DOI: 10.12235/E20250440
文章编号：1007-1989（2026）07-0040-09

论 著

重症肺炎患者支气管肺泡灌洗次数的影响因素分析

王秋月，李松明，李培恒，张凯，张可，莫琼，苗露
（亳州市中医院 重症医学科，安徽 亳州 236800）

摘要：目的 分析影响重症肺炎（SP）患者支气管肺泡灌洗（BAL）次数的因素，并构建回归方程，分析其预测价值。**方法** 回顾性分析2023年1月—2025年3月该院收治的行BAL治疗，且治疗后病情、血氧指标和炎症指标好转的116例SP患者的临床资料，根据患者BAL治疗次数，将其分为单次组（62例）和非单次组（54例）。采用单因素和多因素Logistic回归模型，分析影响SP患者BAL次数的危险因素，并构建回归方程，分析其预测价值。**结果** 单次组塑型痰栓率、胸腔积液率和黏膜糜烂率低于非单次组，发热时间短于非单次组，乳酸脱氢酶水平低于非单次组，氧合指数和血清白蛋白水平高于非单次组，差异均有统计学意义（$P<0.05$）。多因素Logistic回归模型分析结果显示：塑型痰栓（$\hat{OR}=1.618$，95%CI：1.074～2.437）、胸腔积液（$\hat{OR}=1.669$，95%CI：1.074～2.593）、黏膜糜烂（$\hat{OR}=1.655$，95%CI：1.112～2.464）、发热时间长（$\hat{OR}=1.578$，95%CI：1.005～2.476）、血清白蛋白水平低（$\hat{OR}=1.605$，95%CI：1.028～2.504）和血清乳酸脱氢酶水平高（$\hat{OR}=1.554$，95%CI：1.073～2.251）为导致SP患者BAL次数增加的危险因素（$P<0.05$）。回归方程：Logit（P）= −8.463+塑型痰栓×0.481 + 胸腔积液×0.512 + 黏膜糜烂×0.504 + 发热时间×0.456 + 血清白蛋白水平×0.473 + 血清乳酸脱氢酶水平×0.441（$P<0.05$）。当Logit（P）> 0.89时，曲线下面积（AUC）为0.903，敏感度为88.71%（95%CI：83.82%~95.04%），特异度为83.33%（95%CI：73.20%～90.88%）。**结论** 导致SP患者BAL次数增加的危险因素包括：塑型痰栓、胸腔积液、黏膜糜烂、发热时间长、血清白蛋白水平低和血清乳酸脱氢酶水平高，据此构建的回归方程，具有较好的预测价值，但其外推性尚需多中心、大样本的研究验证。

关键词： 重症肺炎（SP）；支气管镜；支气管肺泡灌洗（BAL）；因素；回归方程；预测价值
中图分类号： R563.1；R768.1

Risk factors for bronchoalveolar lavage times in patients with severe pneumonia

Wang Qiuyue, Li Songming, Li Peiheng, Zhang Kai, Zhang Ke, Mo Qiong, Miao Lu
(Department of Intensive Care Medicine, Bozhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Bozhou, Anhui 236800, China)

Abstract: Objective To analyze the influencing factors of the time of bronchoalveolar lavage (BAL) in patients with severe pneumonia (SP). **Methods** The clinical data of 116 patients with SP who were treated with BAL from January 2023 to March 2025 and whose condition, blood oxygen index and inflammatory index improved after treatment were retrospectively collected. According to the times of BAL, the patients were divided into the single group (62 cases) and the non-single group (54 cases). Univariate and multivariate logistic regression analysis were used to analyze the influencing factors affecting the times of BAL in patients with SP, and the regression equation was constructed to analyze its predictive value. **Results** The rates of plastic bronchitis, pleural effusion,

收稿日期：2025-08-03
[通信作者]李培恒，E-mail：1067701173@qq.com

mucosal erosion, duration of fever and lactate dehydrogenase level in the single group were lower than those in the non-single group ($P < 0.05$), and the oxygenation index and serum albumin level were higher than those in the non-single group ($P < 0.05$). The results of multivariate Logistic analysis showed: Plastic bronchitis ($\hat{OR} = 1.618$, 95%*CI*: 1.074 ~ 2.437), pleural effusion ($\hat{OR} = 1.669$, 95%*CI*: 1.074 ~ 2.593), mucosal erosion ($\hat{OR} = 1.655$, 95%*CI*: 1.112 ~ 2.464), long duration of fever ($\hat{OR} = 1.578$, 95%*CI*: 1.005 ~ 2.476), low serum albumin level ($\hat{OR} = 1.605$, 95%*CI*: 1.028 ~ 2.504), and high serum lactate dehydrogenase level ($\hat{OR} = 1.554$, 95%*CI*: 1.073 ~ 2.251) were all risk factors for increased BAL times in SP patients ($P < 0.05$). The regression equation: Logit (P) = -8.463 + plastic bronchitis × 0.481 + pleural effusion × 0.512 + mucosal erosion × 0.504 + duration of fever × 0.456 + serum albumin level × 0.473 + serum lactate dehydrogenase level × 0.441 ($P < 0.05$). When Logit (P) > 0.89, the area under the curve (AUC) was 0.903, the sensitivity was 88.71% (95%*CI*: 83.82% ~ 95.04%), and the specificity was 83.33% (95%*CI*: 73.20% ~ 90.88%). **Conclusion** The risk factors for the increase in the times of BAL in SP patients include plastic bronchitis, pleural effusion, mucosal erosion, prolonged fever, lower serum albumin levels, and higher serum lactate dehydrogenase levels. The regression equation constructed based on this shows good predictive value in the samples of this study, but its extrapolation needs to be verified by multi-center large sample studies.

