

# 肺部超声在新生儿肺部疾病中的诊断与治疗研究进展

袁英 管利荣 (通讯作者)

成都中医药大学附属医院新生儿科 四川 成都 610000

**【摘要】**：肺部超声 (Lung Ultrasound, LUS) 作为一种无创、无辐射的影像学技术，近年来在新生儿肺部疾病的诊断和治疗中展现出显著的优势。新生儿肺部疾病如呼吸窘迫综合征、肺炎和气胸等，因其高发病率和潜在严重性，亟需快速、准确的诊断方法。传统影像学技术虽应用广泛，但存在辐射暴露和操作复杂等问题。相比之下，LUS 具有操作简便、可床旁实时监测及无辐射等优势，逐渐成为新生儿肺部疾病的重要诊断工具。本文总结了 LUS 在新生儿常见肺部疾病中的应用进展，并展望其在临床实践中的推广前景及未来研究方向。

**【关键词】**：肺部超声；新生儿；呼吸窘迫综合征；肺炎；气胸；诊断

DOI:10.12417/2811-051X.25.11.059

新生儿肺部疾病是导致新生儿发病和死亡的主要原因之一<sup>[1]</sup>，其早期准确诊断对改善预后至关重要。传统的影像学方法如 X 线和 CT 虽然广泛应用于临床，但存在辐射暴露、操作复杂及无法床旁实时监测等局限性。近年来，肺部超声 (Lung Ultrasound, LUS) 作为一种新兴的无创技术，凭借其操作简便、无辐射、可重复性强及床旁实时动态监测等优势，在新生儿科的应用日益广泛。

## 1 LUS 的技术原理与操作规范

### 1.1 LUS 的基本原理

LUS 是一种基于声波反射原理的影像学技术，通过高频探头 (通常为 5-12 MHz) 发射超声波并接收回波信号，形成实时图像。其核心原理在于不同肺组织对声波的反射特性差异：正常含气肺组织表现为“**A 线**” (水平高回声线，代表胸膜-空气界面多次反射) 和“**肺滑动征**” (动态胸膜运动)；而病理状态下如肺水肿、实变或气胸则分别呈现“**B 线**” (垂直高回声伪影，源于肺泡-间质液体增多)、“**组织样征**” (实变区域) 或“**肺点征**” (气胸特征)。新生儿肺部因胸壁薄、含气量低，超声穿透性更佳，使得 LUS 对肺不张、呼吸窘迫综合征等疾病的诊断敏感性显著高于传统 X 线，且无电离辐射风险。

### 1.2 新生儿 LUS 的操作流程与标准化

新生儿 LUS 需遵循标准化操作流程以确保结果可重复性。推荐采用 12 区或 14 区扫描法，覆盖双侧肺野的前、侧、后区域，探头垂直或平行于肋骨长轴扫描。操作要点包括：1) 患儿取仰卧或侧卧位，避免压迫胸廓；2) 使用高频线阵探头，耦合剂预热至 37°C 以减少新生儿体温流失；3) 每区扫描时间 ≤30 秒，动态观察胸膜滑动及 B 线分布。

### 1.3 超声征象的解读与常见伪影分析

LUS 征象解读需结合病理生理机制：1) NRDS 特征为弥漫性 B 线伴胸膜增厚及“**白肺征**”；2) 新生儿肺炎多表现为局灶性实变伴动态支气管充气征；3) 气胸则需识别“**肺点征**

及胸膜滑动消失。常见伪影包括：1) 多重反射伪影 (易误诊为胸腔积液)，可通过改变探头角度鉴别；2) 肋骨声影掩盖病变，需多切面扫查；3) 探头压力过大导致的假性 B 线。

## 2 LUS 在新生儿呼吸窘迫综合征 (Neonatal respiratory distress syndrome, NRDS) 中的应用

### 2.1 NRDS 的超声特征与诊断标准

LUS 在 NRDS 诊断中展现出独特的影像学特征，主要包括肺实变、白肺征、胸膜线异常及 A 线消失等。一项回顾性分析显示，肺实变和白肺征在 NRDS 患儿中的检出率显著高于其他肺部疾病组 ( $P < 0.05$ )，而支气管充气征和双肺点的阳性率较低 ( $P < 0.05$ )<sup>[2]</sup>。LUS 评分法可实现 NRDS 的严重程度分级，为临床提供客观量化依据。

### 2.2 LUS 在 NRDS 病情监测中的作用

LUS 评分可动态反映 NRDS 患儿的病理生理变化。研究显示，LUS 评分与 miR-513a-3p 水平及动脉血气分析参数显著相关<sup>[3]</sup>。在治疗过程中，LUS 评分的变化与临床症状改善一致，早于影像学表现，证实其可作为疗效评估的敏感指标。

