

无创性肺超声指标评估儿童肺炎及支气管肺泡灌洗疗效：一项(86例)回顾性分析

王浩东^{1,2}, 武 荣^{2*}

¹包头医学院研究生院, 内蒙古 包头

²鄂尔多斯市中心医院超声医学科, 内蒙古 鄂尔多斯

收稿日期: 2025年8月26日; 录用日期: 2025年9月19日; 发布日期: 2025年9月28日

摘 要

背景: 肺炎已经成为儿童死亡的主要原因, 能够选择一种及时准确的诊断方式已经成为热点话题。目的: 比较肺超声与胸部X线在儿童肺炎诊断中的价值以及探讨二者联合应用的临床意义, 同时分析肺超声在儿童肺炎治疗中的作用。方法: 选取我院2023年6月至2024年6月收治的儿童肺炎患者86例, 所有患者均完成了实验室检查、胸部X线检查和肺超声检查。对比肺超声检查与胸部X线检查在儿童肺炎诊断中的灵敏度、准确度、阳性预测值、假阴性, 并且研究儿童肺炎患者肺超声检查中支气管充气征与支气管肺泡灌洗治疗的相关性。结果: 共纳入86例患者, 肺超声诊断为儿童肺炎的数量是79例, 灵敏度及准确度为91.86%, 胸部X线诊断为儿童肺炎的数量是69例, 灵敏度及准确度为80.23%, 对比二者的诊断效能, 差异具有统计学意义($P < 0.05$)。肺超声检查阳性患者中有11例(13.9%)支气管充气征阴性并进行了及时的支气管肺泡灌洗治疗, 8例(10.1%)支气管充气征阴性但未进行及时的支气管肺泡灌洗治疗, 57例(72.2%)支气管充气征阳性并未进行支气管肺泡灌洗治疗, 3例(3.8%)支气管充气征阳性但进行了支气管肺泡灌洗治疗, 分析结果显示, 支气管充气征与支气管肺泡灌洗治疗的相关性是0.592, P 值 < 0.05 , 差异有统计学意义, 存在强相关性。结论: 肺超声具有无创、无辐射、操作简单、可重复性好、便于动态监测以及安全性高等优点, 且儿童具有胸壁薄的特点, 可以保证肺超声成像的质量, 因此可以成为儿童肺炎诊断的首选选择。同时可以减少胸部X线的使用, 降低了射线对肺炎儿童的致癌风险。然而, 肺超声检查也有其局限性, 这时通过结合胸部X线检查, 弥补肺超声检查的不足, 提高肺炎儿童患者诊断的准确性, 减少漏诊, 提高临床的工作效率。

关键词

儿童肺炎, 超声, 胸部X线, 诊断, 治疗

*通讯作者。

Non-Invasive Lung Ultrasound Indicators for Evaluating Childhood Pneumonia and the Efficacy of Bronchoalveolar Lavage: A Retrospective Analysis of 86 Cases

Haodong Wang^{1,2}, Rong Wu^{2*}

¹Graduate School, Baotou Medical College, Baotou Inner Mongolia

²Department of Ultrasound Medicine, Ordos Central Hospital, Ordos Inner Mongolia

Received: August 26, 2025; accepted: September 19, 2025; published: September 28, 2025

Abstract

Background: Pneumonia has become a leading cause of death in children, and the selection of a timely and accurate diagnostic method is a topic of significant interest. **Objective:** To compare the value of lung ultrasound and chest X-ray in the diagnosis of childhood pneumonia, explore the clinical significance of their combined application, and analyze the role of lung ultrasound in the treatment of childhood pneumonia. **Methods:** 86 children with pneumonia admitted to our hospital from June 2023 to June 2024 were selected. All patients underwent laboratory tests, chest X-ray, and lung ultrasound. The sensitivity, accuracy, positive predictive value, and negative predictive value of lung ultrasound and chest X-ray in diagnosing childhood pneumonia were compared. The correlation between the air bronchogram sign on lung ultrasound and the use of bronchoalveolar lavage (BAL) was also investigated. **Results:** Among the 86 patients, lung ultrasound diagnosed 79 cases of pneumonia with a sensitivity and accuracy of 91.86%. Chest X-ray diagnosed 69 cases with a sensitivity and accuracy of 80.23%. The difference in diagnostic efficacy was statistically significant ($P < 0.05$). Among patients with positive lung ultrasound findings, 11 (13.9%) with a negative air bronchogram sign received timely BAL, while 8 (10.1%) did not. Conversely, 3 (3.8%) patients with a positive air bronchogram sign underwent BAL, while 57 (72.2%) did not. Correlation analysis showed a strong relationship between the air bronchogram sign and the application of BAL (Cramer's $V = 0.592$, $P < 0.05$). **Conclusion:** Lung ultrasound has advantages such as being non-invasive, radiation-free, simple, repeatable, convenient for dynamic monitoring and high safety, making it a primary choice for diagnosing childhood pneumonia, especially given the thin chest walls of children which allow for high-quality imaging. It reduces the use of chest X-rays and the associated cancer risk. However, lung ultrasound has limitations. Combining it with chest X-ray can compensate for its shortcomings, improve diagnostic accuracy, reduce missed diagnoses, and enhance clinical efficiency.

