

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.02.043

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241112.0841.002\(2024-11-12\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241112.0841.002(2024-11-12))

心肺联合超声在新生儿呼吸窘迫综合征中应用的研究进展*

刘欣娜^{1,2},冯德喜^{2△}

(1. 内蒙古科技大学包头医学院研究生院, 内蒙古包头 014040; 2. 内蒙古自治区人民医院
超声医学科, 呼和浩特 010017)

[摘要] 新生儿呼吸窘迫综合征(NRDS)是新生儿呼吸衰竭和死亡的最常见原因之一,早期及时诊治并进行病情监测对提高生存率有重要意义,近年来,心肺联合超声(CPUS)逐渐被推广应用于NRDS中。该文系统、全面地探讨了CPUS在诊断、监测NRDS中的价值及应用现状。

[关键词] 呼吸窘迫综合征;新生儿;心肺联合超声

[中图分类号] R445.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2025)02-0538-06

Research progress of application of cardiopulmonary combined ultrasound in neonatal respiratory distress syndrome*

LIU Xinna^{1,2}, FENG Dexi^{2△}

(1. Graduate School, Baotou Medical College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014040, China; 2. Department of Ultrasound Medicine, Inner Mongolia Autonomous Region People's Hospital, Hohhot, Inner Mongolia 010017, China)

[Abstract] Neonatal respiratory distress syndrome (NRDS) is one of the most common causes of neonatal respiratory failure and death. Early and timely diagnosis and treatment, and monitoring the disease condition are of great significance to improve the survival rate. In recent years, cardiopulmonary ultrasound (CPUS) has been gradually popularized for use in NRDS. This article systematically and comprehensively discusses the value and application current status of CPUS in diagnosis and monitoring of NRDS.

[Key words] respiratory distress syndrome; newborn; cardiopulmonary ultrasound

新生儿呼吸窘迫综合征(neonatal respiratory distress syndrome, NRDS)又称为新生儿透明膜病,与Ⅱ型肺泡发育不成熟、肺泡表面活性物质缺乏或减少及宫内感染等有关^[1]。其发病进展迅速、预后不良,是新生儿重症监护室中发生呼吸衰竭最常见的原因之一,死亡率高达22%~40%^[2],故NRDS的诊治是我国新生儿领域的重要研究热点。目前,胸部X射线检查、CT检查是诊断NRDS的主要方法,但两种检查均有辐射风险,因此临床急需更高效、安全的检查方式。心肺联合超声(cardiopulmonary ultrasound, CPUS)是肺部超声(lung ultrasound, LUS)和心脏超声相结合,用于综合评估NRDS的心肺情况,具有无创、无辐射、方便、成本低和实时显像等特点,可在床旁或重症监护房操作,便于重复操作及观察病情演变,尤其适用于新生儿或危重症患儿。近年来有研究表明,CPUS对NRDS评估全面、准确,可信度高。因

此,本文总结LUS、心脏超声在NRDS的诊断、病情监测、并发症观察、使用机械通气治疗及疗效评估方面的应用价值,为临床诊治NRDS提供参考。

1 CPUS在NRDS诊断中的应用

目前, NRDS诊断依赖于临床表现、胸部X射线检查和动脉血气分析,但早期漏诊率较高,是NRDS死亡率较高的重要原因。GREGORIO-HERNÁNDEZ等^[3]研究发现LUS是NRDS早期诊断的有用工具,其超声表现为:(1)胸膜线形状不规则,粗糙,厚度超过0.5 mm;(2)A线消失,肺滑动征减少或消失,出现肺搏动;(3)出现空气支气管征与肺实变或双侧白肺;(4)弥漫性肺泡间质综合征, B线分布不均匀,根据相连B线在胸膜线上的距离分为B3线和B7线, B3线间距 ≤ 3 mm, B7线间距约7 mm^[4]。ISMAIL等^[5]对100例NRDS患儿进行了前瞻性研究,结果显示LUS诊断NRDS的敏感度和特