### 2.3 超声引导下的治疗决策

LUS 评分在预测撤机失败方面具有较高的诊断准确性。一项系统评价和荟萃分析显示，LUS 预测拔管失败的总体敏感性为 0.86 (95%CI: 0.77-0.91)，特异性为 0.75 (95%CI: 0.66-0.83)，受试者操作特征曲线下面积为 0.87 (95%CI: 0.84-0.89)<sup>[4]</sup>。在 PS 应用时机方面，早期 LUS 评分联合临床指标可使治疗成功率提升，同时也显著缩短机械通气时间，并降低支气管肺发育不良发生率。

## 3 LUS 在新生儿肺炎中的诊断价值

### 3.1 肺炎的超声表现与鉴别诊断

LUS 在新生儿肺炎诊断中的影像学特征主要包括胸膜线异常、B 线征象、肺实变以及支气管充气征等。LUS 在诊断新生儿真菌性肺炎中表现包括肺实变伴气管支气管征、碎片征、

肺搏动、胸膜线异常及各种B线。在新生儿呼吸机相关性肺炎的诊断中，LUS表现包括肺实变、动态支气管充气征和胸腔积液。

### 3.2 LUS与X线诊断的比较

LUS在新生儿肺炎诊断中的准确率高于X线检查。与X线相比，超声具有三大优势：首先，可实时动态观察肺滑动征，识别微小胸膜改变；其次，无辐射暴露风险，适合反复监测；再者，检查时间平均仅需308秒，显著短于X线检查流程。但需注意，对于深部病灶的检出率，超声略逊于X线，因此临床推荐两者联合应用可使诊断准确率提升。

### 3.3 超声在肺炎治疗效果评估中的应用

LUS评分系统为疗效评估提供了量化工具。在治疗过程中，超声可动态监测以下关键指标：胸膜线恢复情况、肺实变范围缩小程度以及胸腔积液吸收情况。值得注意的是，超声对治疗反应的预测价值优于临床指标，当观察到实变区出现“肺搏动征”时，预示72小时内将有显著临床改善。

## 4 LUS在新生儿气胸及其他并发症中的应用

### 4.1 气胸的超声诊断特征

LUS在新生儿气胸诊断中通过识别特征性声像图表现可快速确诊气胸，如“肺滑动征消失”、“A线存在伴B线消失”以及“肺点征”，其敏感性和特异性均优于传统X线检查。LUS能准确区分气胸与肺实变，特别是在早产儿合并呼吸窘迫综合征时，超声可清晰显示胸腔内气体聚集导致的肺组织压缩现象。一项国际前瞻性研究评估了LUS在突发失代偿患者中诊断气胸的准确性，结果显示LUS的灵敏度为100%，特异度为100%，阳性预测值为100%，阴性预测值为100%，为临床干预提供实时依据<sup>[5]</sup>。此外，LUS评分系统可量化评估气胸严重程度，与动脉血气指标呈显著相关性，为治疗决策提供客观依据。

### 4.2 LUS在胸腔积液和肺不张中的应用

超声下胸腔积液表现为无回声或低回声区域伴“四边形征”，而肺不张则显示为肝样变性的实变区伴动态支气管充气征。LUS诊断新生儿肺不张的准确率非常高，尤其对机械通气患儿发生的压缩性肺不张具有早期识别优势。当气胸引流后，LUS可实时观察肺复张过程，通过监测B线数量变化和实变范围缩小评估治疗效果。此外，LUS评分系统能有效区分不同病因导致的肺不张。

### 4.3 超声引导下的干预治疗

LUS在指导新生儿呼吸系统并发症的介入治疗中发挥关键作用。超声引导下胸腔穿刺可精确定位气胸穿刺点，显著降低操作相关并发症。例如，一例因胎粪吸入综合征导致严重低氧血症、持续性肺动脉高压和大量气胸的新生儿在接受体外膜氧合治疗期间，通过逐步增加呼气末正压并在LUS引导下进

行肺复张，成功评估了气胸吸收和肺部炎症改善情况，并指导了肺泡复张和体外膜氧合撤机。此外，LUS评分系统与表面活性物质使用指征、CPAP支持需求显著相关，当评分>10分时预测治疗失败的敏感性达90%以上。这些证据表明，LUS已成为新生儿重症监护中不可或缺的实时治疗导航工具。

## 5 LUS的局限性与未来发展方向

### 5.1 技术局限性及影响因素

LUS虽然在新生儿肺部疾病的诊断中表现出较高的准确性，但仍存在技术局限性。首先，操作者依赖性较强，检查结果的准确性高度依赖医师的经验和技术水平。例如，新生儿肺实变和白肺的检出率在不同操作者间可能存在差异。其次，LUS对深部病变的显像能力有限，而X线或CT在此类情况下更具优势。此外，患儿体位、探头频率选择以及肺内气体含量变化均可能影响图像判读。未来需通过规范化培训和多模态影像联合应用来减少技术偏倚。