Keywords

Childhood Pneumonia, Ultrasound, Chest X-Ray, Diagnosis, Treatment

Copyright © 2025 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. 介绍

目前肺炎仍然是儿童死亡的主要原因[1], 根据目前世界卫生组织统计, 每年 5 岁以下的儿童爆发肺炎的数量在全球约占有 1.5 亿例, 其中更是有 150 万以上的儿童是由于肺炎疾病而死亡[2]。儿童肺炎的临床症状为发热、咳嗽、气短及呼吸困难等, 起病急、进展迅速, 临床若未及时有效治疗, 易出现呼吸衰竭、心力衰竭等并发症, 甚至导致患儿死亡[3]。因此, 能够快速并且准确地诊断肺炎并进行及时有效的治疗是至关重要的。既往临床诊断儿童肺炎主要依据胸部 X 线, 但是由于其具有放射性的特点, 对儿童的致癌风险已引起重点关注[4], 所以, 迫切需要一种检查方式来替代 X 线检查成为儿童肺炎的首选检查, 近年来, 肺超声技术发展迅速, 依靠着其无创、无辐射、可重复性强以及可以动态监测疾病转归的优势, 深受临床医师和患者家属的青睐[5]。况且, 由于儿童肺体积小, 肺的病变很容易到达胸膜, 使得肺部超声检查更容易发现异常征象[6]。目前, 个别研究已经提出, 肺超声在儿童肺炎的诊断效能方面不低于胸部 X 线[7]。同时我们需要关注的是儿童肺炎的治疗方案, 目前, 对于症状较轻的儿童肺炎患者, 我们常常采取保守治疗, 然后, 对于病情严重的儿童肺炎患者, 需要及时行支气管肺泡灌洗治疗, 防止患儿病情进一步恶化, 支气管肺泡灌洗是一种侵入性手术, 可以直接冲洗病变肺组织, 注射抗生素和激素, 清除炎症物质, 从而达到疏通气道、抵抗感染、缓解病情的治疗目的。尽管目前支气管镜检查技术比较成熟, 但是也可能会增加低氧血症和高碳酸血症的风险, 在极少数情况下, 会出现气胸、肺出血和术后咳嗽症状恶化等不良反应[8], 同时, 这项检查对于儿童来说是比较痛苦的, 因此, 能够给临床提供一些进行支气管肺泡灌洗的依据, 让患儿能够进行有效的肺泡灌洗治疗是至关重要的, 可以快速缓解患儿的病情, 缩短患儿的病程, 提高临床治疗儿童肺炎患者的效率。本研究旨在探讨肺超声与胸部 X 线在儿童肺炎的诊断中的价值以及二者联合应用的意义, 同时分析肺超声检查在儿童肺炎治疗过程中的作用。

2. 材料与方法

2.1. 研究设计与人群

为了比较肺超声检查与胸部 X 线检查在儿童肺炎中的诊断效能以及研究肺实变中的支气管充气征与支气管肺泡灌洗治疗是否具有相关性, 选取我院 2023 年 6 月至 2024 年 6 月收治的儿童肺炎患者 86 例。纳入标准: ① 纳入年龄 >28 天至 18 岁的儿童; ② 经临床诊断为儿童肺炎; ③ 经患儿监护人同意在近日内均完成了肺超声检查、胸部 X 线等相关影像学检查; ④ 所有患者均签署知情同意书。本研究中的“临床诊断”金标准依据《儿童社区获得性肺炎诊疗规范(2019 年版)》, 具体指标包括: (1) 新近出现的急性咳嗽、咳痰或原有呼吸道疾病症状加重, 并出现脓痰; (2) 发热; (3) 肺部听诊闻及固定性湿啰音; (4) 白细胞总数 $>10 \times 10^9/L$ 或 $<4 \times 10^9/L$, 伴或不伴细胞核左移。满足(1)~(3)项中任意一项及第(4)项即可诊断。排除标准: ① 年龄 <28 天新生儿及 >18 岁及以上的儿童; ② 拒绝行各项所需要的影像学检查或无法配合检查的儿童; ③ 先天性胸廓畸形及其它胸部疾病, 如: 有肺部手术史、存在严重心肺功能障碍、肺结核等患儿; ④ 免疫系统缺陷、遗传代谢疾病; ⑤ 基本信息及临床资料不完整; ⑥ 各项影像学检查诊断医师在出具诊断报告前已提前了解其它影像学检查结果; ⑦ 医院获得性肺炎。

2.2. 成像方案

2.2.1. 肺超声

采用 PHILIPS EPIQ 7C 超声诊断仪器, 高频探头(18 MHz)适用于病变浅、范围小的肺炎, 低频探头(5 MHz)适用于病变深、范围大的肺炎, 患者胸部以腋前线、腋后线及乳头连线水平, 将一侧胸壁分为 6 个区, 采用 12 区扫描法指导患儿分别取仰卧位、侧卧位、坐位, 必要时俯卧位检查[9], 所有的肺超声检