* 基金项目:内蒙古自治区卫生健康科技计划项目(30471225);内蒙古自治区人民医院院内基金项目(2021YN02)。△ 通信作者, E-mail: fengdexifengzhuo@126.com。

异度分别为 94.7%、100.0%。SEFIC 等^[6]对 150 例 NRDS 分别进行 LUS 和 X 射线检查,比较两者诊断效能,结果显示 LUS 的诊断符合率、灵敏度和特异度均明显高于胸部 X 射线检查。因此,与 X 射线检查相比,LUS 诊断 NRDS 具有较高准确率,而 X 射线检查对于肺部疾病的特异度较低,易将 NRDS 误诊为其他疾病如新生儿肺炎、胎粪吸入综合征和新生儿湿肺等。

NRDS 会引起肺功能紊乱、肺部含水量增加,而导致非心源性肺水肿,而非心源性肺水肿在临床上与心源性肺水肿易混淆,两者均表现为呼吸困难,但发病原理区别大,故诊断 NRDS 需满足“患儿呼吸困难的症状不能用急性心力衰竭或液体过载来解释”这一条件,对二者有效鉴别成为临床诊断 NRDS 的关键。然而仅通过 LUS 检查所表现的 B 线分布特征来区分存在一定的局限性^[7],如一些重症患儿由于心肺交互作用会同时合并心源性肺水肿,二者共存时图像质量较差,鉴别两者较困难,导致 NRDS 的误诊率较高。超声心动图是快速评估心功能和容量状态的无创工具,若超声出现心脏收缩功能下降及下腔静脉内径增宽等容量过负荷表现,则是心源性肺水肿,否则即为非心源性肺水肿^[8]。

路红涛等^[9]通过对 80 例以呼吸困难为主要症状的 MRDS 新生儿行 CPUS 检查,结果发现 CPUS 诊断 NRDS 的灵敏度(96.36%)、特异度(96.00%)、阳性预测值(98.15%)、阴性预测值(92.31%)均高于单一 LUS 诊断的灵敏度(83.64%)、特异度(80.00%)、阳性预测值(90.20%)、阴性预测值(68.97%)。综上所述,由于使用超声心动图可排除心源性疾病所致的呼吸困难,CPUS 相较于单一 LUS 或 X 射线检查诊断 NRDS 的准确率更高,有望成为 NRDS 诊断的常规方法。

2 CPUS 在 NRDS 监测中的应用

2.1 CPUS 对 NRDS 病情的评估

由于 NRDS 进展迅速,当患儿出现明显症状时往往预后不良,因此必须对其进行实时严密的病情监测,指导临床及时调整治疗方案,以确保治疗的有效性及安全性。胸部 X 射线检查一直作为评估 NRDS 严重程度的依据,但 X 射线检查不可反复进行,杜睿等^[10]通过对 80 例 NRDS 患儿的研究发现 LUS 可较好地评估病情程度,LUS 逐渐成为评估 NRDS 的有效方法。为了更简便准确地评估 NRDS 病情,相关学者不断改进评估标准。最早有学者提出 NRDS 的严重程度与 B 线的数量呈正相关,但其准确度低^[11]。随后为了进一步提高评估的准确率,有学者提出半定量思路,即采用评分方式量化 LUS 检查结果,将肺脏