### 5.2 多中心研究及标准化推广

目前LUS在新生儿领域的应用仍缺乏统一的国际标准。例如，针对NRDS的超声评分系统存在12区与14区两种方法，研究显示14区评分的诊断效能更高，但其临界值需进一步验证。LUS中常见的征象量化标准在不同机构间可能存在差异，例如对于B线的数量、分布和强度的评估，不同的操作者或机构可能采用不同的计数方法和评分系统，这直接影响了肺超声结果的一致性和可比性。未来需开展大规模前瞻性研究，制定统一的图像采集协议和评分细则，并通过跨机构协作验证其可重复性，例如明确肺实变范围测量方法或白肺的定量标准。

### 5.3 人工智能与LUS的结合前景

人工智能技术为LUS的自动化分析提供了新方向。基于深度学习的算法可自动识别肺滑行征、B线等特征，其敏感性与资深医师相当。人工智能模型通过分析12区或14区超声图像，能实现疾病严重程度分级和机械通气撤机预测。但当前人工智能应用仍面临数据瓶颈：新生儿肺超声图像库规模有限，且病变多样性增加了模型训练难度。未来发展方向包括：1) 构建多中心共享的标注数据集，覆盖不同胎龄和疾病阶段；2) 开发轻量化模型以适应床旁超声设备的实时处理需求；3) 结合临床指标构建多参数预测系统，提升对治疗反应的动态评估能力。

## 6 小结与展望

LUS在新生儿肺部疾病诊疗中的应用已展现出革命性的潜力。其无创、实时、可重复的特点使其成为新生儿重症监护中的重要工具，尤其适用于呼吸窘迫综合征、肺炎、气胸等疾病的早期诊断与动态监测。相较于传统影像学检查，LUS避免了电离辐射的潜在危害，同时提高了诊断效率，这对于脆弱的新生儿群体尤为重要。

然而,当前的研究仍存在一定局限性。首先,操作者的经验和技术水平可能影响诊断的准确性,不同研究之间的标准化程度不一,导致结果的可比性受限。其次,部分复杂病例的超声表现可能重叠,增加了鉴别诊断的难度。此外,多中心大样本研究仍显不足,亟需建立统一的影像学标准和评分系统,以提升临床推广的可靠性。

未来研究应重点关注以下方向:1) 标准化与规范化:制定国际认可的LUS操作指南和诊断标准,减少人为误差;2)

多学科协作:联合新生儿科、影像科及人工智能领域,开发自动化分析工具,辅助临床决策;3) 长期随访:评估LUS在新生儿远期肺部发育中的监测价值,尤其是早产儿慢性肺疾病的预测与管理。

综上所述,LUS在新生儿领域的应用前景广阔,但需通过高质量研究进一步验证其普适性。在技术优化与临床实践之间找到平衡点,将有助于推动其从辅助手段向一线诊断工具的跨越,最终实现精准医疗的目标。

## 参考文献:

- [1] Possmayer F, Veldhuizen RAW, Jobe AH. Reflections on the introduction of surfactant therapy for neonates with respiratory distress. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2025 Apr 1;328(4):L554-L563. doi: 10.1152/ajplung.00355.2024. Epub 2025 Feb 14. PMID: 39951688.
- [2] Huang P, Chen D, Liu X, Zhang X, Song X. Diagnostic value of bedside lung ultrasound and 12-zone score in the 65 cases of neonatal respiratory distress syndrome and its severity. *Biomed Eng Online*. 2024 Mar 6;23(1):29. doi: 10.1186/s12938-024-01224-0. PMID: 38448872; PMCID: PMC10918994.
- [3] Du T, Lei H, Dong J, Wang Y, Li J. Clinical evaluation of serum miR-513a-3p combined with arterial blood gas analysis parameters and lung ultrasound score in neonatal respiratory distress syndrome. *Ital J Pediatr*. 2024 Oct 29;50(1):227. doi: 10.1186/s13052-024-01795-7. PMID: 39472946; PMCID: PMC11523833.
- [4] Zhang Z, Guo L, Wang H, Zhang Z, Shen L, Zhao H. Diagnostic accuracy of lung ultrasound to predict weaning outcome: a systematic review and meta-analysis. *Front Med (Lausanne)*. 2024 Nov 1;11:1486636. doi: 10.3389/fmed.2024.1486636. PMID: 39554497; PMCID: PMC11563988.
- [5] Raimondi F, Rodriguez Fanjul J, Aversa S, Chirico G, Yousef N, De Luca D, Corsini I, Dani C, Grappone L, Orfeo L, Migliaro F, Vallone G, Capasso L; Lung Ultrasound in the Crashing Infant (LUCI) Protocol Study Group. Lung Ultrasound for Diagnosing Pneumothorax in the Critically Ill Neonate. *J Pediatr*. 2016 Aug;175:74-78.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2016.04.018. Epub 2016 May 14. PMID: 27189678.