

新生儿呼吸窘迫综合征 (infantile respiratory distress syndrome, IRDS) 主要表现为进行性呼吸困难, 可导致患儿出现低氧血症、过度通气、呼吸性酸中毒等, 为导致新生儿病死主要原因, 早期准确评估预测预后, 对于临床针对性制定干预方案具有重大意义^[1~3]。以往临床多通过胸部 X 射线检查评估 IRDS 病情, 具有简便快捷、操作简单等优点, 但对于判断肺实变、病变形态分布缺乏特异性, 影响评估结果^[4]。肺部超声已逐渐应用于肺部疾病诊断中, 利用超声在肺部伪像可有效反映肺部病变情况, 且由于新生儿肺容量较小, 可进一步增加肺部超声的可视化操作^[5]。基于此, 本研究试分析肺部超声评分(lung ultrasound, LUS) 及膈肌厚度对 IRDS 不良预后风险的预测效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取我院 2021 年 8 月至 2023 年 9 月新生儿 IRDS 患儿 100 例, 纳入标准: 经血气分析、影像学检查确诊为 IRDS^[6]; 可接受本研究检查方案; 检查前未接受 IRDS 相关治疗者。排除标准: 合并先天性心脏病、染色体异常等其他先天性疾病; 合并新生儿湿肺、肺出血等其他肺部疾病; 支气管发育不良者; 合并持续性肺动脉高压、心源性肺水肿; 超声图像质量较差影响本研究结果者; 检查依从性较差或无法配合本研究检查者。其中男 60 例, 女 40 例, 胎龄 31~38 周, [(34.62±1.09) 周]; 出生体重 1.6~2.6 kg[(2.14±0.19) kg]。根据入院 30 d 后预后分为预后良好组 74 例与预后不良组 26 例。所有患者家属知晓本研究, 并签订同意书。经我院伦理委员会审核批准(伦理批号 SX2021072305)

1.2 方法

1.2.1 资料收集 采用医院自制调查问卷统计所有患儿临床资料, 包括胎龄、性别、出生 1 min、5 min Apgar 评分、出生体质量、是否胎膜早破、凶险性前置胎盘及病情严重程度。病情严重程度评估标准^[7]: 轻度: 呼吸频率增快, 伴有轻度三凹征, 不伴有呻吟, 哭声及肌张力正常, 两肺野亮度降低, 可见均匀小颗粒; 中度: 呼吸频率可达 80 次/min 以上, 明显三凹征, 伴有呻吟, 哭声减弱, 肌张力基本正常, 两肺野亮度明显降低, 呈毛玻璃样改变; 重度: 呼吸困难, 显著三凹征, 呻吟明显, 哭声微弱或无哭声, 两肺野呈白色, 支气管充气征明显。

1.2.2 超声检查 两组均采用飞利浦 CX40 型超

声诊断仪检查, 频率为 7~10 MHz, 检查前向家长详细说明检查流程, 提前安抚患儿情绪, 均由同一名超声主任医师进行检查(具有 10 年以上工作经验者)。在患儿保持平静状态时平躺, 通过腋前线、胸骨旁线、腋后线将肺分为前、侧、后部分, 以两乳头中间连线为界限, 将每侧肺脏分为上下 2 个肺野, 共分为 12 个区域, 探头由第 2 肋间从上到下, 从内到外, 垂直纵向扫描肋间隙, 分别扫描双侧肺 12 个区域, 记录各区域超声图。于右侧肋前线第 7~9 肋间, 探头沿肋间隙放置, 2D 模式下寻找需测量膈肌, 切换至 M 模式, 将采样线垂直于膈肌, 测量最大吸气末膈肌厚度 (diaphragmatic thickness at forced vital capacity, TdiFVC)、最大呼气末膈肌厚度 (diaphragmatic thickness at functional residual capacity, TdiFRC), 每次测量 3 个位点, 取平均值, 并计算膈肌增厚分数 (diaphragm thickening fraction, TFDi)。

