doi：10.7499/j.issn.1008-8830.2506154

新生儿/儿童重症超声专题

重症超声和无创心排出量监测在新生儿脓毒性休克液体复苏中的应用及比较研究：一项随机对照试验

李冰卉　梁振宇　陈玲玲　柳焯楠　许德博　孟琼

（暨南大学附属广东省第二人民医院儿科，广东广州　510220）

［摘要］**目的**　评估重症超声与无创心排出量监测（noninvasive cardiac output monitoring, NICOM）在指导新生儿脓毒性休克液体复苏中的应用效果。通过动态监测休克患儿对液体治疗的反应性，比较上述两种方法在新生儿液体复苏中的治疗效果及临床适用价值。**方法**　共纳入 51 例患儿，在开始液体复苏前被随机分配到接受重症超声或 NICOM 指导液体复苏治疗组。分析比较两组患儿发生脓毒性休克后 14 d 内的病死率和其他临床结局之间的差异。**结果**　两组患儿 14 d 内的病死率差异无统计学意义（$P>0.05$）。NICOM 组血管活性药物累积使用时间较重症超声组短（$P<0.05$），同时在 NICOM 指导液体复苏下的患儿在 72 h 内发生急性肾损伤、颅内出血的风险均较重症超声组降低（均 $P<0.05$）。但重症超声组患儿有创机械通气时间较 NICOM 组短（$P<0.05$），同时 72 h 内肺水肿的发生率也较 NICOM 组低（$P<0.05$）。然而，两组住院时间、达到乳酸<2 mmol/L 时间、心功能损害、肝功能损害的患儿比例差异无统计学意义（均 $P>0.05$）。**结论**　NICOM 指导下脓毒性休克患儿 72 h 内肾损伤及颅内出血的发生风险均低于重症超声组，而重症超声指导液体复苏可以减少患儿肺水肿的发生风险。重症超声和 NICOM 这两种简单、低成本、无创的临床工具均可以用来辅助指导新生儿脓毒性休克的液体复苏治疗。

［中国当代儿科杂志，2026，28（2）：161-168］

［关键词］脓毒性休克；液体复苏；重症超声；无创心排出量监测；新生儿

Application and comparative study of critical care ultrasound and noninvasive cardiac output monitoring in fluid resuscitation of neonatal septic shock: a randomized controlled trial

LI Bing-Hui, LIANG Zhen-Yu, CHEN Ling-Ling, LIU Zhuo-Nan, XU De-Bo, MENG Qiong. Department of Pediatrics, Guangdong Second Provincial General Hospital, Jinan University, Guangzhou 510220, China (Meng Q, Email: mengqiong1969@163.com)

Abstract: Objective　To evaluate the effectiveness of critical care ultrasound and noninvasive cardiac output monitoring (NICOM) in guiding fluid resuscitation in neonatal septic shock by dynamically assessing responsiveness to fluid therapy and comparing treatment outcomes and clinical applicability. **Methods**　A total of 51 neonates were enrolled. Before initiation of fluid resuscitation, patients were randomly assigned to receive fluid resuscitation guided by critical care ultrasound or by NICOM. Differences in 14-day mortality and other clinical outcomes after the onset of septic shock were compared between the two groups. **Results**　No significant difference was found in 14-day mortality between the critical care ultrasound group and the NICOM group ($P>0.05$). The cumulative duration of vasoactive drug use was shorter in the NICOM group than in the critical care ultrasound group ($P<0.05$). The incidences of acute kidney injury and intracranial hemorrhage within 72 hours in the NICOM group were lower than in the critical care ultrasound group (both $P<0.05$). However, the duration of invasive mechanical ventilation was shorter in the critical care ultrasound group than in the NICOM group ($P<0.05$), and the incidence of pulmonary edema within 72 hour was lower ($P<0.05$). No significant differences were observed between the two groups in length of hospital stay, time to achieve

［收稿日期］2025-06-29；［接受日期］2025-11-19

［基金项目］广东省自然科学基金项目（2022A1515012548）。

［作者简介］李冰卉，女，硕士研究生。

［通信作者］孟琼，女，主任医师。Email：mengqiong1969@163.com。

lactate <2 mmol/L, or the incidences of cardiac dysfunction and hepatic dysfunction (all P>0.05). **Conclusions** In neonates with septic shock, the risks of acute kidney injury and intracranial hemorrhage within 72 hours are lower under NICOM guidance than with critical care ultrasound, whereas fluid resuscitation guided by critical care ultrasound reduces the risk of pulmonary edema. Both critical care ultrasound and NICOM are simple, low-cost, noninvasive tools that can assist in guiding fluid resuscitation in neonatal septic shock.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2026, 28(2): 161-168]