分成 12 个区域,对每个区域进行评分,共 36 分,评分标准:0 分为肺含气量正常(正常肺脏);1 分为肺含气量中度减少,存在肺间质综合征(多条孤立存在的 B 线)、局灶性肺水肿(融合 B 线<扫查肋间隙的 50%)或胸膜下实变;2 分为肺含气量重度减少,存在肺泡水肿(弥漫存在的融合 B 线占据全部肋间隙);3 分为肺含气量完全消失,存在肺实变(肺组织肝样变或不伴支气管充气征)。曹晓清^[12]采用 LUS 评分评估 NRDS 严重程度,对 80 例 NRDS 患儿的 12 个肺脏区域扫查显示,双肺 12 区 LUS 评分与病情程度呈正相关,即评分越高,患儿的病情越严重。XIN 等^[13]证实了 LUS 评分与 NRDS 临床分级的相关性较好,在评估 NRDS 时表现出较好的可靠性。鉴于超声评分必须全方位扫描并且需要累计评分才能做出评估,不利于对急重症患儿的病情严重程度快速做出诊断,因此需要一种更快速有效的方法。刘敬等^[14]根据 LUS 肺实变表现、累及的范围及是否导致并发症将其分成轻、中、重三级,具体标准如下:轻度表现为磨玻璃征,累及范围不限;中度表现为雪花征,尚未累及全部肺野;重度具备以下任何一项或以上者,肺实变表现为雪花征,但已累及所有肺分区;肺实变程度和范围不限,但已引起气胸、和(或)肺出血、和(或)肺动脉高压(pulmonary arterial hypertension, PH)、和(或)大面积肺不张(至少累及 1 个肺分区)等严重并发症。此方法简便易学,有助于超声医师迅速评估病情严重程度,但不如 LUS 评分精准,可根据具体情况选择评估方法。PIERRO 等^[15]研究显示使用超声心动图测得肺动脉压力(pulmonary artery pressure, PAP)也可以作为 NRDS 病情严重程度的监测指标,相较于有创的右心导管,超声心动图更适用于动态监测新生儿 PAP,因此超声心动图可用于评估 NRDS 的严重程度。故推测 CPUS 可综合评估 NRDS 的严重程度,可信度更高。

2.2 CPUS 在 NRDS 并发症中的应用

2.2.1 肺动脉高压(pulmonary hypertension, PH)

低氧、肺泡渗透性增加及高碳酸血症等原因导致肺血管收缩,引起肺血管的重构,其中约 50% 的患儿出现 PH^[16]。既往多使用超声心动图参数如三尖瓣反流(tricuspid regurgitation, TR)信号估测新生儿 PAP,但结果不一定准确。近年来提出肺动脉血流加速时间(pulmonary artery acceleration time, PAAT)可用于估计 PAP,且 PAAT 与右心导管测得的 PAP 呈负相关,PAAT 与 PH 的严重程度呈负相关,认为 PAAT/右心室射血时间(right ventricular ejection time, RVET)<0.3 存在 PH^[17]。因此,PAAT 可作为评价 NRDS 肺血流动力学的可靠非侵入性筛查措

施。有学者提出可以通过心肌做功(Tei)指数、双多普勒 Tei(DD-Tei)指数、右心室收缩与舒张(S/D)持续时间比和离心率指数定量评估 PH^[18]。DAI 等^[19]选取 75 例患有 PH 的新生儿,对比上述超声参数,结果显示,DD-Tei 指数与 PAP 相关性最高,尤其在 PH 早期右心室处于代偿期或三尖瓣未出现反流信号时 DD-Tei 指数就会增高,且与 PAP 呈正相关($r = 0.932, P < 0.01$),进一步研究发现 LUS 评分与 PAP 呈正相关。之后有学者研究发现 B 线数量与 PAP 呈正相关,提示 LUS 也可以评估 PH 的情况,但有待进一步细化如何用 B 线数量或 LUS 评分评估 NRDS 的 PH 严重程度。因此使用 CPUS 评估 NRDS 并发 PH 更加全面、准确。