1.2.3 LUS 评分标准^[8] 双肺 12 个区域评分总和即 LUS 评分, 总分 0~48 分。0 分: 正常表现, 以平滑 A 线为主, 或存在<3 条孤立 B 线; 1 分: 存在清晰、间断分布的 B 线, 可显示 A 线; 2 分: 存在大量 B 线且部分融合, 可显示 A 线; 3 分: A 线消失, 存在大量密集分布、融合的 B 线, 呈“瀑布”征; 4 分: 存在明显支气管充气征, 呈肝样变。

1.3 统计学方法 采用 SPSS 28.0 软件处理分析相关数据。符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示, 非正态分布数据经自然对数转换成正态分布后进行分析, 两组间比较采用 t 检验。计数资料用例数(%) 表示, 两组间比较行 χ^2 检验, 点二列相关系数行相关性分析, Logistic 回归方程分析影响因素, ROC 曲线分析预测价值。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组临床资料比较 两组性别、出生 1 min、5 min Apgar 评分、出生体质量、胎膜早破发生率差异无统计学意义($P>0.05$); 两组胎龄、凶险性前置胎盘、病情严重程度差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

2.2 两组 LUS 评分、膈肌厚度指标比较 预后不良组 LUS 评分高于预后良好组, TdiFVC、TdiFRC、TFDi 低于预后良好组($P<0.05$), 见表 2。典型病例肺部超声表现见图 1、图 2。

2.3 LUS 评分、膈肌厚度指标与预后不良风险的相关性分析 LUS 评分与预后不良风险呈正相关($r=0.625, P<0.001$), TdiFVC、TdiFRC、TFDi 与预后不良风险呈负相关($r=-0.571, r=-0.574, r=-0.608$, 均 $P<0.001$)。

表 1 两组临床资料比较

| 项目 | | 预后不良组(n=26) | 预后良好组(n=74) | 统计量 | P |
|---------------|----------|-------------|-------------|-----------------|--------|
| 性别[n(%)] | 男 | 15(57.69) | 45(60.81) | $\chi^2=0.078$ | 0.780 |
| | 女 | 11(42.31) | 29(39.19) | | |
| 胎龄(周) | | 33.75±1.06 | 35.27±1.13 | $t=5.993$ | <0.001 |
| Apgar 评分(分) | 出生 1 min | 7.35±0.49 | 7.44±0.58 | $t=0.707$ | 0.481 |
| | 出生 5 min | 7.53±0.51 | 7.68±0.63 | $t=1.094$ | 0.277 |
| 出生体质量(kg) | | 2.12±0.18 | 2.16±0.20 | $t=0.899$ | 0.371 |
| 胎膜早破[n(%)] | | 12(46.15) | 20(27.03) | $\chi^2=3.235$ | 0.072 |
| 凶险性前置胎盘[n(%)] | | 7(26.92) | 5(6.76) | $\chi^2=7.410$ | 0.006 |
| 病情严重程度[n(%)] | 轻度 | 5(19.23) | 22(29.73) | $\chi^2=11.743$ | <0.001 |
| | 中度 | 8(30.77) | 40(54.05) | | |
| | 重度 | 13(50.00) | 12(16.22) | | |

表 2 两组 LUS 评分、膈肌厚度指标比较

| 组别 | 例数 | LUS 评分(分) | TdiFVC(mm) | TdiFRC(mm) | TFdi(%) |
|-------|----|------------|------------|------------|------------|
| 预后不良组 | 26 | 31.15±5.53 | 2.51±0.36 | 2.22±0.25 | 13.06±4.27 |
| 预后良好组 | 74 | 26.24±4.71 | 3.03±0.50 | 2.53±0.31 | 19.76±6.15 |
| t | | 4.367 | 4.871 | 4.596 | 5.129 |
| P | | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |

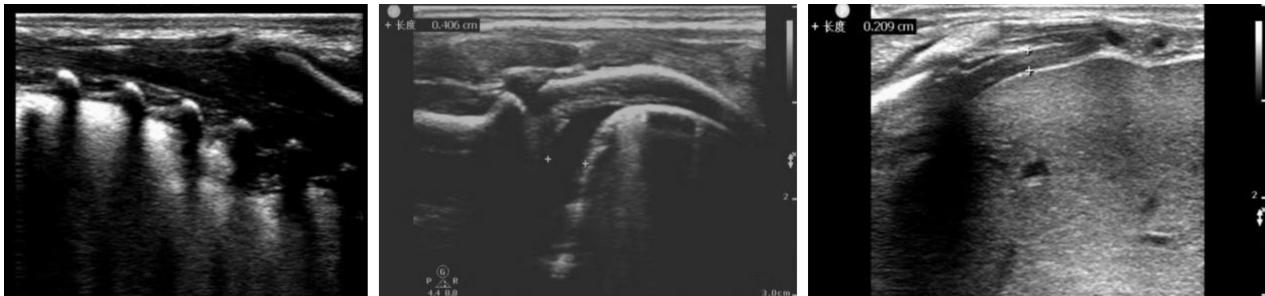


图 1 1 例预后不良患者肺部超声影像 患儿,男,胎龄 33 周+2 天,出生后确诊为 IRDS;肺部超声检查显示可见双肺弥漫性重度湿变象,A 线消失,B 线密集分布或间断分布,呈瀑布征,伴有肺滑动征减弱、肺实变征象,合并少量胸腔积液,吸气时膈肌增厚不明显,吸气与呼气时 TFdi 为 13.14%,治疗 30 d 后病情无明显好转,判定为预后不良。



图 2 1 例预后良好患者肺部超声影像 患儿,男,胎龄 34 周+5 天,出生后确诊为 IRDS;肺部超声检查显示可见双肺轻度湿变,A 线减弱,B 线间断分布,吸气时膈肌增厚明显,吸气与呼气时 TFdi 为 20.08%,治疗 30 d 后病情明显好转,判定为预后良好。

2.4 IRDS 患儿预后不良风险的 Logistic 回归分析

因 TdiFVC、TdiFRC 与 TF 同时纳入 Logistic 回归分析存在多重共线性,因此在进行 Logistic 回归分析时将 TdiFVC、TdiFRC 剔除。Logistic 回归分析结果显

示,在校正胎龄、凶险性前置胎盘、病情严重程度等其他因素后,LUS 评分、TFdi 均与 IRDS 患儿预后不良风险独立相关($P<0.05$)。见表 3。

表 3 IRDS 患儿预后不良风险的 Logistic 回归分析

| 相关因素 | B | SE | Wald χ^2 | P | OR | 95% CI |
|---------|--------|-------|---------------|--------|-------|----------------|
| 胎龄 | 1.395 | 0.528 | 6.978 | <0.001 | 4.034 | 1.413 ~ 11.516 |
| 凶险性前置胎盘 | 1.530 | 0.512 | 8.928 | <0.001 | 4.618 | 1.782 ~ 11.965 |
| 病情严重程度 | 1.944 | 0.554 | 12.317 | <0.001 | 6.989 | 2.804 ~ 17.419 |
| LUS 评分 | 1.757 | 0.496 | 12.548 | <0.001 | 5.795 | 2.275 ~ 14.762 |
| TFdi | -0.614 | 0.218 | 7.939 | <0.001 | 0.541 | 0.410 ~ 0.714 |

2.5 LUS 评分、膈肌厚度指标预测 IRDS 患儿预后不良风险效能 ROC 曲线分析,LUS 评分预测 IRDS 患儿预后的 AUC 为 0.812 (95% CI: 0.721 ~ 0.883), 约登指数为 0.537, 敏感度为 80.77%, 特异度为 72.97%; TFdi 预测 IRDS 患儿预后的 AUC 为 0.803 (95% CI: 0.712 ~ 0.876), 约登指数为 0.537, 敏感度为 80.77%, 特异度为 72.97%。LUS 评分联合 TFdi 预测 IRDS 患儿预后的 AUC 为 0.912 (95% CI: 0.838 ~ 0.959), 约登指数为 0.786, 敏感度为 96.15%, 特异度为 82.43%, 明显优于两者单独预测。见图 3。