Key words: Septic shock; Fluid resuscitation; Critical care ultrasound; Noninvasive cardiac output monitoring; Neonate

脓毒症是一种严重的感染性疾病，当机体对感染调控失调时，会出现全身炎症反应综合征、脓毒症和脓毒性休克，导致多器官功能障碍或死亡，是导致新生儿死亡和存在长期并发症的主要原因[1-2]。脓毒性休克管理的国际指南指出，液体复苏疗法在脓毒性休克治疗初期尤为重要[3]。液体疗法是脓毒症患儿血流动力学恢复稳定的基础，目的是恢复机体的循环灌注，增加心输出量（cardiac output, CO），最终增加氧气的输送，改善预后[4]。脓毒性休克早期积极进行液体复苏可以显著降低患儿的病死率[5]。但当出现液体复苏不足或液体超负荷时，会影响全身各脏器的血液灌注，导致患儿的机械通气时间延长，急性肾损伤和脑出血等疾病的发生率增加，甚至死亡风险增加[6-7]。因此在液体复苏过程中，动态评估机体对液体复苏的反应性非常重要。

无创心排出量监测（noninvasive cardiac output monitoring, NICOM）采用生物电抗技术，通过实时连续地监测心率、CO、每搏输出量（stroke volume, SV）、SV 变异（SV variation, SVV）、胸腔液体水平和全身血管阻力等指标，反映心脏功能、液体容量、全身血流和循环灌注状态，帮助指导液体复苏。超声技术具有无创、实时和可重复的特点，并且集结构和功能评估、问题目标导向于一体，定量与定性相结合，动态评估容量状态（心功能）、容量反应性［下腔静脉（inferior vena cava, IVC）直径］及器官功能变化（肺部超声），从而及时、准确地指导液体复苏及正性肌力药物的使用。关于床旁超声，我们的前期研究也表明，肺部超声（lung ultrasound, LUS）引导下的液体复苏可以缩短患儿住院时间，降低急性肾损伤和颅内出血的风险[8]。虽然关于使用床旁超声和无创设备进行客观血流动力学监测的文献越来越多，但既往的研究对象基本都是成人和儿童，用于评估新生儿休克治疗的相关文献很少。此外，它们在降低脓毒性休克新生儿病死率方面的益处尚不清楚。因此，我们做了一项随机对照试验，记录重症超声和 NICOM 在新生儿脓毒性休克液体复苏中的指导疗效，比较两者在指导新生儿液体复苏方面的有效性和差异性。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为随机对照试验，研究对象为 2023 年 10 月—2025 年 5 月在广东省第二人民医院新生儿重症监护病房诊断为脓毒性休克的新生儿。入选标准：（1）入院时不满 28 d；（2）新生儿脓毒性休克的诊断标准依据 2021 拯救脓毒症运动国际指南：儿童脓毒性休克和脓毒症相关器官功能障碍管理[3]；（3）对诊断为脓毒症休克的患儿，需按照诊疗常规进行液体复苏。排除标准：（1）合并神经源性休克、外伤及失血性休克；（2）症状性动脉导管未闭；（3）入院 24 h 内放弃治疗或死亡；（4）关键资料和信息缺失。

本试验已在广东省第二人民医院注册，研究方案和知情同意流程经医院机构伦理委员会批准，伦理批件号 2023-KY-KZ-168-04。患儿家属均签署知情同意书。

1.2 研究方法

使用 SPSS 26.0 统计软件生成随机数字，将参与者随机分配到重症超声组和 NICOM 组。最终符合纳入标准的 51 例患儿被随机分配到接受重症超声或 NICOM 指导脓毒性休克液体复苏治疗组，两组均参照相同的脓毒性休克国际指南进行治疗[9]。

重症超声组在开始治疗后立即进行下腔静脉及 LUS 检查，评估心肺情况。患儿取平卧位，心脏超声于剑突下使用 Philips HD5 型超声诊断仪 S5-1 探头评估 IVC 直径，以获取每位患儿的 IVC 吸气塌陷率（IVC collapsibility index, IVCCI）或 IVC 呼气扩张率（IVC distensibility index, IVCDI）。LUS 检查使用多普勒超声诊断仪 Philips CX50 进行，探头频率范围为 8~12 MHz[10-11]。采用肺两侧上前壁、下前壁、上侧壁、下侧壁、上后壁和下后壁 12 分

