

# 肺炎支原体肺炎患儿支气管肺泡灌洗液T淋巴细胞亚群变化及临床意义

陈俊鸿, 王春燕, 王 上

义乌市中心医院儿科, 浙江 金华

收稿日期: 2026年7月13日; 录用日期: 2026年8月6日; 发布日期: 2026年8月17日

## 摘 要

目的: 探讨肺炎支原体肺炎(MPP)患儿支气管肺泡灌洗液(BALF)中T淋巴细胞亚群的变化特征, 并分析其临床意义。方法: 选取2023年10月~2025年10月本院收治的80例MPP患儿作为研究对象, 根据病情严重程度分为轻症组( $n=45$ )和重症组( $n=35$ )。采用流式细胞术检测两组患儿BALF中CD3<sup>+</sup>、CD4<sup>+</sup>、CD8<sup>+</sup>T淋巴细胞百分比; 通过二元Logistic回归分析影响因素, 并采用向前逐步回归法(纳入 $\alpha=0.05$ , 剔除 $\alpha=0.10$ )构建简约预测模型。结果: 重症组乳酸脱氢酶(LDH)高于轻症组( $P<0.05$ ); 重症组BALF中CD3<sup>+</sup>、CD4<sup>+</sup>低于轻症组, CD8<sup>+</sup>高于轻症组( $P<0.05$ )。全变量Logistic回归显示, BALF CD4<sup>+</sup>是重症的保护因素(OR = 0.703, 95% CI: 0.533~0.928,  $P=0.013$ ); BALF CD8<sup>+</sup> (OR = 1.169, 95% CI: 0.960~1.423,  $P=0.121$ )和LDH (OR = 1.030, 95% CI: 0.996~1.066,  $P=0.083$ )未达统计学显著性。逐步回归筛选后, 最终模型仅纳入BALF CD4<sup>+</sup>, 构建的简化预测模型为:  $\text{Logist}(P) = 11.725 + (-0.350) \times \text{BALF CD4}^+$ ; Hosmer-Lemeshow检验 $\chi^2 = 4.102$ ,  $P=0.848$ ; 该模型预测重症MPP的AUC为0.845 (95% CI: 0.762~0.928), 约登指数0.680; 以0.438为截断值, 敏感度、特异度分别为85.71%、82.22%。结论: MPP患儿BALF中存在T淋巴细胞亚群失衡; BALF CD4<sup>+</sup>可作为评估病情严重程度的独立免疫指标; 基于逐步回归构建的简约预测模型避免了过拟合, 具有较好的校准度与临床实用性, 但仍需多中心外部验证。

## 关键词

肺炎支原体肺炎, T淋巴细胞亚群, 支气管肺泡灌洗液, 病情严重程度

## Changes in T Lymphocyte Subsets in Bronchoalveolar Lavage Fluid and Their Clinical Significance in Children with *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia

Junhong Chen, Chunyan Wang, Shang Wang

文章引用: 陈俊鸿, 王春燕, 王上. 肺炎支原体肺炎患儿支气管肺泡灌洗液T淋巴细胞亚群变化及临床意义[J]. 临床医学进展, 2026, 16(8): 1208-1214. DOI: 10.12677/acm.2026.1682896