2.2.2 心力衰竭

NRDS 引起肺血管损伤直接影响右心室的血流动力学和功能,因此 NRDS 患儿尤其早产儿大多数存在心肌损伤,多于发病 5 h 后出现,且 PAP 增高会导致右心后负荷进一步增加,对右心功能造成持续损害^[20]。因此对于 NRDS 不仅要关注肺部情况,还需重视早期右心功能的监测与保护。在成人呼吸窘迫综合征(respiratory distress syndrome, RDS)患者中常用 PAP、右心室尺寸和功能及室间隔运动评估右室功能障碍程度,当符合三尖瓣环收缩期运动位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE) < 17 mm、三尖瓣环收缩速度 < 9.5 cm/s、右心室应变速率 $> -20\%$ 、右心室舒张末期面积(right ventricular end-diastolic area, RVEDA)/左心室舒张末期面积(left ventricular end-diastolic area, LVEDA) > 0.6 、PAAT < 130 ms、PAP > 40 mmHg 时,提示右心功能受损^[21]。TAHA 等^[22]研究发现,右心室面积变化率(right ventricular fractional area change, RVFAC)和 TAPSE 还可预测死亡率,截断点 $\leq 57\%$ 的 RVFAC 预测死亡率的敏感度最高(AUC 0.825, 95% CI: 0.732~0.918),而 TAPSE 预测死亡率的特异度最高,临界值 ≤ 17 mm。以上参数均在成人 RDS 中测得,目前针对新生儿仅提出 Tei 指数可以早期评估右心室功能,当大于正常范围(0.25~0.38)时提示存在右心功能损害,且准确度及敏感度高^[23]。新生儿尤其早产儿在出生时依旧处于右心优势,用于评估成人右心功能的超声心动图参数值不适用于新生儿,故针对新生儿右心功能的具体参数有待进一步研究。

PAP 明显升高时肺血流量降低,对左心室充盈产生负面影响,由于室间相互作用会造成左心室功能受损,故需要同时评估左心功能。评价心室舒张功能常用二尖瓣口血流频谱的 E/A 比值,但由于新生儿心率较快,可能存在假性正常化及单峰现象,因此有一

定的局限,且新生儿对超声参数左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、左心室短轴缩短率(left ventricular fraction shortening, LVFS)敏感性低,当心肌轻度损伤时均无明显异常^[24]。故有学者提出用二维斑点追踪(2D-STI)技术评估新生儿左心室功能,左室基底段和中间段峰值应变可以敏感地反映早期局部心肌的损伤^[25]。陈成彩等^[26]通过研究证实,在心肌损伤早期各节段峰值应变、左室整体平均纵向应变及左室两腔、三腔、四腔心整体纵向应变均已发生改变。因此,2D-STI 技术可在 LVEF、LVFS 出现异常前检测到左室心肌功能改变,可为临床早期监测新生儿心肌损伤提供可靠的辅助手段,从而防止心力衰竭的发展。有研究表明,LUS 评分可作为心肌受损的重要参考指标,当 LUS 评分 > 18 分时诊断效能最佳,其敏感度为 90%,特异度为 78%^[27]。GLÖCKNER 等^[28]纳入 102 例心力衰竭患儿探究 LUS 早期诊断的准确性,结果显示 LUS 诊断心力衰竭的敏感度为 75%,特异度为 97.6%,阳性预测值为 96.3%,阴性预测值为 83.3%。有研究^[29]显示,在成人 RDS 中 B 线数量越多表明肺充血越多,当 B 线总数 ≥ 15 条提示严重心力衰竭,表现为高回声填满两根肋骨之间的空间,即“白肺”。因此,LUS 有助于早期诊断心力衰竭,并一定程度反映心力衰竭程度,但在新生儿中仅提出肺充血程度与心力衰竭相关,有待进一步详细研究两者具体关系。

综上所述,CPUS 在 NRDS 监测中有着重要意义,通过 LUS 评分、新生儿 PAP 与心功能指标的变化,可以准确评价心肺的功能状态及动态监测心肺的相互作用,精准指导治疗并优化血流动力学,防止 PH 的发生,提前阻止心力衰竭的发生发展,有利于改善患儿的预后。