查均由两位资深的超声科医师(有 5 年以上的工作经验)共同完成, 他们对胸片表现及检查结果不知情, 检查过程中详细记录患者的影像学资料。

2.2.2. 胸部 X 线

选用 PHILIPS DR 摄像系统, 检查前除去患者身上所有能影响检查结果的外部因素, 取站立位进行胸部正位片以及侧位片拍摄, 拍摄过程中一定注意将投照中心置于所需部位正中央, 所有胸部 X 线检查均由两位资深的放射科医师(有 5 年以上的工作经验)共同完成, 他们对超声表现和检查结果不知情, 检查过程中详细记录患者的影像学资料。

2.2.3. 诊断标准

所有放射学检查诊断标准均符合国家公开发表的《实用放射学》标准[10]。本实验中肺超声诊断儿童肺炎的标准一般为肺实变合并胸膜线异常、A 线消失、B 线出现、支气管充气征、胸腔积液中的一项或多项, 符合以上情况即可诊断。

2.2.4. 超声检查表现

肺超声常见征象主要有以下几个[11]:

- 1) 胸膜线: 光滑、清晰、规则的线样高回声, 宽度一般小于 0.5 mm。
- 2) A 线: 超声波在垂直射于胸膜-肺表面时, 产生混响伪像, 表现为平行于胸膜线的等距高回声, A 线强度逐渐减低, 至少可显示 3 条以上。
- 3) B 线: 是由胸膜线发出且垂直于胸膜线的线性高回声, 可延伸到屏幕边缘, 不随距离衰减, 可随胸膜的滑动而滑动, 一个肋间隙内可见大于 3 条 B 线称为肺泡间质综合征。
- 4) 肺实变伴支气管充气征: 肺泡间隙中的空气被其他物质(一般为水、脓液或血液等)替代, 其组织质地回声与肝脏回声相似, 呈“肝样变”, 可伴有支气管充气征。
- 5) 胸腔积液: 在肺部声像图上可于重力依赖区的脏、壁层胸膜之间的胸膜腔内出现液性无回声区。

2.2.5. 胸部 X 线检查表现

儿童肺炎在胸片上的表现主要是肺纹理明显增粗, 肺野可见点片状、斑片状, 大片状致密影。

2.3. 统计学方法

所有统计计算采用 Microsoft Excel 2019 和 SPSS 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)软件进行数据整理和统计学分析。定性资料采用率表示, 组间比较采用卡方检验进行分析; 符合正态分布的定量资料采用均数 $\pm$ 标准差表示, 组间比较采用 t 检验。P < 0.05 为差异有统计学意义。

3. 研究的局限性

本研究承认存在回顾性研究固有的局限性。首先, 数据来源于既往病历, 可能存在选择偏倚和信息记录不完整的情况。其次, 尽管影像学评估由两名独立评估者进行以减少信息偏倚, 但回顾性设计无法完全保证所有患者检查流程的标准化。因此, 本研究的发现需要通过更大样本量、多中心的前瞻性研究进一步验证。

4. 结果

4.1. 肺超声检查与胸部 X 线检查对儿童肺炎的诊断效能比较

在本研究中的 86 例儿童肺炎患者中, 以临床诊断为金标准, 肺超声检查诊断为肺炎的儿童有 79 例, 诊断为非肺炎的儿童有 7 例, 经统计分析该检查诊断儿童肺炎的灵敏度和准确度均为 91.86%, 假

阴性为 8.14%，阳性预测值为 100%。胸部 X 线检查诊断为肺炎的儿童有 69 例，诊断为非肺炎的儿童有 17 例，经统计分析该检查诊断儿童肺炎的灵敏度和准确度均为 80.23%，假阴性为 19.77%，阳性预测值为 100%。结果显示，肺超声检查与胸部 X 线检查对儿童肺炎的诊断效能比较存在明显差异($P < 0.05$)，肺超声检查对儿童肺炎的诊断效能要高于胸部 X 线检查。我们还发现，当肺超声检查结果为阴性时，胸部 X 线的检查结果是阳性，二者联合应用于儿童肺炎的诊断准确率为 100%，同样我们可以发现当胸部 X 线检查结果为阴性时，肺超声检查结果是阳性，二者联合应用于儿童肺炎的诊断准确率也为 100% (表 1)。

Table 1. Comparison of the diagnostic efficacy of lung ultrasound and chest X-ray for childhood pneumonia
表 1. 肺超声和胸部 X 线诊断儿童肺炎的效能比较

检查方式	肺炎(例)	非肺炎(例)	灵敏度	准确率	阳性预测值	假阴性率
肺超声	79	7	91.86%	91.86%	100%	8.14%
胸片	69	17	80.23%	80.23%	100%	19.77%
肺超声 + 胸片	86	0	100%	100%	100%	0%
χ^2			4.842	4.842		
P			0.028	0.028		

4.2. 肺超声检查在儿童肺炎临床治疗中的作用

本研究中，共有 79 例肺超声检查阳性的儿童肺炎患者，其中在支气管充气征阴性的患者中有 11 例 (57.9%)儿童肺炎患者进行了及时的支气管肺泡灌洗治疗，其余 8 例(42.1%)儿童肺炎患者未进行及时的支气管肺泡灌洗治疗。相反，在支气管充气征阳性的患者中 3 例(5.0%)儿童肺炎患者进行了支气管肺泡灌洗治疗，其余 57 例(95.0%)儿童肺炎患者未进行支气管肺泡灌洗治疗。采用卡方检验分析超声检查中支气管充气征的有无是否可以指导儿童肺炎的临床治疗，结果显示，支气管充气征与支气管肺泡灌洗治疗的相关性是 0.592，P 值 < 0.05 ，差异有统计学意义，存在强相关性(表 2、表 3)。