Department of Pediatrics, Yiwu Central Hospital, Jinhua Zhejiang

Received: July 13, 2026; accepted: August 6, 2026; published: August 17, 2026

## Abstract

**Objective:** To investigate the characteristic changes in T lymphocyte subpopulations in bronchoalveolar lavage fluid (BALF) of children with *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia (MPP) and analyze their clinical significance. **Methods:** A total of 80 children with MPP admitted to our hospital from October 2023 to October 2025 were selected as study subjects and divided into a mild group (n = 45) and a severe group (n = 35) based on disease severity. Flow cytometry was employed to measure the percentages of CD3<sup>+</sup>, CD4<sup>+</sup>, and CD8<sup>+</sup> T lymphocytes in the bronchoalveolar lavage fluid (BALF) of both groups. Binary logistic regression analysis was conducted to identify influencing factors, and a simplified predictive model was constructed using forward stepwise regression (with inclusion cutoff at  $\alpha = 0.05$  and exclusion cutoff at  $\alpha = 0.10$ ). **Results:** The lactate dehydrogenase (LDH) level was significantly higher in the severe group compared to the mild group ( $P < 0.05$ ). The BALF levels of CD3<sup>+</sup> and CD4<sup>+</sup> were lower in the severe group, while CD8<sup>+</sup> levels were higher ( $P < 0.05$ ). Full-variable logistic regression revealed that BALF CD4<sup>+</sup> was a protective factor for severe disease (OR = 0.703, 95% CI: 0.533~0.928,  $P = 0.013$ ); BALF CD8<sup>+</sup> (OR = 1.169, 95% CI: 0.960~1.423,  $P = 0.121$ ) and LDH (OR = 1.030, 95% CI: 0.996~1.066,  $P = 0.083$ ) showed no statistically significant associations. After stepwise regression screening, the final model included only BALF CD4<sup>+</sup> cells, yielding a simplified predictive model: Logistic regression equation ( $P$ ) =  $11.725 + (-0.350) \times \text{BALF CD4}^+$ . The Hosmer-Lemeshow test yielded a  $\chi^2$  value of 4.102 with  $P = 0.848$ ; this model demonstrated an AUC of 0.845 (95% CI: 0.762~0.928) and a Joenson index of 0.680 for predicting severe MPP. Using a cutoff value of 0.438, the sensitivity and specificity were 85.71% and 82.22%, respectively. **Conclusion:** BALF samples from children with MPP exhibit an imbalance in T lymphocyte subsets; BALF CD4<sup>+</sup> serves as an independent immunological marker for assessing disease severity; the simplified predictive model developed via stepwise regression avoids overfitting, exhibits good calibration and clinical utility, but requires further multi-center external validation.

## Keywords

*Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia, T Lymphocyte Subsets, Bronchoalveolar Lavage Fluid, Disease Severity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

肺炎支原体(MP)是儿童社区获得性肺炎最常见的病原体之一, 占儿童社区获得性肺炎的 10%~40%, 且每 3~7 年可出现一次暴发流行, 近年来其发病率呈逐年上升趋势, 重症、难治性病例也不断增多[1][2]。肺炎支原体肺炎(MPP)多见于 5 岁以上儿童, 临床表现以发热、刺激性干咳、肺部啰音为主, 部分患儿可出现支原体肺炎、心肌炎等肺外并发症, 严重影响儿童身心健康[3][4]。目前 MPP 的发病机制尚未完全明确, 普遍认为与 MP 直接侵犯呼吸道上皮细胞及机体免疫功能紊乱密切相关, 其中细胞免疫在 MPP 的发生、发展中发挥核心作用[5]。T 淋巴细胞是机体细胞免疫的核心组成部分, 而支气管肺泡灌洗液(BALF)

直接来源于肺部病变部位,可更直接地反映肺部局部免疫微环境的变化,相较于全身指标,其在评估 MPP 肺部局部免疫状态及病情严重程度中具有独特优势[6]。现有研究多聚焦于血清免疫指标,针对 BALF 中 T 淋巴细胞亚群的专项研究仍相对不足,其在 MPP 病情评估中的价值尚需进一步明确[7] [8]。本研究通过检测 MPP 患儿 BALF 中 T 淋巴细胞亚群指标,探讨其变化特征及临床意义,为 MPP 的病情评估提供更具针对性的免疫学依据。