Keywords: severe pneumonia (SP); bronchoscope; bronchoalveolar lavage; factors; regression equation; predicted value

重症肺炎（severe pneumonia，SP）起病急骤、进展迅猛、并发症多、病情重，且死亡率高，是呼吸与危重症医学领域亟待攻克的难题。支气管肺泡灌洗（bronchoalveolar lavage，BAL）具有直达病灶，以及可获取下呼吸道高质量标本等优势，已成为明确病原学诊断和指导个体化抗感染方案的基本操作[1–2]。多项研究[3–4]证实，及时而准确地实施BAL，可明显优化SP患者的抗感染策略，进而改善其临床转归与生存预期。然而，在临床实践中，围绕BAL操作的核心参数（灌洗次数）与具体策略，缺乏基于循证证据的精细化指引。何时需要单次诊断性灌洗，何时又必须反复操作以获取更可靠信息，这一关键决策常依赖临床医师的个体化经验判断，存在主观性与不确定性[5]。目前，临床研究虽然强调了BAL的应用价值，但关于最佳灌洗次数，仍缺乏基于大样本数据的循证依据[6]。因此，本研究基于真实世界数据，系统分析影响SP患者BAL次数的相关因素，并构建回归方程，分析其预测价值，旨在填补SP患者BAL操作决策的循证依据空白，构建可量化工具以预测灌洗次数，优化诊断效能与患者安全的平衡，推动SP诊疗向精准化和个体化迈进。

1　资料与方法

1.1　一般资料

回顾性分析2023年1月—2025年3月本院收治的116例SP患者的临床资料。患者均行BAL治疗，且治疗后病情、血氧指标和炎症指标好转。根据患者BAL治疗次数，将其分为单次组（62例）和非单次组（灌洗2次及以上，54例）。本研究获本院医学伦理委员会审核批准，伦理批件号：2023KY–69。

纳入标准：符合肺炎诊断标准[7]，且处于重症状态；单纯SP、脑血管疾病合并重症肺炎和慢性阻塞性肺疾病相关SP；至少行1次BAL治疗；影像学检查显示存在肺部阴影；临床资料完整。排除标准：呼吸道畸形、胸廓畸形；有胸腔手术史；膈疝、气胸和/或呼吸系统恶性肿瘤。剔除标准：入住重症监护病房期间死亡者。

1.2　方法

所有患者的BAL操作均由同一医师团队完成。检查前准备好无菌生理盐水（通常预热至37℃）和吸引装置等。对鼻腔、咽喉部进行局部麻醉。将可弯曲支气管镜（奥林巴斯，BF–1T30）从患者口腔或鼻腔插入，经声门进入气管和支气管，观察气道情况。将支气管镜置入目标肺段的支气管开口。经操作孔道，注入无菌生理盐水（通常每次20~60 mL）。注入后，立即用负压吸引回收灌洗液。灌洗完成后，撤出支气管镜，监测患者生命体征，观察有无并发症。将收集的灌洗液送检。

1.3　观察指标

1.3.1　临床特征　包括：性别、年龄、体重指数

（body mass index，BMI）、吸烟史、饮酒史、合并症、病变部位、塑型痰栓、胸腔积液、支气管镜下表现（无异常的患者不进行统计）、炎症是否累及2个以上肺叶、合并多器官功能衰竭、BAL操作时的麻醉方式、灌洗原因、入院前使用抗生素时间是否超过5 d、肺泡灌洗时间、灌洗液总量、术中发生低氧血症和发热时间（住院期间体温37.3℃及以上，即可判定为发热）。

1.3.2　血气分析指标检测　采用监护仪（生产厂家：深圳市理邦精密仪器股份有限公司，型号：RespArray），监测氧分压、二氧化碳分压和氧合指数。

1.3.3　血常规指标检测　采用五分类血细胞分析仪（生产厂家：深圳辉迈医疗技术有限公司，型号：AC 610），检测外周血中性粒细胞比例和白细胞水平。

1.3.4　凝血与纤维蛋白溶解指标检测　采用化学发光免疫分析法，检测血浆D-二聚体水平（基蛋生物科技股份有限公司）。

1.3.5　炎症指标检测　采用酶联免疫吸附分析，检测血清C反应蛋白水平，试剂盒由上海纪宁生物科技有限公司提供。

1.3.6　肝功能检测　采用酶联免疫吸附分析，检测丙氨酸氨基转移酶和白蛋白水平，试剂盒由上海纪宁生物科技有限公司提供。

1.3.7　组织损伤标志物检测　采用酶联免疫吸附分析，检测乳酸脱氢酶水平，试剂盒由上海纪宁生物科技有限公司提供。

1.3.8　心肌损伤标志物检测　采用酶联免疫吸附分析，检测肌酸激酶同工酶水平，试剂盒由上海纪宁生物科技有限公司提供。

1.4　统计学方法

采用SPSS 26.0和Med Calc 11.4统计学软件分析数据。计数资料以例或百分率（%）表示，比较采用χ^2检验；符合正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用独立样本t检验；采用多因素Logistic回归模型，分析影响SP患者BAL次数的独立危险因素；绘制受试者操作特征曲线（receiver operating characteristic curve，ROC curve），对回归方程预测价值进行验证。$P < 0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　影响SP患者BAL次数的单因素分析

