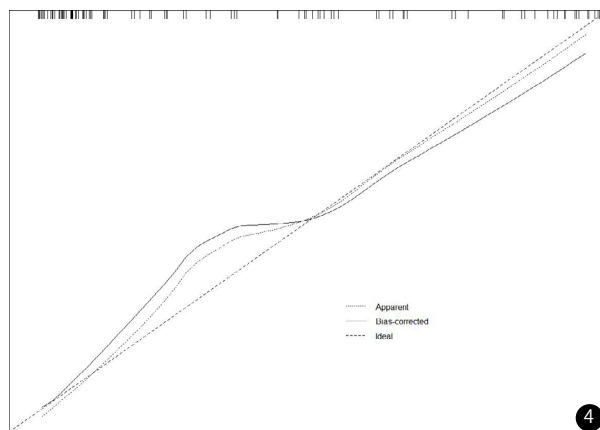
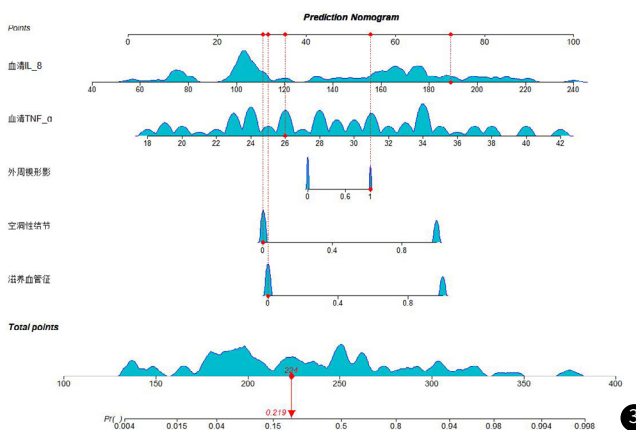


图3 基于CT征象与血清因子构建的Nomogram预测模型。图4 Nomogram预测模型的校准曲线。

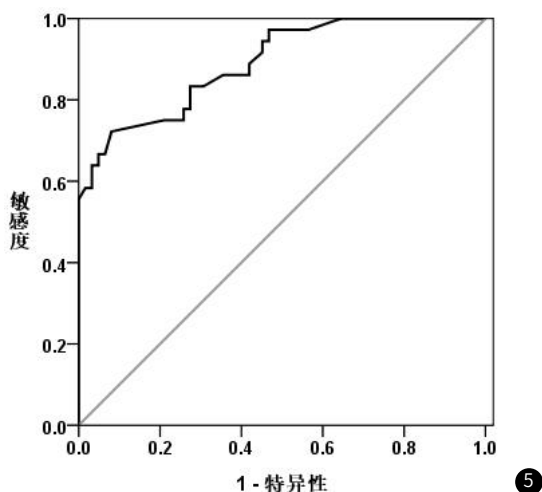


图5 Nomogram预测模型判断重症肺炎克雷伯菌肺部感染的ROC。

3 讨论

肺炎克雷伯菌所致的肺部感染不仅可引起肺实变和支气管扩张,严重者可导致多器官功能障碍^[7]。CT作为高分辨率、非侵入性影像技术,在临床应用广泛,CT可清晰显示肺部病变的细微变化,为临床诊断提供直观依据^[8-9]。肺炎克雷伯菌感染可引起肺叶实变,出现肺部片状高密度影,部分患者还可出现空洞,提示坏死性肺炎的发生,这也有助于肺炎克雷伯菌感染的鉴别诊断^[10]。重症肺炎克雷伯菌感染可严重破坏肺组织,引起肺脓肿、呼吸衰竭等严重并发症,具有较高病死率。因而,早期识别重症患者对指导临床干预具有重要意义。

滋养血管征多因病变组织周围出现异常增生血管所致,肺炎克雷伯菌肺部感染可损伤局部肺组织,使其邻近血管发生异常增生,出现滋养血管征^[11]。肺炎克雷伯菌感染后,随着病情加重,炎症范围逐渐扩大,滋养血管征越发明显,重症患者可见粗大异常血管,但滋养血管征特异度有限^[12],因而联合其他CT征象有助于提高诊断的准确性。空洞性结节是因肺炎克雷伯菌感染后大量

繁殖,引起肺组织液化、坏死,逐渐形成肺部空洞,尤其是重症肺炎克雷伯菌感染,肺组织受损严重,肺通气功能降低^[13],使肺功能持续恶化。随着病情加重,炎症浸润面积扩大,肺炎克雷伯菌持续繁殖,使空洞性结节增多^[14-15]。另外,外周楔形影是肺部外周性、楔形阴影,肺炎克雷伯菌感染后,细菌大量繁殖,侵蚀肺组织扩大,炎症区域扩展,随着病情进展,肺部炎症加重,其形态呈现楔形不规则^[16]。因而,联合上述CT征象有助于重症肺炎克雷伯菌感染高风险人群的筛查。

但肺炎克雷伯菌感染的CT征象与肺水肿、肺栓塞CT征象可能存在重叠,降低其特异度。因而,联合预测成为重要研究方法。血清TNF- α 是临床常用促炎因子,其表达水平升高,可激活炎症级联反应,介导和加重肺部炎性损伤,并诱导肺炎克雷伯菌进一步增殖,扩大感染面积,使病情恶化^[17-18]。另外,IL-8是由巨噬细胞、上皮细胞分泌的炎性趋化因子,血清IL-8升高,提示局部炎症持续存在,并增加细菌侵袭性,诱发和加重组织损伤,使病情恶化。因而,血清IL-8水平与肺炎克雷伯菌感染程度相关。

本研究通过多因素分析也发现,CT征象与血清TNF- α 、IL-8是判断重症肺炎克雷伯菌肺部感染的独立影响因素,而据此构建的Nomogram预测模型判断重症肺炎克雷伯菌肺部感染的AUC达0.891,提示基于CT征象与血清TNF- α 、IL-8构建的预测模型对判断肺炎克雷伯菌感染程度具有较高准确性,这可为今后临床干预提供指导,以改善患者预后。但本研究为回顾性分析,纳入样本量有限,今后应扩大样本量,通过前瞻性、多中心研究对预测模型进行外部验证。

综上,基于CT征象与血清TNF- α 、IL-8构建的预测模型有助于肺炎克雷伯菌肺部感染的早期筛查,为重症肺炎克雷伯菌感染的早期预防干预提供依据。

参考文献

- [1] 岳能丽,王珏,宋为娟,等. 手术患者耐碳青霉烯类肺炎克雷伯菌血流感染预后不良的危险因素分析[J]. 中国感染与化疗杂志, 2023, 23(1): 8-13.