Table 2. Analysis of the difference between the presence or absence of air bronchogram and the use of lavage
表 2. 有无支气管充气征与是否灌洗的差异性分析

	无支气管充气征	有支气管充气征	χ^2	P
未灌洗	8 (42.1)	57 (95.0)	24.181	<0.001
灌洗	11 (57.9)	3 (5.0)		

Table 3. Correlation analysis between the presence or absence of air bronchogram and the use of lavage
表 3. 有无支气管充气征与是否灌洗的相关性分析

Cramer's V 系数	P
0.592	<0.001

在支气管充气征阴性的 19 例患者中，其中有 11 例患者进行了及时的支气管肺泡灌洗检查，本研究发现，这些患者在灌洗后，肺部声像图表现均未加重，患儿的临床表现也均未加重，最后在常规药物保守治疗下病情均好转。反之，另外 8 例患儿未进行及时的支气管肺泡灌洗，在第二次超声检查中，这些

患者的肺部声像图中支气管充气征仍然不明显, 实变范围均有不同程度的增大, 患儿的临床表现也有所加重, 常规药物保守治疗无法控制患儿的病情, 对这些患者进行支气管肺泡灌洗治疗, 灌洗治疗后进行肺超声的随访观察, 本研究发现患儿的肺部声像图中支气管充气征有所增加, 实变区域有不同程度的减小, 临床症状有所缓解, 经过肺超声的随访观察, 这些患者均在保守治疗下好转。同时我们研究了 60 例支气管充气征阳性的患者, 其中 57 例支气管充气征阳性并且未进行支气管肺泡灌洗治疗的儿童肺炎患者, 对他的初次超声检查、出院前复查以及出院后复查结果进行了统计, 我们观察到, 这部分患者的实变范围是呈下降趋势发展的, 最后一次复查, 57 例患者肺部声像图均恢复正常。还有 3 例支气管充气征阳性进行支气管肺泡灌洗治疗的患儿, 对他的灌洗前超声检查、灌洗后复查以及出院后复查结果进行了统计, 我们发现, 这些患者的肺部声像图是逐渐好转的, 从图中我们可以看出, 灌洗组实变范围较未灌洗组缩小的更快(图 1)。