单次组塑型痰栓率、胸腔积液率和黏膜糜烂率低于非单次组，发热时间短于非单次组，乳酸脱氢酶水平低于非单次组，氧合指数和血清白蛋白水平高于非单次组，差异均有统计学意义（$P < 0.05$）。见表1。

表1　影响SP患者BAL次数的单因素分析

Table 1　Univariate analysis of the times of BAL in patients with SP

组别	性别 例(%)		年龄/岁	BMI/(kg/m²)	吸烟史 例(%)		饮酒史 例(%)	
	男	女			有	无	有	无
单次组(n = 62)	27(43.55)	35(56.45)	53.63±5.04	21.96±0.48	22(35.48)	40(64.52)	19(30.65)	43(69.35)
非单次组(n = 54)	33(61.11)	21(38.89)	54.76±5.64	22.05±0.53	28(51.85)	26(48.15)	25(46.30)	29(53.70)
χ^2/t值	3.57		1.14[1)]	0.96[1)]	3.15		3.00	
P值	0.059		0.257	0.339	0.076		0.083	

组别	合并症 例(%)				病变部位 例(%)			塑型痰栓 例(%)	
	高血压	糖尿病	高脂血症	心脑血管疾病	左肺	右肺	双肺	有	无
单次组(n = 62)	24(38.71)	12(19.35)	8(12.90)	3(4.84)	26(41.94)	29(46.77)	7(11.29)	6(9.68)	56(90.32)
非单次组(n = 54)	26(48.15)	13(24.07)	9(16.67)	4(7.41)	22(40.74)	23(42.59)	9(16.67)	41(75.93)	13(24.07)
χ^2/t值	1.05	0.38	0.33	0.04[2)]	0.42			52.56	
P值	0.306	0.537	0.568	0.850	0.672			< 0.001	

续表 1

Table 1

组别	胸腔积液 例(%)		支气管镜下表现 例(%)			炎症累及2个以上肺叶 例(%)		多器官功能衰竭 例(%)	
	有	无	支气管阻塞	黏膜糜烂	气管软化	是	否	是	否
单次组(n = 62)	4(6.45)	58(93.55)	14(22.58)	6(9.68)	2(3.23)	6(9.68)	56(90.32)	3(4.84)	59(95.16)
非单次组(n = 54)	12(22.22)	42(77.78)	18(33.33)	13(24.07)	7(12.96)	10(18.52)	44(81.48)	8(14.81)	46(85.19)
χ^2/t 值	6.04		1.67	4.37	2.58[2)]	1.90		3.35	
P 值	0.014		0.196	0.037	0.108	0.168		0.067	

组别	入院前使用抗生素时间超过5 d 例(%)		灌洗原因 例(%)		
	是	否	清除肺部积液或异物	气道不通畅	痰液增多
单次组(n = 62)	4(6.45)	58(93.55)	35(56.45)	39(62.90)	52(83.87)
非单次组(n = 54)	9(16.67)	45(83.33)	33(61.11)	35(64.81)	50(92.59)
χ^2/t 值	3.03		0.26	0.05	2.07
P 值	0.082		0.611	0.831	0.150

组别	BAL操作时的麻醉方式 例(%)		肺泡灌洗时间 例(%)		灌洗液总量 例(%)		术中发生低氧血症 例(%)	
	气管插管全身麻醉	喉罩通气全身麻醉	< 20 min	≥20 min	≤200 mL	> 200 mL	是	否
单次组(n = 62)	35(56.45)	27(43.55)	27(43.55)	35(56.45)	37(59.68)	25(40.32)	3(4.84)	59(95.16)
非单次组(n = 54)	21(38.89)	33(61.11)	21(38.89)	33(61.11)	23(42.59)	31(57.41)	8(14.81)	46(85.19)
χ^2/t 值	3.57		0.26		3.37		3.35	
P 值	0.059		0.611		0.066		0.067	

组别	发热时间/d	氧分压/mmHg	二氧化碳分压/mmHg	氧合指数/mmHg	中性粒细胞比例/%	白细胞/(×10^9/L)	D-二聚体/(mg/L)
单次组(n = 62)	6.75±1.32	89.47±7.69	52.84±6.59	284.57±16.58	82.49±2.48	14.03±2.05	2.98±0.34
非单次组(n = 54)	8.93±1.50	87.95±8.58	54.11±7.69	254.39±13.82	83.27±2.84	14.35±2.18	3.04±0.48
χ^2/t 值	8.33[1)]	1.01[1)]	0.96[1)]	10.56[1)]	1.58[1)]	0.81[1)]	0.78[1)]
P 值	< 0.001	0.316	0.340	< 0.001	0.117	0.417	0.435