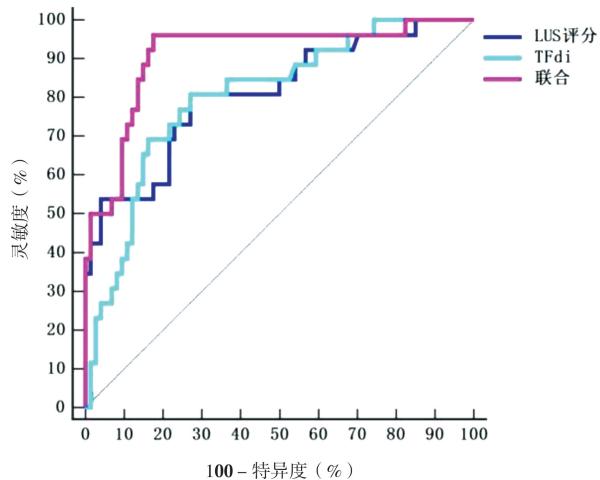


图 3 LUS 评分、膈肌厚度预测 IRDS 患儿预后不良风险效能曲线图

3 讨论

IRDS 为新生儿发生率较高的疾病, 多由胎儿肺泡萎缩引起, 主要表现为出生后进行性呼吸困难, 严重时可导致呼吸衰竭^[8~10]。由于 IRDS 病情进展较为迅速, 且病死率较高, 因此尽早评估预测 IRDS 患儿预后结局具有重大意义。

胸部 X 射线为临床诊断 IRDS 的“金标准”, 但为准确评估患儿病情变化及治疗效果, 临床需多次通过胸部 X 射线片进行检查, 且图像质量存在一定限制, 早期缺乏特异性, 以及具有电离辐射, 对患儿存在一定影响^[11,12]。超声技术不断发展, 已逐渐应用于肺部疾病诊断中, 相较于 X 射线检查具有安全性高、可重复性强等优点, 可有效评估肺复张容积。本研究结果显示, 两组 LUS 评分差异有统计学意义, 提示临床可通过 LUS 评分评估 IRDS 预后, 以制

定相应干预方案。既往有学者研究表明^[13], 肺部高频超声评分与 IRDS 患儿病情及预后均密切相关, 其对 IRDS 患儿预后的预测敏感度为 73.33%, AUC 为 0.820, 具有一定评估价值。LUS 评分可通过肺部超声图像特征进行量化, 直观反映 IRDS 患儿的肺损伤程度, 正常新生儿肺部超声表现为规则 A 线, 随 IRDS 病情进展, 肺泡萎陷、肺间质水肿等病理改变出现, 超声图像可出现 B 线、融合 B 线、实变等特征, LUS 评分越高, 表示肺部异常超声表现越明显, 肺损伤程度越严重, 而严重的肺部病变可导致气体交换障碍, 引起低氧血症和二氧化碳潴留, 进而影响全身各器官功能, 引发多器官功能障碍综合征等严重并发症, 增加患儿死亡风险。因此, LUS 评分与 IRDS 患儿预后密切相关。报道显示^[14~16], 肺部超声可通过观察肺泡与肺部间质水量变化, 利用超声混响伪像形成原理识别异常肺组织, 客观、准确评估肺部病变情况, 且由于新生儿胸壁较为薄弱, 超声图像更为清晰, 通过图像中 A 线、B 线可有效反映病变范围与程度。有学者研究表明^[17,18], 新生儿正常超声图像表现为胸膜线规则, 双侧肺部均为 A 线, 存在少量 B 线, 而 IRDS 患儿超声图像可显示出胸膜线异常、肺实变等, 且存在弥漫分布密集 B 线现象。本研究结果还发现, LUS 评分与 IRDS 患儿预后具有显著相关性, 进一步说明 LUS 评分对 IRDS 的评估价值。研究表明^[19~21], IRDS 患儿肺泡发生萎陷, 从而引起肺泡水肿, 形成 B 线, 随病情加重可导致水肿程度升高, B 线数量随之增多, 从而引起 LUS 评分上升, 且肺泡萎缩和塌陷均可引起密集、点状分布的支气管充气征, 进一步升高 LUS 评分。因此, LUS 评分与 IRDS 患儿预后密切相关。