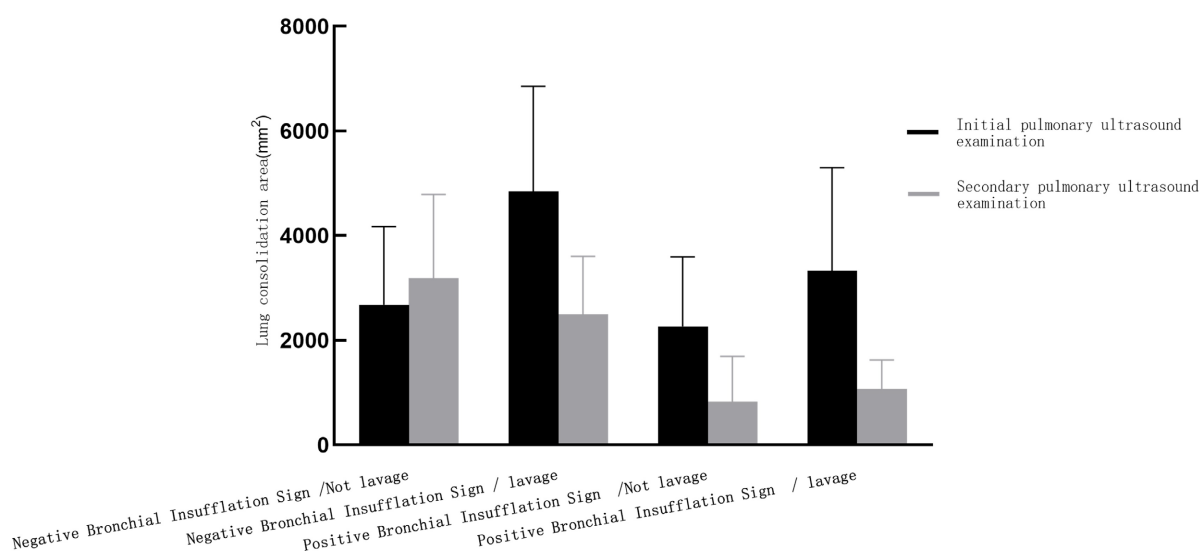


Figure 1. Changes in the area of lung consolidation before and after treatment

图 1. 治疗前后肺实变面积变化

5. 讨论

胸部 X 线常被用作诊断儿童肺炎的基本工具, 被认为是儿童肺炎诊断工作的第一步。必须强调的是, 胸部 X 线具有辐射性, 儿童患者对放射线损伤的敏感性要远远高于成人, 一定程度上, 会增加癌变的风险[12]。因此, 在临床诊断工作中, 对于初次就诊的肺炎患儿, 临床医师先进行经验性治疗, 如果患儿病情不见好转, 需要进一步胸部 X 线检查, 出现这样的情况, 往往会造成患儿病情延误。胸部 X 线除了具有辐射性, 还有其他不可避免的缺点, 比如胸片成像结果一般为重叠影像, 无法准确地定位病灶部位[13]。随着超声技术的进步与发展, 肺超声具有快速、方便、无创、无辐射、可重复性强以及安全性高等优势, 逐渐应用于儿童肺炎的诊断与指导治疗中[14]。肺超声在诊断儿童肺炎时最常用的参考指标有: (1) 胸膜线, (2) A 线, (3) B 线, (4) 肺实变伴或不伴支气管充气征, (5) 胸腔积液。本研究得出的结果是肺超声检查诊断儿童肺炎的敏感性及准确性为 91.86%, 胸部 X 线检查诊断儿童肺炎的敏感性及准确性为 80.23%, 肺超声检查在儿童肺炎的诊断效能方面要高于胸部 X 线, 与既往研究者得出的结论是一致的[15]。本研究中, 肺超声检查在儿童肺炎诊断中的假阴性是 8.14%, 胸部 X 线检查在儿童肺炎诊断中的假阴性是 19.77%, 分析得知, 出现肺超声是假阴性而胸部 X 线是阳性的原因可能是: 1) 实变未达到胸膜表面(通

常位于肺门周围或心旁区)[16], 2) 实变位于肺超声难以到达的区域, 如肩胛后、锁骨上或腋窝区域[17]。出现胸部 X 线假阴性而肺超声是阳性的原因可能是 1) 对于非常小(亚厘米)的实变, 肺超声比胸部 X 线敏感[18](图 2), 胸部 X 线容易遗漏一些范围小的实变, 出现这样的情况, 临床医生就会低估患儿疾病的严重程度, 达不到精准治疗, 延长病程, 加重疾病的严重程度, 增加治疗难度。因此, 对于小的实变, 肺超声能够及时准确的判断患儿情况, 制定最优的治疗方案, 指导患儿的治疗[19]。2) 对于比较大的实变, 如果实变中的支气管充气征特别丰富, 在胸部 X 线下的成像与正常肺组织密度相似, 不易识别(图 3)。随着肺超声检查的广泛推广与应用, 在儿童肺炎患者的随访与监测中占据了重要的地位, 极大的缩减了胸部 X 线的使用次数, 减少了肺炎儿童的射线摄入量, 改变了过去以 X 线和 CT 为金标准的局面[20]。但是肺超声也有其局限性, 比如受肺脏中气体的影响, 未达胸膜下、靠近肺门处的实变往往很难被观察到, 容易造成肺炎的假阴性[21]; 肥胖、皮下气肿、严重的胸部创伤、烧伤、较大的胸部敷料妨碍了声束在肺部外的传播; 被肩胛骨、锁骨等遮挡的肺组织不能被超声所探查; 更重要的一点是超声更依赖于经验丰富的超声医师[22]。在对本研究中诊断不一致的病例进行分析后发现, 出现肺超声假阴性而胸部 X 线阳性的原因主要为: 1) 实变未达到胸膜表面, 通常位于肺门周围或心旁区; 2) 实变位于肩胛后、锁骨上或腋窝等肺超声难以扫查的区域。而出现胸部 X 线假阴性、肺超声阳性的原因则可能是: 1) 对于亚厘米级的微小实变, 肺超声比胸部 X 线更为敏感, X 线可能因影像重叠而遗漏; 2) 对于范围较大但内部支气管充气征丰富的实变, 其在胸片上的密度与正常含气肺组织相似, 不易识别。肺超声检查在儿童肺炎的临床治疗的指导过程中也会存在弊端, 例如当肺炎症状消失后, 超声征象仍会持续一段时间, 这可能导致抗生素的过量使用[23]。本研究中得出, 肺超声检查对儿童肺炎患者的诊断准确率是 91.86%, 胸部 X 线检查对儿童肺炎患者的诊断准确率是 80.23%, 当两种检查方式联合应用时, 儿童肺炎的诊断准确率是 100%, 要高于两种检查单独诊断的准确性。因此, 在儿童肺炎的临床诊治过程中, 可以联合应用肺超声与胸部 X 线检查, 可以有效地提高诊断的准确性, 减少漏诊与误诊, 极大地提高肺炎患儿的治疗效率。