组别	C反应蛋白/(mg/L)	丙氨酸氨基转移酶/(u/L)	白蛋白/(g/L)	乳酸脱氢酶/(u/L)	肌酸激酶同工酶/(u/L)
单次组(n = 62)	93.28±17.59	39.28±2.95	42.93±2.28	348.38±18.69	9.19±2.93
非单次组(n = 54)	99.58±18.05	40.38±3.28	38.79±2.87	439.62±24.38	10.28±2.98
χ^2/t 值	1.90[1)]	1.90[1)]	8.65[1)]	22.77[1)]	1.95[1)]
P 值	0.060	0.060	< 0.001	< 0.001	0.053

注：1）为 t 值；2）为 χ^2 校正检验。

2.2　连续变量最佳截断值的 ROC curve 分析结果

将发热时间、血清白蛋白水平、氧合指数和血清乳酸脱氢酶水平4个连续变量转换为二分类变量，进行多因素 Logistic 回归分析，以 BAL 次数分组（单次组 = 0，非单次组 = 1）为状态变量，分别绘制各变量的 ROC curve，计算曲线下面积（area under the curve，AUC），并计算约登指数（Youden 指数 = 敏感度 + 特异度−1）。取约登指数最大值所对应的数值，

作为最佳截断值。

上述截断值在本研究样本中区分单次与非单次灌洗患者的效能良好（AUC均＞0.8）。最终以临床可操作性及指南推荐为优先，确定：氧合指数≤270.56 mmHg为“较低”，发热时间≥7 d为“较长”，血清白蛋白＜35 g/L为“较低”，血清乳酸脱氢酶＞250 u/L为“较高”。将以下连续变量转换为二分类变量，进行多因素Logistic回归分析：1）氧合指数：以270.56 mmHg为界，≤270.56 mmHg为氧合指数较低，以最大约登指数（约登指数=0.681）确定，该截断值接近SP相关研究的低氧血症参考阈值，且与急性呼吸窘迫综合征（acute respiratory distress syndrome，ARDS）柏林定义中氧合指数≤300 mmHg的预警方向一致；2）发热时间：以7 d为界，≥7 d定义为发热时间较长，＜7 d为正常范围，参考《中国成人社区获得性肺炎诊断和治疗指南（2016年版）》[7]中关于SP治疗反应评估的时间节点建议；3）血清白蛋白水平：以35 g/L为界，＜35 g/L定义为低白蛋白血症，参考临床营养诊断标准及本研究ROC curve分析的最大约登指数（约登指数＝0.611）；4）血清乳酸脱氢酶水平：以250 u/L为界，＞250 u/L定义为升高，参考本院检验科参考值范围上限及本研究ROC curve分析的最大约登指数（约登指数＝0.640）。见表2。

2.3 影响SP患者BAL次数的多因素Logistic回归分析

以BAL次数（单次＝0，非单次＝1）为因变量，将单因素分析中$P<0.05$的变量作为自变量，采用Logistic多因素回归模型（强制进入法，Enter法，引入水准α＝0.05）进行分析。自变量赋值方式如下：塑型痰栓（否＝0，是＝1）、胸腔积液（否＝0，是＝1）、黏膜糜烂（否＝0，是＝1）、氧合指数（实测值）、发热时间（实测值）、血清白蛋白水平（实测值）和血清乳酸脱氢酶水平（实测值）。Logistic多因素回归分析（强制进入法，引入水准$\alpha=0.05$）结果显示：塑型痰栓（$O\hat{R}=1.618$，95%*CI*：1.074～2.437）、胸腔积液（$O\hat{R}=1.669$，95%*CI*：1.074～2.593）、黏膜糜烂（$O\hat{R}=1.655$，95%*CI*：1.112～2.464）、发热时间长（$O\hat{R}=1.578$，95%*CI*：1.005～2.476）、血清白蛋白水平低（$O\hat{R}=1.605$，95%*CI*：1.028～2.504）和血清乳酸脱氢酶水平高（$O\hat{R}=1.554$，95%*CI*：1.073～2.251）为导致SP患者BAL次数增加的独立危险因素（$P<0.05$）。见表3。

2.4 影响SP患者BAL次数的回归方程的构建及评价

将上述差异有统计学意义的因素，纳入回归方程：Logit（*P*）＝−8.463+塑型痰栓×0.481+胸腔积液×0.512＋黏膜糜烂×0.504+发热天数×0.456+血清白蛋白水平×0.473+血清乳酸脱氢酶水平×0.441（$P<0.05$）。

2.5 影响SP患者BAL次数的回归方程预测价值

按照诊断概率Logit（*P*），绘制预测SP患者BAL次数的ROC curve，当Logit（*P*）＞0.89时，AUC为0.903，敏感度为88.71%（95%*CI*：83.82%～95.04%），特异度为83.33%（95%*CI*：73.20%～90.88%）。见图1。

表2 连续变量最佳截断值的ROC curve分析结果

Table 2 ROC curve analysis results of optimal truncation values of continuous variables

因素	AUC(95%*CI*)	最佳截断值	约登指数	敏感度/%	特异度/%	参考依据
氧合指数/mmHg	0.855(0.781～0.929)	270.56 mmHg	0.681	87.92	80.15	以最大约登指数确定，该截断值接近重症肺炎相关研究的低氧血症参考阈值，且与ARDS柏林定义中氧合指数≤300 mmHg的预警方向一致
发热时间/d	0.872(0.802～0.942)	7.2 d（取整7 d）	0.681	81.54	86.55	与指南推荐重症肺炎治疗反应评估时间点(7 d)一致
血清白蛋白/(g/L)	0.843(0.768～0.918)	34.8 g/L（取整35 g/L）	0.611	77.87	83.23	与临床低白蛋白血症诊断标准(＜35 g/L)一致
血清乳酸脱氢酶/(u/L)	0.841(0.768～0.914)	249.5 u/L（取整250 u/L）	0.640	82.23	81.82	与本院检验科参考值上限(250 u/L)一致