膈肌为主要呼吸肌, 新生儿处于低氧状态时可引起膈肌功能受损, 从而影响呼吸功能, 当发生 IRDS 后, 患儿呼吸加深, 膈肌运动幅度加大, 因此可通过膈肌运动情况辅助评估 IRDS^[22,23]。本研究结果显示, 不同预后患儿 TdiFVC、TdiFRC、TFdi 比较存在显著差异, 进一步经相关性分析结果显示, TdiFVC、TdiFRC、TFdi 与预后具有显著相关性, 提示临床可通过监测患儿膈肌厚度评估患儿预后。膈

肌厚度变化可一定程度上反映呼吸做功情况,膈肌厚度较薄的患儿,往往需要更长时间机械通气支持,住院时间也相应延长,膈肌功能受损可影响患儿自主呼吸功能恢复,导致脱离机械通气的难度增加,从而影响预后恢复。报道显示^[24~26],通过床旁超声监测 IRDS 患儿膈肌形态变化,具有简便快捷、实时显示等优点,TdiFVC、TdiFRC 等指标变化与膈肌功能具有显著相关性,因此可通过超声评估膈肌运动、收缩幅度,从而评估患儿呼吸功能,以制定相应干预方案。本研究经 Logistic 回归分析结果显示,LUS 评分、TFdi 均与 IRDS 患儿预后不良风险独立相关,进一步经 ROC 曲线分析显示,LUS、TFdi 评分预测 IRDS 患儿预后不良风险的 AUC 分别为 0.812、0.803,联合 AUC 为 0.912,明显优于两者单独预测。

综上所述,LUS 评分及膈肌厚度与 IRDS 患儿预后具有显著相关性,临床可通过其评估预测预后不良风险,以制定相应干预方案,改善预后。但本研究仍存在一定局限性,如本研究样本量较小,且仅以单一时间点指标进行分析,未来可进一步扩大样本量开展纵向研究,跟踪观察患儿疾病进展过程中超声指标的动态变化,分析其与预后的时间依赖性关系,为临床提供更全面的评估策略。