## 2. 资料和方法

### 2.1. 一般资料

选取 2023 年 10 月~2025 年 10 月本院收治的 80 例 MPP 患儿作为研究对象,根据病情严重程度分为轻症组( $n = 45$ )和重症组( $n = 35$ )。重症 MPP 诊断标准:指 MPP 患儿使用大环内酯类抗菌药物正规治疗 7 d 及以上,仍持续发热,临床症状、体征及肺部影像学所见均加重,或出现肺外并发症者;轻症组:指 MPP 患儿使用大环内酯类抗菌药物正规治疗 7 d 内,发热消退,临床症状、体征及肺部影像学表现明显改善,无肺外并发症者。纳入标准:① 符合 MPP 的诊断标准[1];② 经肺炎支原体 IgM 抗体检测阳性,或肺炎支原体核酸检测阳性;③ 年龄 3~15 岁;④ 入院前未接受过糖皮质激素、免疫抑制剂及抗 MP 治疗。排除标准:① 合并细菌、病毒等其他病原体感染;② 合并先天性心脏病、免疫缺陷病、哮喘、慢性肺部疾病等基础疾病;③ 合并严重心肌炎、脑炎等肺外严重并发症;④ 近期有输血、免疫接种史。

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. 一般资料收集

制定 MPP 患儿统计调查表,详细收集所有研究对象的临床资料,具体内容包括:① 一般资料:患儿性别(男/女)、年龄、发热时间等;② 实验室指标:住院时乳酸脱氢酶(LDH)、CRP、PCT、Ig E、FER、ESR 水平;③ 治疗相关资料:大环内酯类药物种类及激素使用情况。

#### 2.2.2. BALF 标本采集与处理

采用流式细胞术检测,用一次性吸管吹打并吸取 2~4 mL 新鲜 BALF 标本,经过滤处理后加入无菌生理盐水至 10 mL,充分混匀;以 200 g 的速度离心 5 min,弃去上清液,保留管底剩余 200  $\mu$ L 液体,再次混匀;采用反向加样法取 50  $\mu$ L 上述细胞悬液加入流式管中,加入 20  $\mu$ L 6C-TBNC 六色荧光抗体,涡旋混匀后室温避光孵育 15 min;每管加入 450  $\mu$ L 裂红素,继续避光孵育 15 min,充分混匀后上机检测,得出 BALF 中 CD3<sup>+</sup>、CD4<sup>+</sup>、CD8<sup>+</sup> T 淋巴细胞、B 细胞、NK 细胞的百分比。

### 2.3. 统计学分析

所有研究数据选用 IBM SPSS 26.0 统计软件。计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )描述,用  $t$  检验;计数资料以[例(%)]描述,用  $\chi^2$  检验;采用二元 Logistic 回归分析影响因素;绘制受试者工作特征(ROC)曲线绘制 ROC 曲线,判断各指标对结局事件的预测价值。以  $P < 0.05$  提示差异有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 两组一般资料及实验室指标比较

两组患儿性别、年龄、发热时间、CRP、PCT、Ig E、FER、ESR、大环内酯类药物使用种类、激素使用情况比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );重症组乳酸脱氢酶高于轻症组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表 1。

**Table 1.** Comparison of baseline characteristics and laboratory parameters between the two groups [( $\bar{x} \pm s$ ), n (%)]  
**表 1.** 两组一般资料及实验室指标对比[( $\bar{x} \pm s$ ), 例(%)]