表 3　影响SP患者BAL次数的多因素Logistic回归分析

Table 3　Multivariate logistic regression analysis of affecting BAL times in SP patients

因素	*B*	*SE*	*Wald* χ^2值	*P*值	$\hat{OR}$	95%*CI*
塑型痰栓	0.481	0.209	5.297	0.021	1.618	1.074 ~ 2.437
胸腔积液	0.512	0.225	5.178	0.023	1.669	1.074 ~ 2.593
黏膜糜烂	0.504	0.203	6.164	0.013	1.655	1.112 ~ 2.464
氧合指数较低（≤ 270.56 mmHg）	0.512	0.284	3.250	0.071	1.669	0.956 ~ 2.911
发热时间较长（≥ 7 d）	0.456	0.230	3.931	0.047	1.578	1.005 ~ 2.476
血清白蛋白水平较低（< 35 g/L）	0.473	0.227	4.342	0.037	1.605	1.028 ~ 2.504
血清乳酸脱氢酶水平较高（> 250 u/L）	0.441	0.189	5.444	0.020	1.554	1.073 ~ 2.251

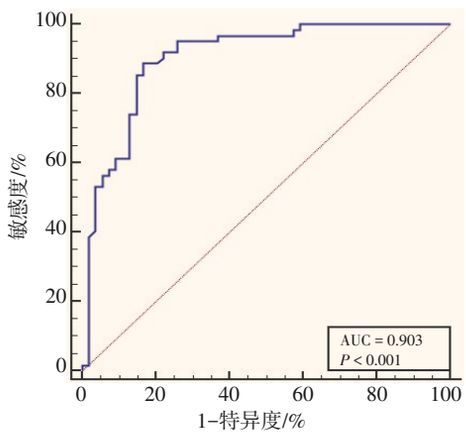

图 1　回归方程预测SP患者BAL次数的ROC curve

Fig.1　ROC curve of regression equation in predicting the times of BAL in SP patients

2.6　回归方程应用示例

2.6.1　例 1（多次灌洗患者）　患者男，58岁，无塑型痰栓（0），无胸腔积液（0），无黏膜糜烂（0），发热时间5 d，血清白蛋白42 g/L，血清乳酸脱氢酶261 u/L。代入方程（原值输入）：Logit（*P*）= −8.463+0 × 0.481+0 × 0.512+0 × 0.504+5 × 0.456+42 × 0.473+261 × 0.441 = −8.463+0+0+0+2.28+19.866+115.101 = 128.784，计算得出 Logit（P）= 128.784，明显高于截断值0.89。

2.6.2　例 2（多次灌洗患者）　患者女，62岁，有塑型痰栓（1），有胸腔积液（1），有黏膜糜烂（1），发热天数10 d，血清白蛋白32 g/L，血清乳酸脱氢酶480 u/L。代入方程（原值输入）：Logit（*P*）= −8.463+1 × 0.481+1 × 0.512+1 × 0.504+10 × 0.456+32 × 0.473+480 × 0.441 = −8.463+0.481+0.512+0.504+4.56+15.136+211.68 = 224.41，计算得出 Logit（*P*）= 224.41，亦高于0.89。

2.7　应用流程建议

临床医师可收集患者上述6项指标，代入本方程计算Logit（*P*）。若Logit（*P*）> 0.89，则提示患者可能需要多次BAL，应提前做好相应准备（如：安排重复操作时间和准备黏液溶解剂等）；若Logit（*P*）≤ 0.89，则单次BAL可能足够。最终决策仍需结合患者具体情况及操作中的实时表现来确定。

3　讨论

3.1　BAL用于SP治疗的临床意义

BAL在SP的治疗中扮演着至关重要的角色，其是一套基于精准介入、多靶点协同的治疗策略。进行BAL时，注入的大量生理盐水，能有效地稀释积聚在肺泡腔内的细菌内毒素、真菌细胞壁成分、病毒颗粒和大量促炎性细胞因子，且降低局部浓度，有助于减轻炎症级联反应对肺组织的损伤，同时，移除上述物质形成的黏液栓，改善通气和气体交换功能，有助于抑制病原体持续繁殖[8-9]。同时，BAL通过反复注入和抽吸生理盐水，可直接物理冲刷并清除这些阻塞性和感染性物质，恢复气道的通畅性。对于形成肺脓肿或脓腔的SP患者，BAL可深入病灶区域，有效地抽吸引流脓液，降低局部压力和毒素负荷，促进脓腔的闭合和愈合[10]。此外，BAL可在灌洗液中加入敏感的抗细菌药（如：氨基糖苷类抗生素和黏菌素）、抗真菌药（如：两性霉素B脂质体）、抗病毒药或表面活性物质，或于灌洗后局部灌注上述药物，可直接向病灶递送高浓度药物，以控制肺部感染[11]。而在临床实际中，BAL的操作效能受多方面的影响：首先，操作本身具有一定风险性，尤其在重症患者中风险增加；