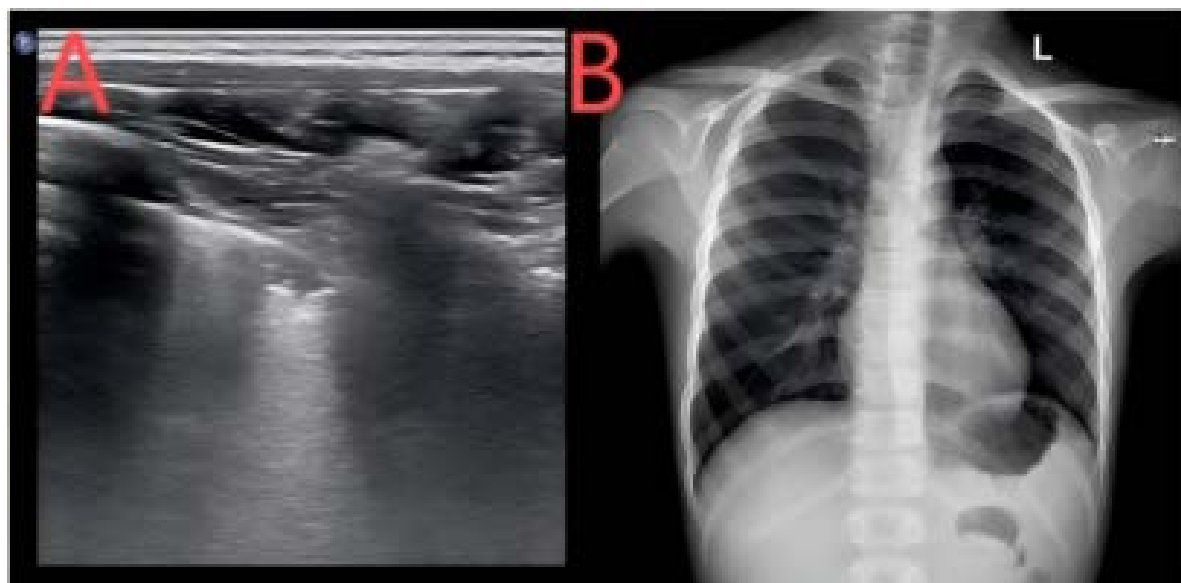


Figure 2. Lung ultrasound and chest X-ray images of a patient with childhood pneumonia. (A) Ultrasound: A small, patchy consolidation is visible under the pleura. (B) Chest X-ray: No significant abnormalities are seen in the heart, lungs, or diaphragm

图 2. 儿童肺炎患者的肺超声和胸片图像。(A) 超声: 胸膜下可见小片状实变区。(B) 胸片: 心肺膈未见明显异常

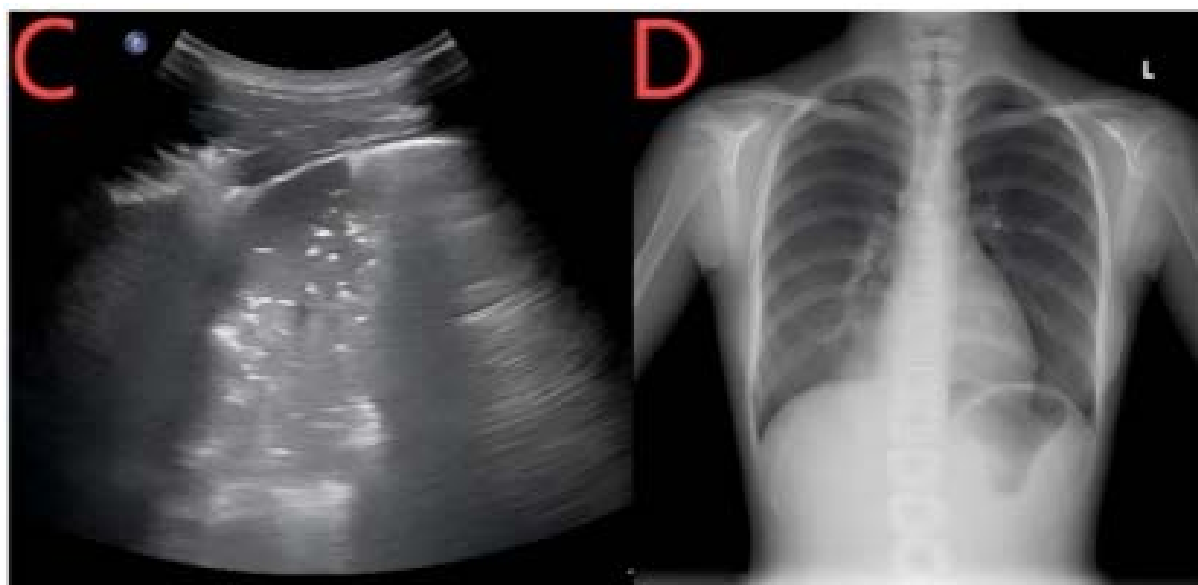


Figure 3. Lung ultrasound and chest X-ray images of a patient with childhood pneumonia. (C) Ultrasound: A large, patchy consolidation is visible under the pleura. (D) Chest X-ray: Indicates bronchopneumonia