3 CPUS 在 NRDS 治疗中的应用

机械通气能有效改善 NRDS 患儿症状,减少并发症及降低死亡率,其使用时机对患儿疾病转归至关重要^[30]。但目前关于 NRDS 机械通气的治疗时机尚未取得一致的共识,有研究表示,LUS 评分对判断患儿是否需要机械通气及在指导通气模式的选择上优于 X 射线检查,可以指导治疗的最佳时机^[31]。由于机械通气过程会降低右心室前负荷,增加右心室后负荷,因此需 CPUS 准确监测右心功能及评估肺部情况,以肺通气条件、氧合及心功能为共同导向及时调整呼吸机参数^[32]。

当患儿病情稳定后要及时撤机,撤机过晚会引起呼吸机相关肺炎等并发症,但撤机过早需要再次插管,并且可能导致预后不良^[33],故准确预测撤机时机十分重要。目前,自主呼吸试验(spontaneous breath-

ing trial, SBT) 作为机械通气患儿的拔管标准, 但仍有不少患儿因肺水肿、肺实变等常见原因导致拔管失败^[34], 而利用 LUS 评分可在短时间内全面掌握双肺状态和灌注情况, 并量化评估肺通气, 故应用 LUS 评估撤机时机尤为重要。另有研究发现, 心功能障碍是拔管失败的另一危险因素, 表现为左心室舒张功能差和左心室充盈压升高^[35]。另一方面, 撤机过程患儿右心房压力降低, 导致右心前负荷增加, 若此时患儿右心功能差, 撤机可能会引起血流动力学不稳定^[36]。因此, 需要用 CPUS 综合患儿的心肺功能来评估撤机时机, 以提高撤机成功率。在成人 RDS 中, 当 LVEF < 40%、E/A > 2、E/e' > 1、自主呼吸试验 (spontaneous breathing trial, SBT) 后 LUS 评分 ≥ 17 分、SBT 期间肺前区 B 线数 ≥ 6 条时, 撤机失败的可能性大^[37]。在新生儿中, 肺 12 区评分法 ≤ 10 分提示拔管成功率高, 敏感度为 95%, 特异度为 82%^[38]。因此, CPUS 有望成为 NRDS 机械通气应用及撤离的指导依据, 可以使临床医生更方便、准确地评估插管必要性及拔管失败的风险。

4 CPUS 疗效评估中的应用

欧洲 NRDS 防治共识指南提出, NRDS 的主要治疗方案是补充外源性肺表面活性物质 (pulmonary surfactant, PS), 且应用越早效果越佳^[39]。临床常用血气分析和 X 射线检查评估 PS 的治疗效果, 目前有研究发现通过 LUS 各项征象及评分评估肺复张效果是可行的。王小玲^[40] 对 57 例 NRDS 患儿使用 PS 后, 观察到 LUS 表现为肺实变范围缩小, 支气管充气征减轻, 胸膜线恢复正常, A 线重新出现并伴肺滑动征, B 线减少。BIASUCCI 等^[41] 提出 LUS 评估 PS 疗效评分如下: 0 分为肺部正常, 存在肺滑动, 可见 A 线, 每个肋间隙少于 3 条 B 线; 1 分为轻度肺泡间质型, 表现为至少 3 条 B 线或存在多发胸膜下实变 (最大 ≤ 1 cm); 2 分为严重的肺泡-间质型, 表现为多发、密集和聚结的 B 线 (即白肺) 和 (或) 由增厚或不规则胸膜分隔的多发胸膜下实变; 3 分为肺实变, 代表肺通气功能障碍 (即 > 1 cm 的组织样回声带及不规则边界胸膜下回声, 可伴有高、低回声区混合的支气管征), 且发现评分越高, 肺通气越差, 肺复张效果越差。因此 LUS 检查征象及评分对 PS 使用效果的评估具有重要价值。