区法进行LUS检查，重点检查A线、B线（包括融合B线和致密B线）、肺水肿情况[12-13]。

NICOM组使用无创CO监测仪（美国，规格型号：Reliant型号），患儿取仰卧位，头放置在正中，两组传感器分别放置在左右对应位置，用相应的导线连接传感器监测模块，在治疗开始后立即实时、连续、动态地监测CO、SV、SVV、SV指数（stroke volume index, SVI）、心指数（cardiac index, CI）等血流动力学指标，根据这些指标综合评估患儿的心功能状态及对液体容量复苏的反应性，及时调整复苏液体量及血管活性药物的使用，同时使用LUS监测NICOM组肺水肿发生情况。

在初始液体复苏后，对重症超声组患儿IVC及肺部进行连续超声评估，结合超声监测结果调整补液量，并对使用血管活性药物的时间进行调整，当IVCCI>40%或IVCDI>18%时，对患儿进行液体复苏（静脉注射生理盐水10 mL/kg），每次液体快速注射后进行液体过负荷评估，并评估患儿的IVCCI或IVCDI，行心肺超声综合评估后决定是否需要继续补液。并根据心脏收缩功能，对强心药进行用药指导；结合B线计数，对复苏液体、利尿剂进行用药指导。

我们在液体复苏前开始使用NICOM监测患儿的心功能及循环灌注情况，通过监测心率、CO、CI、SVI等指标，评估患儿对液体的反应性。液体反应性主要是通过测量SVV来评估，SVV预测液体反应的阈值是10%，SVV变化>10%提示机体对液体复苏有反应，并结合临床表现、心率、尿量等其他指标，对患儿的液体复苏量及血管活性药物的使用做出合适的调整。两组试验的其他治疗标准相同，包括液体累计量的限制、糖皮质激素、机械通气和抗生素的使用等，最终目的是使休克得到缓解。

1.3 资料收集

收集符合条件的参与者的基线人口学信息和临床特征，包括性别、出生体重、年龄、围产期情况等。随访至开始治疗后的第14天，直至出院或死亡。主要研究结果是14 d内的病死率，次要结局包括住院时间、机械通气和血管活性药物持续使用时间、颅内出血和肾损伤等情况。

1.4 统计学分析

对于符合正态分布的计量资料，采用均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用独立样本t检验；不符合正态分布的计量资料以中位数（四分位数间距）［M（P_{25}，P_{75}）］表示，采用Mann-Whitney U检验进行组间比较。计数资料用例数或百分率（%）表示，组间比较采用χ^2检验或Fisher确切概率法。采用Log-rank检验比较组间患儿14 d累积生存率的差异。在Cox比例风险模型中调整了基线协变量，以计算风险比（hazard ratio, *HR*）及其95%可信区间。对住院时间和器官支持时间进行对数转换并使用线性回归分析。未对任何缺失信息的数据进行插补。采用R软件进行上述统计分析，检验水准均为双侧，P<0.05认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

共纳入51例患儿，并随机分为超声组（n=26）和NICOM组（n=25）。两组患儿的围产期情况及初始pH值、乳酸等实验室指标方面的比较差异无统计学意义（均P>0.05）。见表1。

2.2 主要结局对比

主要结局为14 d内的病死率。重症超声组有4例死亡（4/26，15%），NICOM组有3例死亡（3/25，12%），两组患儿第14天的病死率以及两组的住院时间差异无统计学意义（P>0.05）。重症超声组指导下的液体复苏能减少患儿持续有创机械通气的时间，而NICOM指导液体复苏组较重症超声组，能减少患儿血管活性药物的使用时间（均P<0.05）。见表2。

2.3 复苏效果情况结果对比

超声组患儿在液体复苏72 h内发生肺水肿的风险较NICOM组患儿低（P<0.05），而NICOM组患儿在72 h内急性肾损伤和颅内出血的发生率均较超声组低（均P<0.05）。但两组在乳酸水平达到<2 mmol/L的时间，以及心功能、肝功能损害的发生率方面，差异无统计学意义（均P>0.05）。见表3。