图 3. 儿童肺炎患者的肺超声和胸片图像。(C) 超声：胸膜下可见大片状实变区。(D) 胸片：提示支气管肺炎

本研究的结果还得出，在 19 例支气管充气征阴性的儿童肺炎患者中，11 例患者进行了及时的支气管肺泡灌洗检查，8 例患者未进行及时的支气管肺泡灌洗检查，在 60 例支气管充气征阳性的儿童肺炎患者中，3 例患者进行了支气管肺泡灌洗检查，57 例患者未进行支气管肺泡灌洗检查，经统计分析，患儿肺实变中支气管充气征的有无与支气管肺泡灌洗治疗存在强相关性。支气管充气征是肺泡被炎性渗出物填充(即实变)而细支气管仍然保持通畅含气的声学表现。在本研究中，实变区支气管充气征阴性与 BAL 治疗需求呈强相关，其潜在的病理生理机制可能在于：当炎症不仅累及肺泡，更进一步导致细支气管的黏膜肿胀、痉挛，或被大量黏稠分泌物、坏死脱落的上皮细胞堵塞时，会造成支气管充气征的消失。这种情况往往提示更严重的下呼吸道感染和气道廓清功能障碍。这些患儿对常规抗感染及物理治疗反应不佳，而 BAL 能够直接清除堵塞物、冲洗感染源、改善通气，从而成为必要的治疗手段。因此，肺超声下支气管充气征的“阴性”表现，可能反映了气道堵塞的严重程度，从而成为预测 BAL 需求的有力影像学指标[24]。对于支气管充气征阳性的患儿，灌洗后患儿实变范围缩小更快，相反，对于支气管充气征阴性的患儿，我们可以给予临床医师及时的提醒，在征得患者及家属的同意下，尽快实行支气管肺泡灌洗检查，避免病情延误。因此，在临床工作中，对于病情严重的患儿，临床医生可以根据患儿肺部超声检查中肺实变的大小以及实变中含气量的多少来判断是否需要进行支气管肺泡灌洗，进一步有效控制病情进展。同时，根据以往研究者们得出，肺部超声检查还可以通过实时监测肺实变大小及实变中的支气管充气征的变化来评估治疗效果，为临床提供了客观的依据[25]。

6. 结论

及时准确诊断肺炎仍然是一项挑战，肺超声依靠其无创、无辐射、操作简单、可重复性好、便于动态监测以及安全性高等优点，已经得到了儿科医生的认可，改变了过去单一使用胸片的局面，我们的分析显示肺超声在检测儿童肺炎方面具有良好的诊断准确率，在指导治疗与实时监测患儿病情方面也凸显了其优势，可以成为儿童肺炎诊断的首要选择[26]。联合应用肺超声与胸部 X 线检查可显著提高诊断准确率，尤其是在单一检查结果不确定时。本研究提示，肺实变区“支气管充气征阴性”可能是预测患儿

需要接受支气管肺泡灌洗治疗的潜在指标, 值得在前瞻性研究中进一步验证。

参考文献

- [1] Marangu, D. and Zar, H.J. (2019) Childhood Pneumonia in Low-and-Middle-Income Countries: An Update. *Paediatric Respiratory Reviews*, **32**, 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2019.06.001>
- [2] Leung, D.T., Chisti, M.J. and Pavia, A.T. (2016) Prevention and Control of Childhood Pneumonia and Diarrhea. *Pediatric Clinics of North America*, **63**, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2015.08.003>
- [3] Boursiani, C., Tsolia, M., Koumanidou, C., Malagari, A., Vakaki, M., Karapostolakis, G., et al. (2017) Lung Ultrasound as First-Line Examination for the Diagnosis of Community-Acquired Pneumonia in Children. *Pediatric Emergency Care*, **33**, 62-66. <https://doi.org/10.1097/pec.0000000000000969>
- [4] Pereda, M.A., Chavez, M.A., Hooper-Miele, C.C., Gilman, R.H., Steinhoff, M.C., Ellington, L.E., et al. (2015) Lung Ultrasound for the Diagnosis of Pneumonia in Children: A Meta-Analysis. *Pediatrics*, **135**, 714-722. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-2833>
- [5] Ambroggio, L., Sucharew, H., Rattan, M.S., O'Hara, S.M., Babcock, D.S., Clohessy, C., et al. (2016) Lung Ultrasonography: A Viable Alternative to Chest Radiography in Children with Suspected Pneumonia? *The Journal of Pediatrics*, **176**, 93-98.e7. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.05.033>
- [6] Gargani, L. and Volpicelli, G. (2014) How I Do It: Lung Ultrasound. *Cardiovascular Ultrasound*, **12**, 1-10. <https://doi.org/10.1186/1476-7120-12-25>
- [7] Jones, B.P., Tay, E.T., Elikashvili, I., Sanders, J.E., Paul, A.Z., Nelson, B.P., et al. (2016) Feasibility and Safety of Substituting Lung Ultrasonography for Chest Radiography When Diagnosing Pneumonia in Children: A Randomized Controlled Trial. *Chest*, **150**, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.02.643>
- [8] Hoge, S., Tudorache, E., Pescaru, C., Marc, M. and Oancea, C. (2020) Bronchoalveolar Lavage: Role in the Evaluation of Pulmonary Interstitial Disease. *Expert Review of Respiratory Medicine*, **14**, 1117-1130. <https://doi.org/10.1080/17476348.2020.1806063>
- [9] Samson, F., Gorostiza, I., González, A., Landa, M., Ruiz, L. and Grau, M. (2018) Prospective Evaluation of Clinical Lung Ultrasonography in the Diagnosis of Community-Acquired Pneumonia in a Pediatric Emergency Department. *European Journal of Emergency Medicine*, **25**, 65-70. <https://doi.org/10.1097/mej.0000000000000418>
- [10] Shah, S., Bachur, R., Kim, D. and Neuman, M.I. (2010) Lack of Predictive Value of Tachypnea in the Diagnosis of Pneumonia in Children. *Pediatric Infectious Disease Journal*, **29**, 406-409. <https://doi.org/10.1097/inf.0b013e3181cb45a7>
- [11] Yaşar, A.B., Tarhan, M., Atalay, B., et al. (2023) Investigation of Childhood Pneumonia with Thoracic Ultrasound: A Comparison Between X-Ray and Ultrasound. *Ultrasound Quarterly*, **39**, 216-222.
- [12] Esposito, S., Papa, S.S., Borzani, I., Pinzani, R., Giannitto, C., Consonni, D., et al. (2014) Performance of Lung Ultrasonography in Children with Community-Acquired Pneumonia. *Italian Journal of Pediatrics*, **40**, 1-6. <https://doi.org/10.1186/1824-7288-40-37>
- [13] Caiulo, V.A., Gargani, L., Caiulo, S., Fisicaro, A., Moramarco, F., Latini, G., et al. (2012) Lung Ultrasound Characteristics of Community-Acquired Pneumonia in Hospitalized Children. *Pediatric Pulmonology*, **48**, 280-287. <https://doi.org/10.1002/ppul.22585>
- [14] Najgrodzka, P., Buda, N., Zamojska, A., Marciniewicz, E. and Lewandowicz-Uszyńska, A. (2019) Lung Ultrasonography in the Diagnosis of Pneumonia in Children—A Metaanalysis and a Review of Pediatric Lung Imaging. *Ultrasound Quarterly*, **35**, 157-163. <https://doi.org/10.1097/ruq.0000000000000411>
- [15] Yan, J., Yu, N., Wang, Y., Gao, Y. and Pan, L. (2020) Lung Ultrasound vs Chest Radiography in the Diagnosis of Children Pneumonia: Systematic Evidence. *Medicine*, **99**, e23671. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000023671>
- [16] Claes, A., Clapuyt, P., Menten, R., Michoux, N. and Dumitriu, D. (2017) Performance of Chest Ultrasound in Pediatric Pneumonia. *European Journal of Radiology*, **88**, 82-87. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.12.032>
- [17] Ianniello, S., Piccolo, C.L., Buquicchio, G.L., Trinci, M. and Miele, V. (2016) First-Line Diagnosis of Paediatric Pneumonia in Emergency: Lung Ultrasound (LUS) in Addition to Chest-X-Ray (CXR) and Its Role in Follow-Up. *The British Journal of Radiology*, **89**, Article ID: 20150998. <https://doi.org/10.1259/bjr.20150998>
- [18] Bloise, S., La Regina, D.P., Pepino, D., Iovine, E., Laudisa, M., Di Mattia, G., et al. (2021) Lung Ultrasound Compared to Chest X-Ray for the Diagnosis of CAP in Children. *Pediatrics International*, **63**, 448-453. <https://doi.org/10.1111/ped.14469>
- [19] Shah, V.P., Tunik, M.G. and Tsung, J.W. (2013) Prospective Evaluation of Point-of-Care Ultrasonography for the Diagnosis of Pneumonia in Children and Young Adults. *JAMA Pediatrics*, **167**, 119-125.