【参考文献】

- [1] Sweet DG, Carnielli VP, Greisen G, et al. European consensus guidelines on the management of respiratory distress syndrome: 2022 update [J]. *Neonatology*, 2023, 120(1):3-23.
- [2] 贺健, 谢晓平, 莫巧宇, 等. 牛肺磷表面活性物质辅助呼吸机治疗新生儿呼吸窘迫综合征的疗效分析[J]. 实用医院临床杂志, 2020, 17(4):40-44.
- [3] Rüegger CM, Owen LS, Davis PG. Nasal intermittent positive pressure ventilation for neonatal respiratory distress syndrome[J]. *Clin Perinatol*, 2021, 48(4):725-744.
- [4] 饶文婷. 肺部超声与 X 线对新生儿呼吸窘迫综合征的诊断价值对比[J]. 长春中医药大学学报, 2023, 39(9):1039-1042.
- [5] Hu L, Zhu S. A retrospective analysis of ultrasonic diagnosis of neonatal respiratory distress syndrome[J]. *Ultrasound Q*, 2023, 39(4):212-215.
- [6] 郭静雨, 陈龙, 史源. 2017 年新生儿急性呼吸窘迫综合征蒙特勒诊断标准解读[J]. 中华儿科杂志, 2018, 56(8):571-574.
- [7] 郭朝金, 邢凯慧, 轩妍. 血清 SP-A 和 IL-6 水平对新生儿呼吸窘迫综合征病情严重程度及预后的评估价值[J]. 临床与病理杂志, 2022, 42(5):1075-1079.
- [8] 郭晓容. 肺部超声检查在新生儿呼吸窘迫综合征诊断和疗效评估的应用[D]. 广东: 汕头大学, 2019.
- [9] Dargaville PA, Kamlin COF, Orsini F, et al. Effect of minimally invasive surfactant therapy vs sham treatment on death or bronchopulmonary dysplasia in preterm infants with respiratory distress syndrome: the OPTIMIST-A randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2021, 326(24):2478-2487.
- [10] Wang XD, Zhang CH, Zou N, et al. Lipocalin-2 silencing suppresses inflammation and oxidative stress of acute respiratory distress syndrome by ferroptosis via inhibition of MAPK/ERK pathway in neonatal mice[J]. *Bioengineered*, 2022, 13(1):508-520.
- [11] 柳慧, 王英俊. 肺部超声和胸部 X 线对新生儿呼吸窘迫综合征的诊断效能比较[J]. 临床医学工程, 2022, 29(1):15-16.
- [12] Sefic Pasic I, Riera Soler L, Vazquez Mendez E, et al. Comparison between lung ultrasonography and chest X-ray in the evaluation of neonatal respiratory distress syndrome[J]. *J Ultrasound*, 2023, 26(2):435-448.
- [13] 高敏, 张楠楠, 荣辉, 等. 肺部高频超声评分对新生儿呼吸窘迫综合征预测及预后评估的价值[J]. 中国现代医学杂志, 2022, 32(17):81-87.
- [14] Huang L, Ye D, Wang JH. Analysis of diagnosing neonatal respiratory distress syndrome with lung ultrasound score[J]. *Pak J Med Sci*, 2022, 38(5):1101-1106.
- [15] Szymański P, Kruczek P, Hożejowski R, et al. Modified lung ultrasound score predicts ventilation requirements in neonatal respiratory distress syndrome[J]. *BMC Pediatr*, 2021, 21(1):17.
- [16] 顾华, 王立波, 马洪欣, 等. 肺超声评估不同胎龄新生儿呼吸窘迫综合征及临床价值[J]. 中国医学装备, 2023, 20(5):118-122.
- [17] Srinivasan S, Aggarwal N, Makhaik S, et al. Role of lung ultrasound in diagnosing and differentiating transient tachypnea of the newborn and respiratory distress syndrome in preterm neonates[J]. *J Ultrason*, 2022, 22(88):e1-e5.
- [18] 张琳, 张振平, 朱永胜. 改良版肺超声评分法对比胸片定量评估新生儿呼吸窘迫综合征严重程度[J]. 放射学实践, 2023, 38(5):636-640.
- [19] Wu JF, Wang YL, Zhao AL, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of neonatal respiratory distress syndrome: a meta-analysis[J]. *Ultrasound Q*, 2020, 36(2):102-110.
- [20] 左莉莉, 陈筱青, 周洁, 等. 重症心肺超声评估新生儿呼吸窘迫综合征机械通气的应用价值[J]. 中华超声影像学杂志, 2022, 31(11):953-959.
- [21] Poerio A, Galletti S, Baldazzi M, et al. Lung ultrasound features predict admission to the neonatal intensive care unit in infants with transient neonatal tachypnoea or respiratory distress syndrome born by caesarean section[J]. *Eur J Pediatr*, 2021, 180(3):869-876.
- [22] 胡淑敏. 高频振荡通气联合膈肌刺激治疗在新生儿呼吸窘迫综合征中的应用[J]. 护理实践与研究, 2020, 17(18):128-130.
- [23] 颜林, 梅花, 刘春枝. 柚橼酸咖啡因治疗新生儿呼吸窘迫综合征的研究进展[J]. 中国小儿急救医学, 2022, 29(9):721-724.
- [24] Berti B, Buonsenso D, De Rose C, et al. Point-of-care lung and diaphragm ultrasound in a patient with spinal muscular atrophy with respiratory distress type 1[J]. *J Ultrasound*, 2022, 25(2):395-398.
- [25] 黄园琴, 杨佳, 左文霞, 等. 膈肌超声预测心脏术后急性呼吸窘迫综合征患者撤机的临床研究[J]. 重庆医学, 2022, 51(14):2401-2404, 2409.
- [26] 窦志敏, 李鸿杰, 吴晓霞, 等. 超声膈肌功能评估对急性呼吸窘迫综合征患者无创机械通气结果的预测价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2023, 31(5):492-496.

(收稿日期:2025-04-19;修回日期:2025-08-12)

(本文编辑:侯晓林)