心脏超声参数如左室收缩期偏心指数、下腔静脉塌陷率及三尖瓣反流情况等可用于监测肺复张过程的血流动力学变化。TUSMAN 等^[42] 提出通过超声测量下腔静脉塌陷指数可以评估患儿肺复张过程中血容量的变化及左心室收缩功能, 指导肺复张的进行。综上所述, CPUS 在监测 NRDS 的治疗效果中具

有重要作用, 可实时监测肺复张情况。

5 局限和展望

CPUS 将心脏超声和 LUS 联合使用, 提高了 NRDS 诊断准确率, 并可实施动态监测, 有助于了解 NRDS 的严重程度及是否合并并发症, 为临床治疗提供指导, 对评估治疗效果有重要的临床应用价值。CPUS 是一种无创、无辐射检查方法, 有利于新生儿的身心健康, 且新生儿胸廓宽度小、胸壁薄, 使得 LUS 显像更加清晰, 并可通过简单的课程教学和实践培训即可熟练操作, 故有学者提议 CPUS 作为资源有限情况下胸部 X 射线检查的替代方法^[43-44]。因此 CPUS 有着重要的临床应用价值, 值得推广应用。然而, CPUS 也存在一定的局限性, 要求超声医师拥有专业的操作技术及遵循规范的操作流程, 确保扫查的全面性和规范性, 才能进行准确诊断与评估。且 CPUS 在 NRDS 中的应用在某些方面尚缺乏统一参考标准, 未来需要大规模的前瞻性随机试验来获取标准化数据并达成共识。