| 组别          | 轻症组(n = 45)        | 重症组(n = 35)        | $\chi^2/t$ 值 | P 值   |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------|-------|
| 性别          |                    |                    |              |       |
| 男           | 25 (55.56)         | 20 (44.44)         | 0.020        | 0.887 |
| 女           | 20 (57.14)         | 15 (42.86)         |              |       |
| 年龄(岁)       | 6.75 $\pm$ 2.34    | 7.58 $\pm$ 2.59    | 1.502        | 0.137 |
| 发热时间(d)     | 5.94 $\pm$ 1.04    | 6.25 $\pm$ 1.27    | 1.200        | 0.234 |
| CRP (mg/L)  | 25.84 $\pm$ 3.04   | 27.32 $\pm$ 5.46   | 1.539        | 0.128 |
| PCT (ng/mL) | 1.18 $\pm$ 0.07    | 1.25 $\pm$ 0.25    | 1.793        | 0.077 |
| LDH (U/L)   | 251.56 $\pm$ 35.23 | 276.83 $\pm$ 40.16 | 2.993        | 0.004 |
| IgE (IU/mL) | 97.29 $\pm$ 19.05  | 102.38 $\pm$ 20.47 | 1.148        | 0.255 |
| FER (ng/mL) | 121.53 $\pm$ 24.31 | 132.27 $\pm$ 26.45 | 1.886        | 0.063 |
| ESR (mm/h)  | 25.39 $\pm$ 5.07   | 27.25 $\pm$ 5.45   | 1.575        | 0.119 |
| 大环内酯类药物使用种类 |                    |                    |              |       |
| 阿奇霉素        | 40 (88.89)         | 32 (91.43)         | 0.175        | 0.916 |
| 红霉素         | 3 (6.67)           | 2 (5.71)           |              |       |
| 其他          | 2 (4.44)           | 1 (2.86)           |              |       |
| 激素使用情况      |                    |                    |              |       |
| 使用激素        | 14 (31.11)         | 18 (51.43)         | 3.386        | 0.066 |
| 未使用激素       | 31 (68.89)         | 17 (48.57)         |              |       |

3.2. 两组研究对象 BALF T 淋巴细胞亚群指标比较

重症组患儿 BALF CD3<sup>+</sup>、CD4<sup>+</sup>低于轻症组，CD8<sup>+</sup>高于轻症组，差异有统计学意义(P < 0.05)；两组 B 细胞、NK 细胞百分比比较差异无统计学意义(P > 0.05)。见表 2。

**Table 2.** Comparison of T lymphocyte subpopulation markers in BALF between the two study groups ( $\bar{x} \pm s$ )  
**表 2.** 两组研究对象 BALF 中 T 淋巴细胞亚群指标比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 指标                   | 轻症组(n = 45)      | 重症组(n = 35)      | t 值   | P 值   |
|----------------------|------------------|------------------|-------|-------|
| CD3 <sup>+</sup> (%) | 64.58 $\pm$ 5.72 | 58.39 $\pm$ 5.64 | 4.831 | 0.000 |
| CD4 <sup>+</sup> (%) | 35.62 $\pm$ 4.58 | 30.46 $\pm$ 5.38 | 4.630 | 0.000 |
| CD8 <sup>+</sup> (%) | 36.15 $\pm$ 4.67 | 40.25 $\pm$ 5.02 | 3.770 | 0.000 |
| B 细胞(%)              | 19.32 $\pm$ 3.65 | 18.45 $\pm$ 2.69 | 1.182 | 0.241 |
| NK 细胞(%)             | 11.25 $\pm$ 2.25 | 10.82 $\pm$ 1.46 | 0.981 | 0.330 |

3.3. MPP 患儿病情严重程度的二元 Logistic 回归分析

以 MPP 患儿病情严重程度(轻症 = 0，重症 = 1)为因变量，将 BALF 中 CD3<sup>+</sup>、CD4<sup>+</sup>、CD8<sup>+</sup> T 淋巴细胞百分比及 LDH 作为自变量纳入二元 Logistic 回归模型。全变量模型结果见表 3。全变量模型结果：