表 1　两组患儿基本情况对比

项目	超声组 (n=26)	NICOM 组 (n=25)	$\chi^2/t/Z$ 值	P 值
男性 [n(%)]	19(73)	17(68)	0.16	0.691
胎龄 ($\bar{x} \pm s$, 周)	30 ± 2.4	31 ± 3.2	1.28	0.211
出生体重 ($\bar{x} \pm s$, g)	1 523 ± 235	1 575 ± 379	0.59	0.561
日龄 [$M(P_{25}, P_{75})$, d]	9(8, 10)	8(7, 9)	−1.31	0.190
剖宫产 [n(%)]	9(35)	7(28)	0.26	0.611
胎膜早破 [n(%)]	11(42)	9(36)	0.21	0.645
产后发热 [n(%)]	7(27)	6(24)	0.06	0.811
产前使用激素 [n(%)]	5(19)	4(16)	–	0.999
产时使用抗生素 [n(%)]	5(19)	2(8)	–	0.426
EOS [n(%)]	4(15)	3(12)	–	1.000
LOS [n(%)]	22(85)	22(88)	0	0.955
肺炎 [n(%)]	4(15)	3(12)	–	1.000
脐炎 [n(%)]	1(4)	2(8)	–	0.604
NEC [n(%)]	1(4)	1(4)	–	1.000
泌尿道感染 [n(%)]	0(0)	1(4)	–	1.000
导管相关感染 [n(%)]	1(4)	0(0)	–	1.000
CRT>2 s [n(%)]	12(46)	11(44)	0.02	0.877
PH 值 ($\bar{x} \pm s$)	7.3 ± 0.3	7.2 ± 0.3	1.19	0.240
乳酸值 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	8.2 ± 2.6	7.7 ± 3.4	0.59	0.556
SpO_2 ($\bar{x} \pm s$, %)	92 ± 11	91 ± 11	0.33	0.747
收缩压 [($M(P_{25}, P_{75})$, mmHg]	52(31, 61)	51(33, 58)	0.15	0.880
心率 [$M(P_{25}, P_{75})$, 次/min]	156(130, 182)	163(142, 194)	0.55	0.582
白细胞计数 [($M(P_{25}, P_{75})$, $\times 10^9$/L]	6(4, 26)	8(5, 28)	0.35	0.726
血小板计数 [($M(P_{25}, P_{75})$, $\times 10^9$/L]	103(82, 160)	112(79, 157)	0.40	0.689
C-反应蛋白 [($M(P_{25}, P_{75})$, mg/L]	75(38, 106)	69(42, 117)	0.20	0.841
呼吸支持 [n(%)]				
常压氧疗	2(8)	1(4)	–	1.000
无创	3(12)	3(12)	–	1.000
有创	20(77)	21(84)	0.08	0.777
无	1(4)	0(0)	–	1.000

注：［EOS］早发型败血症；［LOS］晚发型败血症；［CRT］毛细血管再充盈时间；［SpO_2］氧饱和度。

表 2　主要结局及治疗情况对比

项目	超声组 (n=26)	NICOM 组 (n=25)	χ^2/Z 值	P 值
14 d 病死率 [n(%)]	4(15)	3(12)	–	1.000
MODS [n(%)]	1(4)	1(4)	–	1.000
呼吸衰竭 [n(%)]	1(4)	1(4)	–	1.000
CLS [n(%)]	1(4)	1(4)	–	1.000
心律失常 [n(%)]	1(4)	0(0)	–	1.000
住院时间 [$M(P_{25}, P_{75})$, d]	34(23, 41)	30(25, 43)	1.04	0.298
使用血管活性药物 [n(%)]	23(89)	22(88)	0.15	0.701
血管活性药物使用时间 [$M(P_{25}, P_{75})$, h]	46(33, 57)	39(30, 45)	2.01	0.044
有创机械通气 [n(%)]	24(92)	22(88)	<0.001	0.963
有创机械通气使用时间 [$M(P_{25}, P_{75})$, h]	61(57, 76)	69(62, 89)	1.98	0.048