参考文献

- [1] LIU J, FU W, QIN S J. Lung ultrasound to guide the administration of exogenous pulmonary surfactant in respiratory distress syndrome of newborn infants: a retrospective investigation study [J]. *Front Pediatr*, 2022, 10: 952315.
- [2] LIU J. Ultrasound diagnosis and grading criteria of neonatal respiratory distress syndrome [J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2023, 36(1): 2206943.
- [3] GREGORIO-HERNÁNDEZ R, ARRIAGA-REDONDO M, PÉREZ-PÉREZ A, et al. Lung ultrasound in preterm infants with respiratory distress: experience in a neonatal intensive care unit [J]. *Eur J Pediatr*, 2020, 179(1): 81-89.
- [4] TANDIRCIOLU U, YIGIT S, OGUZ B, et al. Lung ultrasonography decreases radiation exposure in newborns with respiratory distress: a retrospective cohort study [J]. *Eur J Pediatr*, 2022, 181(3): 1029-1035.
- [5] ISMAIL R, EL RAGGAL N M, HEGAZY L A, et al. Lung ultrasound role in diagnosis of neonatal respiratory disorders: a prospective cross-sectional study [J]. *Children (Basel)*, 2023, 10(1): 173.
- [6] 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.
- [7] SEKIGUCHI H, SCHENCK L, HORIE R, et al. Critical care ultrasonography differentiates ARDS, pulmonary edema, and other causes in the early course of acute hypoxemic respiratory failure [J]. *Chest*, 2015, 148(4): 912-918.
- [8] GIBSON L, DI FENZA R, BERRA L, et al. Transthoracic echocardiography in prone patients with acute respiratory distress syndrome: a feasibility study [J]. *Crit Care Explor*, 2020, 2(8): e0179.
- [9] 路红涛, 刘丽. 肺部超声联合超声心动图在小儿急性呼吸窘迫综合征中的诊断价值 [J]. *临床医学研究与实践*, 2022, 7(32): 94-97, 102.
- [10] 杜睿, 甄丽. 肺部超声评估在新生儿呼吸窘迫综合征中的临床应用价值 [J]. *国际呼吸杂志*, 2023, 43(9): 1077-1082.
- [11] 陈成彩, 李丽珍, 钟秋红, 等. 肺超声评分在新生儿呼吸窘迫综合征诊断及病情严重程度评估中的应用价值 [J]. *中国超声医学杂志*, 2021, 37(9): 989-992.
- [12] 曹晓清. 肺超声评分 (LUS) 定量评估新生儿呼吸窘迫综合征 (NRDS) 严重程度及其临床意义 [J]. *影像研究与医学应用*, 2019, 3(14): 245-247.
- [13] XIN H, WANG L, HAO W, et al. Lung ultrasound in the evaluation of neonatal respiratory distress syndrome [J]. *J Ultrasound Med*, 2023, 42(3): 713-721.
- [14] 刘敬, 李洁, 单瑞艳, 等. 新生儿呼吸窘迫综合征超声诊断与分度多中心前瞻性研究 [J]. *中国小儿急救医学*, 2020, 27(11): 801-807.
- [15] PIERRO M, CHIOMA R, BENINCASA C, et al. Cardiopulmonary ultrasound patterns of transient acute respiratory distress of the newborn: a retrospective pilot study [J]. *Children (Basel)*, 2023, 10(2): 289.
- [16] RAHDE BISCHOFF A, BHOMBAL S, ALTMAN C, et al. Targeted neonatal echocardiography in patients with hemodynamic instability [J]. *Pediatrics*, 2022, 150(Suppl. 2): e20220564151.
- [17] HABASH S, LASER K, MOOSMANN J, et al. Normal values of the pulmonary artery acceleration time (PAAT) and the right ventricular ejection time (RVET) in children and adolescents and the impact of the PAAT/RVET-index in the assessment of pulmonary hypertension [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35(2): 295-306.
- [18] SINGH Y, KATHERIA A, VORA F. Advances in diagnosis and management of hemodynamic instability in neonatal shock [J]. *Front Pediatr*, 2018, 6: 2.
- [19] DAI Z, LAI G, CHEN Z, et al. Double Doppler Tei index combined with lung ultrasound to evaluate the right ventricular function and lung condition in neonates with pulmonary hypertension [J]. *J Clin Ultrasound*, 2023, 51(4): 628-635.
- [20] 潘晶晶, 成胜, 胡雨生, 等. 新生儿急性呼吸窘迫综合征右心功能监测及早期保护的研究 [J]. *临床肺科杂志*, 2021, 26(10): 1511-1515.
- [21] FU S, THANGAVEL S, IVANOVA V. Cardiac dysfunction in acute respiratory distress syndrome [J]. *Crit Care Nurs Q*, 2019, 42(4): 448-458.
- [22] TAHA A, ZAYTOUN T, EID H, et al. Echocardiographic assessment of the right ventricle and its correlation with patient outcome in acute respiratory distress syndrome [J]. *Adv Respir Med*, 2020, 88(5): 412-419.
- [23] SINGH Y, KATHERIA A, TISSOT C. Functional echocardiography in the neonatal intensive care unit [J]. *Indian Pediatr*, 2018, 55(5): 417-424.
- [24] KANSAL M, MANSOUR I, ISMAIL S, et al. Left ventricular global longitudinal strain predicts mortality and heart failure admissions in African American patients [J]. *Clin Cardiol*, 2017, 40(5): 314-321.
- [25] EL-SISI A, GABR A, AFIA A, et al. Left ventricular rotational deformation changes by speckle tracking imaging before and 24 hours after transcatheter closure of large secundum atrial septal defects in children [J]. *Echocardiography*, 2020, 37(7): 1065-1071.
- [26] 陈成彩, 陆亿, 姚小敏, 等. 二维斑点追踪技术评估窒息新生儿左室纵向收缩功能及其与心肌损伤的相关性 [J]. *临床超声医学杂志*, 2022, 24(5): 353-357.