BALF CD4<sup>+</sup>是 MPP 患儿病情为重症的保护因素(OR = 0.703, 95% CI: 0.533~0.928, P = 0.013); BALF CD8<sup>+</sup>的 OR = 1.169 (95% CI: 0.960~1.423), P = 0.121, 未达统计学显著性, 不能认定为重症的独立危险因素, 仅提示可能存在正向关联的潜在趋势; LDH 的 OR = 1.030 (95% CI: 0.996~1.066), P = 0.083, 处于 0.05~0.10 的边缘显著区间, 其与病情严重程度的独立关联尚不确定, 需谨慎解读; BALF CD3<sup>+</sup>无统计学意义(P = 0.447)。常量  $\beta = 18.562$ 。逐步回归构建简约模型: 鉴于全变量模型中仅 BALF CD4<sup>+</sup>达到预设显著性水平(P < 0.05), 根据统计学简约原则, 本研究进一步采用向前逐步回归法(纳入标准  $\alpha = 0.05$ , 剔除标准  $\alpha = 0.10$ )对自变量进行筛选。最终仅有 BALF CD4<sup>+</sup>被纳入模型( $\beta = -0.350$ , SE = 0.136, Wald = 6.61, P = 0.010, OR = 0.705, 95% CI: 0.540~0.920)。基于此构建的简化预测模型公式为:  $\text{Logist (P)} = 11.725 + (-0.350) \times \text{BALF CD4}^+$ 。该模型事件数/参数比(EPV) = 35/1 = 35, 远高于 10:1 的推荐标准, 有效降低了过拟合风险。见表 3。

**Table 3.** Binary Logistic regression analysis of disease severity in children with MPP  
**表 3.** MPP 患儿病情严重程度的二元 Logistic 回归分析

|                       | $\beta$ | SE    | Wald $\chi^2$ | P     | OR    | 95% CI      |
|-----------------------|---------|-------|---------------|-------|-------|-------------|
| BALF CD3 <sup>+</sup> | -0.065  | 0.086 | 0.577         | 0.447 | 0.937 | 0.792~1.108 |
| BALF CD4 <sup>+</sup> | -0.353  | 0.142 | 6.202         | 0.013 | 0.703 | 0.533~0.928 |
| BALF CD8 <sup>+</sup> | 0.156   | 0.101 | 2.408         | 0.121 | 1.169 | 0.960~1.423 |
| LDH                   | 0.030   | 0.017 | 2.997         | 0.083 | 1.030 | 0.996~1.066 |
| 常量                    | 18.562  | 9.921 | 3.501         | 0.061 |       |             |

### 3.4. MPP 患儿病情严重程度的 ROC 曲线分析

基于逐步回归构建的简化模型, 绘制 ROC 曲线评估其区分度。结果显示, 该模型预测儿童 MPP 病情为重症的 AUC 为 0.845 (95% CI: 0.762~0.928), 约登指数为 0.680; 以 0.438 (接近本队列重症患病率 35/80)为截断值, 模型预测的敏感度、特异度分别为 85.71%、82.22%。Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验  $\chi^2 = 4.102$ , P = 0.848, 提示模型校准度良好, 预测概率与实际观测概率无显著差异。见图 1。

## 4. 讨论

MPP 是儿童常见呼吸道感染性疾病, 免疫功能紊乱尤其是肺部局部免疫失衡在其发病及病情进展中起关键作用[9]。BALF 直接来源于肺部病变部位, 可精准反映肺部局部免疫微环境的变化, 是评估 MPP 肺部免疫状态的理想标本, 其指标变化较全身指标更能体现病变本身的病理特征[10]。本研究重症组 CD8<sup>+</sup>高于轻症组(表 2, P < 0.000), 但在多因素 Logistic 回归模型中, CD8<sup>+</sup>未能保持独立预测价值(OR = 1.169, 95% CI 跨越 1.0, P = 0.121)。这一结果提示, CD8<sup>+</sup>升高可能更多反映疾病严重时的继发性免疫反应, 而非独立于其他因素的致病驱动因素; 其单因素水平的组间差异可能受到 CD4<sup>+</sup>水平及其他因素的混杂影响。