其次，目前对于灌洗次数和灌洗量等关键操作参数缺乏标准化的规范，多依赖术者个人经验判断，主观性强；再次，SP患者气道内情况复杂，明显增加了操作的技术难度、耗时及不确定性[12-13]。因此，深入剖析并量化影响SP患者BAL次数的多维影响因素，不仅具有重要的理论意义，还是临床实践亟需解决的现实问题。

3.2 影响SP患者BAL次数的危险因素

本研究结果显示，塑型痰栓、胸腔积液、黏膜糜烂、发热时间较长、血清白蛋白水平较低和血清乳酸脱氢酶水平较高是导致SP患者BAL次数增加的危险因素。塑型痰栓由高度黏稠的炎性分泌物、坏死细胞及纤维蛋白构成，紧密附着于支气管壁，极大地增加了支气管镜的吸引难度，且会对支气管形成物理阻塞，导致灌洗液难以有效地穿透和溶解栓体，首次灌洗常无法充分地清除病灶，是导致需多次灌洗最直接的因素之一[14]。胸腔积液可压迫肺组织，导致局部肺不张，使目标支气管开口发生位移或狭窄，增加支气管镜到达目标肺段的难度和失败风险；而脓性渗出液引发脓胸后，则需多次灌洗以明确病原体并引流脓液[15]。SP患者呼吸道存在严重炎症，可导致支气管黏膜广泛糜烂和血管裸露，灌洗易诱发活动性出血，而血液混入灌洗液会降低标本质量，需重复操作；同时，血液覆盖镜面，导致视野模糊，难以继续进行，迫使灌洗中断，可能需要增加灌洗次数以达到治疗目的[16-17]。持续发热提示：初始治疗失败或继发新病原体感染。其中，耐药菌（如：耐甲氧西林金黄色葡萄球菌和耐碳青霉烯类肠杆菌）或真菌感染，需多次灌洗明确病原体；此外，感染灶包裹（如：肺脓肿的发生），也需反复灌洗引流及局部给药[18]。血清白蛋白水平较低可导致患者机体血浆胶体渗透压下降，加重肺泡水肿，使灌洗液回收率降低；同时，组织修复延迟，气道炎症迁延，需增加灌洗次数控制感染[19]。血清乳酸脱氢酶水平较高，标志着肺实质细胞广泛损伤和肺孢子菌或巨细胞病毒等特殊病原体感染，肺泡上皮破坏导致灌洗液混入大量血液及细胞碎片，影响病原检测准确性；而肺孢子菌或巨细胞病毒等特殊病原体感染，则需多次灌洗以提高检出率[20]。此外，各危险因素间可能存在协同效应。如：低白蛋白血症患者常伴肺泡水肿和回收率下降，若同时合并乳酸脱氢酶明显升高（反映肺实质广泛损伤），则提示肺泡-毛细血管屏障破坏更为严重，灌洗液中血液和细胞碎片混杂程度更高，可能需要多次灌洗才能获得合格标本。黏膜糜烂合并塑型痰栓时，既存在操作相关的出血风险，又因痰栓黏附而难以一次清除，两者叠加，明显增加了多次灌洗的概率。未来可进一步采用交互作用分析或列线图模型量化这些协同效应。本研究中，两组肌酸激酶同工酶比较的P值接近0.050，虽然差异未达统计学水平，但提示：心肌损伤可能与灌洗次数存在潜在关联，未来研究可扩大样本进一步探讨。

3.3 回归方程的预测价值

本研究根据多因素分析结果构建相关的回归方程：Logit（P）=-8.463+塑型痰栓×0.481+胸腔积液×0.512+黏膜糜烂×0.504+发热天数×0.456+血清白蛋白水平×0.473+血清乳酸脱氢酶水平×0.441，ROC curve分析结果显示，当Logit（P）>0.89时，回归方程预测SP患者BAL次数的AUC值为0.903，敏感度为88.71%，特异度为83.33%，说明其预测价值良好。据此制定相关的防治措施如下：1）对于存在塑型痰栓的患者，在进行BAL前，可先采用黏液溶解剂预处理，如：N-乙酰半胱氨酸或α-糜蛋白酶，在灌洗前进行雾化吸入，可降低痰栓黏滞性；对于顽固性塑型痰栓，可通过联合使用活检钳或冷冻探头破碎痰栓，进行支气管镜下机械清除，减少灌洗依赖；在患病早期可使用吡非尼酮或尼达尼布，抑制纤维蛋白沉积，减少塑型痰栓的形成[21]；2）对于存在胸腔积液的患者，当积液量>500 mL时，需要优先进行超声引导下胸腔穿刺引流，解除肺压迫；对于已经产生脓胸的患者，可注入尿激酶，在胸腔内解除纤维分隔，促进积液清除；而针对肺炎旁胸腔积液，强化抗感染治疗，以控制积液的产生；3）对于存在黏膜糜烂的患者，灌洗前可在支气管内喷洒冰肾上腺素盐水进行局部止血预处理，在灌洗过程中限制负压吸引力，避免吸引头直接接触糜烂面，减少出血；日常可静脉补充维生素C及谷氨酰胺，增强黏膜屏障，促进黏膜修复[22]；4）对于发热时间较长的患者，如：发热72 h未缓解者，可进行病原宏基因组检测，快速识别罕见病原体；同时，及时对患者感染病原菌进行药敏试验，并根据结果及时缩窄抗菌谱，避免广谱抗生素诱导耐药；对于确诊为肺脓肿的患者，灌洗后需注入万古霉素给予局部抗菌药灌注，以控制病情；5）