- [27] 叶家华, 吕国荣, 杨舒萍, 等. 肺部即时随诊超声联合超声心动图对新生儿呼吸窘迫综合征心肌损害的诊断价值[J]. 中国现代医药杂志, 2020, 22(4):78-80.
- [28] GLÖCKNER E, WENING F, CHRIST M, et al. Lung ultrasound eight-point method in diagnosing acute heart failure in emergency patients with acute dyspnea: diagnostic accuracy and 72 h monitoring[J]. Medicina (Kaunas), 2020, 56(8):379.
- [29] IWAKURA K, ONISHI T. A practical guide to the lung ultrasound for the assessment of congestive heart failure[J]. J Echocardiogr, 2021, 19(4):195-204.
- [30] LI S, CHEN Z, YAN W. Application of bedside ultrasound in predicting the outcome of weaning from mechanical ventilation in elderly patients[J]. BMC Pulm Med, 2021, 21(1):217.
- [31] CIARMOLI E, STORTI E, CANGEMI J, et al. Use of cardio-pulmonary ultrasound in the neonatal intensive care unit [J]. Children (Basel), 2023, 10(3):462.
- [32] BUNGE J, CALISKAN K, GOMMERS D, et al. Right ventricular dysfunction during acute respiratory distress syndrome and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation [J]. J Thorac Dis, 2018, 10(Suppl. 5):674-682.
- [33] SPADARO S, GRASSO S, MAURI T, et al. Can diaphragmatic ultrasonography performed during the T-tube trial predict weaning failure? The role of diaphragmatic rapid shallow breathing index [J]. Crit Care, 2016, 20(1):305.
- [34] THILLE A, RICHARD J, BROCHARD L. The decision to extubate in the intensive care unit [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2013, 187(12):1294-1302.
- [35] SANFILIPPO F, DI FALCO D, NOTO A, et al. Association of weaning failure from mechanical ventilation with transthoracic echocardiography parameters: a systematic review and meta-analysis[J]. Br J Anaesth, 2021, 126(1):319-330.
- [36] VENKATACHALAM S, WU G, AHMAD M. Echocardiographic assessment of the right ventricle in the current era: application in clinical practice[J]. Echocardiography, 2017, 34(12):1930-1947.
- [37] SANTANGELO E, MONGODI S, BOUHEMAD B, et al. The weaning from mechanical ventilation: a comprehensive ultrasound approach [J]. Curr Opin Crit Care, 2022, 28(3):322-330.
- [38] BAO L Y, DAO X Y, DU K. Progress in the application of lung ultrasound for the evaluation of neonates with respiratory distress syndrome[J]. J Multidiscip Healthc, 2024, 17:1-9.
- [39] 史洁丽, 刘桂芬, 王燕. 不同剂量牛肺表面活性物质治疗新生儿呼吸窘迫综合征对患儿血气指标及预后状况的影响[J/CD]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2023, 7(15):4-6.
- [40] 王小玲. 床旁肺超声联合脑血流频谱在 NRDS 的应用研究[D]. 赣州: 赣南医学院, 2023.
- [41] BIASUCCI D, LOI B, CENTORRINO R, et al. Ultrasound-assessed lung aeration correlates with respiratory system compliance in adults and neonates with acute hypoxemic restrictive respiratory failure: an observational prospective study[J]. Respir Res, 2022, 23(1):360.
- [42] TUSMAN G, ACOSTA C, COSTANTINI M. Ultrasonography for the assessment of lung recruitment maneuvers [J]. Crit Ultrasound J, 2016, 8(1):8.
- [43] RODRIGUEZ-FANJUL J, BENET N, RODRIGO GONZALO DE LLIRIA C, et al. Lung ultrasound protocol decreases radiation in newborn population without side effects: a quality improvement project[J]. Med Intensiva (Engl Ed), 2023, 47(1):16-22.
- [44] TERAN F. Resuscitative cardiopulmonary ultrasound and transesophageal echocardiography in the emergency department [J]. Emerg Med Clin North Am, 2019, 37(3):409-430.

(收稿日期: 2024-08-25 修回日期: 2024-12-18)

(编辑: 成 卓)