LDH 是反映机体细胞损伤的非特异性指标, 本研究中重症组 LDH 水平高于轻症组, 提示重症 MPP 患儿肺组织损伤更严重。CD3<sup>+</sup> T 淋巴细胞是成熟 T 细胞的标志性分子, 其数量减少反映重症患儿肺部局部总体细胞免疫功能下降, 对病原体的免疫应答能力不足[11]。CD4<sup>+</sup> T 淋巴细胞作为辅助性 T 细胞, 在肺部局部免疫中发挥核心调节作用: 一方面可分化为 Th1 细胞介导对 MP 的清除, 另一方面可通过调控炎症因子释放、抑制中性粒细胞过度浸润等途径减轻肺组织损伤, 因此其水平降低是病情进展为保护因素, 与 Liu 等[12]的研究结论一致——难治性 MPP 患儿 BALF 中 CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup>比值显著降低, 且与黏液栓



## 基金项目

2023 年义乌市科技计划项目(23-3-38)。

## 参考文献

- [1] 陈志敏, 求伟玲. 儿童肺炎支原体肺炎治疗进展[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(16): 1214-1217.
- [2] 刘凯, 付红敏, 陆权. 儿童肺炎支原体肺炎的流行病学新进展[J]. 中华儿科杂志, 2024, 62(7): 696-699.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 儿童肺炎支原体肺炎诊疗指南(2023 年版) [J]. 国际流行病学传染病学杂志, 2023, 50(2): 79-85.
- [4] 王赞, 罗智花, 刘洪. 肺炎支原体抗体效价对 MPP 的诊断价值及与气道炎症反应的关系[J]. 分子诊断与治疗杂志, 2023, 15(8): 1379-1383.
- [5] Tahmasebi, H., Babaeizad, A., Mohammadlou, M., Alibabaei, F., Banihashemian, S.Z. and Eslami, M. (2024) Reemergence of *Mycoplasma Pneumoniae* Disease: Pathogenesis and New Approaches. *Microbial Pathogenesis*, **196**, Article 106944. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106944>
- [6] Liang, A., Zhu, Y., Wu, X., Zhang, Q., He, Y., Wang, A., *et al.* (2025) Proteomic Characteristics of Bronchoalveolar Lavage Fluid in Children with Mild and Severe *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Frontiers in Microbiology*, **16**, Article 1595521. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1595521>
- [7] 田伟, 梁淳, 宋亚娟. 肺炎支原体肺炎患儿血清 microRNA-21 和 microRNA-221 水平变化及与炎症因子、T 淋巴细胞亚群的相关性[J]. 中国现代医学杂志, 2021, 31(19): 19-24.
- [8] 钟海琴, 曾泽宇, 顾浩翔, 等. 重症肺炎支原体肺炎耐药与敏感患儿免疫炎症指标比较及临床意义[J]. 临床肺科杂志, 2026, 31(1): 1-6.
- [9] Wang, Y., Yu, X., Liu, F., Tian, X., Quan, S., Jiao, A., *et al.* (2023) Respiratory Microbiota Imbalance in Children with *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *Emerging Microbes & Infections*, **12**, Article 2202272. <https://doi.org/10.1080/22221751.2023.2202272>
- [10] 于跑, 朱峰, 葛争, 等. 重症肺炎支原体肺炎患儿早期淋巴细胞亚群表型特征及支气管镜检查表现[J]. 实用医学杂志, 2025, 41(7): 1062-1069.
- [11] Wang, C., Wen, J., Yan, Z., Zhou, Y., Gong, Z., Luo, Y., *et al.* (2024) Suppressing Neutrophil Itaconate Production Attenuates *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia. *PLOS Pathogens*, **20**, e1012614. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1012614>
- [12] Liu, F., Wang, Q., Cheng, Q. and Zhang, H. (2026) Immune Activation and Mucin Dysregulation in Pediatric Refractory *Mycoplasma Pneumoniae* Pneumonia with Mucus Plugs. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **15**, Article 1706340. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2025.1706340>
- [13] Shen, X., Jin, Z., Chen, X., Wang, Z., Yi, L., Ou, Y., *et al.* (2024) Single-Cell Transcriptome Atlas Revealed Bronchoalveolar Immune Features Related to Disease Severity in Pediatric *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia. *MedComm*, **5**, e748. <https://doi.org/10.1002/mco2.748>