对于血清白蛋白水平较低的患者，需要进行强化营养支持治疗，优先选择短肽型肠内营养剂，同时给予静脉滴注白蛋白联合利尿剂（呋塞米）治疗，以减轻肺水肿；6）对于血清乳酸脱氢酶水平较高的患者，需要针对病原体治疗，对于疑似肺孢子菌肺炎者，用复方磺胺甲噁唑，疑似巨细胞病毒感染者用更昔洛韦；同时给予乙酰半胱氨酸抗氧化治疗，以减轻氧化应激损伤，并给予皮下注射肝素，抑制纤溶酶原激活物抑制剂-1，促进上皮修复，保护肺泡上皮。当患者 Logit（P）≤0.89 时，提示单次 BAL 可能足够，可按常规流程操作；当 Logit（P）＞0.89 时，提示存在多次灌洗风险，建议术前预留充足操作时间，准备重复操作条件，并积极采取上述干预措施，以减少灌洗次数。此外，本回归方程主要适用于成人 SP 患者，尤其是符合本研究纳入标准的社区获得性肺炎与院内获得性肺炎患者。对于儿童和老年衰弱患者、免疫缺陷人群、合并大出血风险或严重凝血功能障碍者，本回归方程的预测价值可能受限，临床应用时需结合患者具体情况进行综合判断。若患者存在本研究未纳入的特殊情况（如：气道解剖异常、重度急性呼吸窘迫综合征需高频振荡通气等），亦应谨慎参考本方程结果。

3.4　本研究的局限性

第一，本研究为单中心、小样本量（116 例）的回顾性设计，且仅纳入治疗后好转的患者，排除了死亡和自动出院等不良结局病例，存在选择偏倚，结论的外推性受限；第二，回顾性研究固有的信息偏倚难以避免，部分潜在混杂因素（如：基础疾病严重程度评分、具体抗感染药物种类及疗程、病原体类型和操作者经验水平等）未纳入分析，可能影响模型的稳定性和解释力；第三，模型在特殊人群（如：儿童、老年衰弱者、免疫缺陷患者、凝血功能障碍者、气道解剖异常或重度急性呼吸窘迫综合征需高频振荡通气者）中的预测效能尚不明确，应用时需谨慎；第四，变量截断值基于单中心 ROC curve 分析确定，在不同地区或医疗中心可能存在差异。因此，本回归方程的临床应用应视为辅助决策工具，而非绝对标准。未来需开展前瞻性、多中心的大样本研究，纳入不同预后亚组，进一步验证并优化该模型。

综上所述，SP 患者 BAL 次数增加的危险因素包括：塑型痰栓、胸腔积液、黏膜糜烂、发热时间较长、血清白蛋白水平较低和血清乳酸脱氢酶水平较高，据此构建的回归方程，在本研究样本中显示出较好的预测价值。但其外推性尚需多中心、大样本的研究验证。

参 考 文 献：

[1] Chugh K, Jatwani S. Transbronchial biopsy vs. bronchoalveolar lavage in interstitial lung disease[J]. Curr Opin Pulm Med, 2022, 28(1): 3-8.

[2] Chen Ruxuan, Shi Yujie, Fang Nan, et al. Bronchoalveolar lavage fluid analysis in patients with checkpoint inhibitor pneumonitis[J]. Cancer Immunol Immunother, 2024, 73(11): 235.

[3] Wang Mengzhu, Ren Ruijuan, Xu Yuping, et al. Oxidative stress in the alveolar lavage fluid of children with Mycoplasma pneumoniae pneumonia[J]. Pediatr Pulmonol, 2024, 59(11): 2772-2782.

[4] Zong Xiaolong, Wang Xuechao, Liu Yaru, et al. Comparative analysis of compartment-specific immunothrombotic biomarker profiles in bronchoalveolar lavage fluid and serum of patients with pneumonia-related acute respiratory distress syndrome: a preliminary cross-sectional study[J]. J Investig Med, 2025, 73(1): 104-115.

[5] Hogea S P, Tudorache E, Pescaru C, et al. Bronchoalveolar lavage: role in the evaluation of pulmonary interstitial disease[J]. Expert Rev Respir Med, 2020, 14(11): 1117-1130.

[6] Da Silva S O, Da Paz A S, Farias I M V C, et al. Bronchoalveolar lavage in systemic sclerosis patients: a systematic review[J]. Curr Rheumatol Rev, 2021, 17(2): 176-183.

[7] 中华医学会呼吸病学分会. 中国成人社区获得性肺炎诊断和治疗指南(2016 年版)[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2016, 39(4): 253-279.
Respiratory Diseases Branch of the Chinese Medical Association. Guideline for the diagnosis and treatment of adult community-acquired pneumonia in China (2016 edition)[J]. Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Disease, 2016, 39(4): 253-279.