- <https://doi.org/10.1001/2013.jamapediatrics.107>
- [20] Cattarossi, L., Copetti, R. and Poskurica, B. (2011) Radiation Exposure Early in Life Can Be Reduced by Lung Ultrasound. *Chest*, **139**, 730-731. <https://doi.org/10.1378/chest.10-2338>
 - [21] Stadler, J.A.M., Andronikou, S. and Zar, H.J. (2017) Lung Ultrasound for the Diagnosis of Community-Acquired Pneumonia in Children. *Pediatric Radiology*, **47**, 1412-1419. <https://doi.org/10.1007/s00247-017-3910-1>
 - [22] Tsou, P., Chen, K.P., Wang, Y., Fishe, J., Gillon, J., Lee, C., *et al.* (2019) Diagnostic Accuracy of Lung Ultrasound Performed by Novice versus Advanced Sonographers for Pneumonia in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Academic Emergency Medicine*, **26**, 1074-1088. <https://doi.org/10.1111/acem.13818>
 - [23] Tomà, P. (2020) Lung Ultrasound in Pediatric Radiology—Cons. *Pediatric Radiology*, **50**, 314-320. <https://doi.org/10.1007/s00247-019-04524-z>
 - [24] De Rose, C., D'alessandro, C., Staiano, A., *et al.* (2018) Static Air Bronchogram in Children's Pneumonia: A Sign of Severity. *Pediatric Pulmonology*, **53**, 937-943.
 - [25] Gao, J., Wu, R., Zhang, Y.J., Xu, X., Sa, R.N., Li, X.A., *et al.* (2024) Quantitative Evaluation of Bronchoalveolar Lavage for the Treatment of Severe *Mycoplasma pneumoniae* Pneumonia in Children—A New Complementary Index: Bronchial Insufflation Sign Score. *Journal of Clinical Ultrasound*, **52**, 667-674. <https://doi.org/10.1002/jcu.23678>
 - [26] Lu, X., Jin, Y., Li, Y., Weng, L. and Li, H. (2021) Diagnostic Accuracy of Lung Ultrasonography in Childhood Pneumonia: A Meta-Analysis. *European Journal of Emergency Medicine*, **29**, 105-117. <https://doi.org/10.1097/mej.0000000000000883>