[8] 吕思慧, 赵楠. APACHEII、qSOFA、CURB-65 评分对老年社区获得性肺炎患者短期预后的预测作用研究[J]. 临床误诊误治, 2020, 33(9): 107-112.
Lü Sihui, Zhao Nan. Predictive effect of APACHEII, qSOFA and CURB-65 scoring systems on short-term prognosis in elderly patients with community acquired pneumonia[J]. Clinical Misdiagnosis & Mistherapy, 2020, 33(9): 107-112.

[9] Moriyama S, Kido T, Sakamoto N, et al. Pulmonary nodular lymphoid hyperplasia evaluated with bronchoalveolar lavage fluid findings: a case report and review of the literature on Japanese patients[J]. Intern Med, 2023, 62(1): 95-102.

[10] Chen Shenglin, Kang Yutong, Li Dan, et al. Diagnostic performance

of metagenomic next-generation sequencing for the detection of pathogens in bronchoalveolar lavage fluid in patients with pulmonary infections: systematic review and Meta-analysis[J]. Int J Infect Dis, 2022, 122(4): 867-873.

[11] Haeger S, Moore C M, Mcmanus S A, et al. The bronchoalveolar lavage dilution conundrum: an updated view on a long-standing problem[J]. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol, 2024, 327(5): L807-L813.

[12] Ezmigna D, Brown M, Daines C, et al. Bronchoalveolar lavage profiles in uncontrolled wheezy children compared by asthma predictive index[J]. Pediatr Pulmonol, 2022, 57(1): 293-299.

[13] De Oliveira V F, Silva G D, Taborda M, et al. Systematic review and Meta-analysis of galactomannan antigen testing in serum and bronchoalveolar lavage for the diagnosis of chronic pulmonary aspergillosis: defining a cutoff[J]. Eur J Clin Microbiol Infect Dis, 2023, 42(9): 1047-1054.

[14] 刘国文, 赵华锋, 王海立, 等. 儿童肺炎支原体肺炎行多次支气管肺泡灌洗术的危险因素分析[J]. 中国妇幼健康研究, 2024, 35(6): 12-17.
Liu Guowen, Zhao Huafeng, Wang Haili, et al. Analysis of risk factors for multiple bronchoalveolar lavage in children with mycoplasma pneumoniae pneumonia[J]. Chinese Journal of Woman and Child Health Research, 2024, 35(6): 12-17.

[15] 王亚红, 张有为. 大叶性肺炎患儿多次行支气管镜下灌洗的危险因素分析[J]. 中国医师进修杂志, 2025, 48(4): 348-352.
Wang Yahong, Zhang Youwei. Analysis of risk factors of multiple bronchoscopic lavage in children with lobar pneumonia [J]. Chinese Journal of Postgraduates of Medicine, 2025, 48(4): 348-352.

[16] 齐天琪, 杨靖娴, 吴秀镯, 等. 下呼吸道感染老年患者肺泡灌洗液病原学特点及预后相关因素分析[J]. 标记免疫分析与临床, 2023, 30(3): 373-379.
Qi Tianqi, Yang Jingxian, Wu Xiuzhuo, et al. An analysis of pathogenic characteristics and prognostic factors of elderly inpatients with lower respiratory tract infections[J]. Labeled Immunoassays and Clinical Medicine, 2023, 30(3): 373-379.

[17] Martinu T, Koutsokera A, Benden C, et al. International Society for Heart and Lung Transplantation consensus statement for the standardization of bronchoalveolar lavage in lung transplantation[J]. J Heart Lung Transplant, 2020, 39(11): 1171-1190.

[18] Li Chang, Sun Lin, Liu Yin, et al. Diagnostic value of bronchoalveolar lavage fluid galactomannan assay for invasive pulmonary aspergillosis in adults: a Meta-analysis[J]. J Clin Pharm Ther, 2022, 47(12): 1913-1922.

[19] Wang Pengmei, Zhang Zhongwei, Zhang Shan, et al. Characterization of immunomodulatory factors and cells in bronchoalveolar lavage fluid for immune checkpoint inhibitor-related pneumonitis[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2023, 149(10): 8019-8026.

[20] Tzilas V, Digalaki A, Bouros E, et al. Diagnostic utility of bronchoalveolar lavage lymphocytosis in patients with interstitial lung diseases[J]. Respiration, 2023, 102(11): 944-947.

[21] Hill M, Petnak T, Moua T. Bronchoalveolar lavage lymphocytosis in hypersensitivity pneumonitis: a retrospective cohort analysis with elimination of incorporation bias[J]. BMC Pulm Med, 2022, 22(1): 49.

[22] 阿琪, 王婧超. 支气管肺泡灌洗液中炎症因子水平对中重度急性呼吸窘迫综合征患者预后的预测价值分析[J]. 中国医刊, 2025, 60(3): 305-307.
A Qi, Wang Jingchao. Analysis of the predictive value of inflammatory factor levels in bronchoalveolar lavage fluid for the prognosis of patients with moderate to severe acute respiratory distress syndrome[J]. Chinese Journal of Medicine, 2025, 60(3): 305-307.

（吴静 编辑）

本文引用格式：

王秋月, 李松明, 李培恒, 等. 重症肺炎患者支气管肺泡灌洗次数的影响因素分析[J]. 中国内镜杂志, 2026, 32(7): 40-48.

Wang Qiuyue, Li Songming, Li Peiheng, et al. Risk factors for bronchoalveolar lavage times in patients with severe pneumonia[J]. China Journal of Endoscopy, 2026, 32(7): 40-48.