注：［MODS］多系统器官功能障碍；［CLS］毛细血管渗漏综合征。

表3　两组液体复苏治疗效果情况对比

项目	超声组 (n=26)	NICOM组 (n=25)	χ^2/Z值	P值
乳酸<2 mmo/L的时间 [$M(P_{25}, P_{75})$, h]	47(43, 56)	49(42, 59)	–0.32	0.749
复苏后前6 h内 [n(%)]				
肾损伤	3(12)	2(8)	–	1.000
颅内出血	2(8)	1(4)	–	1.000
心功能损害	1(4)	1(4)	–	1.000
肝功能损害	1(4)	1(4)	–	1.000
肺水肿	0(0)	1(4)	–	1.000
复苏后24 h内 [n(%)]				
肾损伤	6(23)	4(16)	–	0.734
颅内出血	4(15)	2(8)	–	0.683
心功能损害	4(15)	3(12)	–	1.000
肝功能损害	3(12)	3(12)	–	1.000
肺水肿	3(12)	8(32)	–	0.099
复苏后48 h内 [n(%)]				
肾损伤	11(42)	6(24)	1.92	0.166
颅内出血	9(35)	4(16)	–	0.130
心功能损害	6(23)	5(20)	0.07	0.789
肝功能损害	5(19)	4(16)	–	0.999
肺水肿	3(12)	9(36)	–	0.047
复苏后72 h内 [n(%)]				
肾损伤	13(50)	5(20)	5.03	0.025
颅内出血	11(42)	4(16)	–	0.048
心功能损害	6(23)	6(24)	0.01	0.938
肝功能损害	7(27)	6(24)	0.06	0.811
肺水肿	3(12)	10(40)	–	0.034

3　讨论

新生儿脓毒性休克在新生儿重症监护病房中的发生率较高，其病死率高达40%[12]，是导致新生儿死亡的主要原因之一。脓毒性休克管理和治疗国际指南指出，除了早期给予抗生素控制感染、合理使用血管活性药物外，还应尽早在血流动力学指导下进行液体复苏。液体复苏在脓毒性休克初始治疗阶段中至关重要，是治疗脓毒性休克的基石[3]，有效的液体复苏能显著改善患儿的预后，降低不良结局的发生风险。近年来，临床研究逐渐强调了床旁超声及NICOM监测在新生儿脓毒性休克液体复苏中的指导作用。

以往我们通过监测患儿的心率、血压、尿量、中心静脉压、血氧饱和度、毛细血管再充盈时间及IVC直径等静态指标来评估机体对液体复苏的反应性，但国际指南及其他临床研究指出，这些单一静态指标在监测容量反应性方面具有局限性[14]，而动态指标利用机械通气诱导的心肺交互作用来评估患儿容量状态，在液体复苏方面更具有指导意义[15-16]。随着科学技术的发展，床旁超声及客观血流动力学参数监测已被证明可以可靠地预测儿童的液体反应性[17-18]，有效指导脓毒性休克的液体复苏。

超声心动图和LUS在内的床旁超声已被用于评估脓毒性休克液体复苏的效果和指导血流动力学的管理[19-20]。Patel等[21]研究发现，肺水含量较多、发生肺水肿的患儿后期机械通气时间较其他患儿更长，发展为支气管肺发育不良的风险也更高。本研究发现，重症超声指导的液体复苏治疗组的机械通气时间较NICOM组短，且肺水肿发生率更低，可能得益于其对心肺功能的综合评估能力。重症超声不仅能评估心脏收缩功能，还能直接观察肺水分布和IVC变异度，有助于早期识别容量过负荷导致的肺血管外含水量增加[22]。当发生脓毒性休克时，早期心功能不全常表现为左心室

收缩功能下降，此时LUS中B线可能会增多[23]。出现融合B线或致密B线时，提示肺水含量增多[24-25]，是发生肺水肿重要的早期预警信号。因此通过监测IVC、LUS B线变化可以用于评估患儿对液体的反应性，早期识别并调整液体复苏量，使肺水肿的发生风险减少，进一步降低机械通气需求[26-27]，以及超声实时监测下能更精准地判断容量状态和肺血管通透性相关情况，使得能够更早调整液体策略，避免容量过负荷、肺泡-毛细血管屏障损伤导致的肺水肿，进而降低机械通气需求及相关肺损伤。这与欧洲学会的LUS调查研究结果一致，即新生儿LUS监测能降低肺水肿的发生率，以及超声动态监测可缩短机械通气时间[28]。同时，超声的动态监测可能有助于识别早期心功能不全，从而优化正性肌力药物的使用，改善氧合和通气效率，这得益于超声对“容量-心功能-肺水”的动态联动评估，避免过度液体负荷加重心脏负担，当心功能改善后，心脏收缩力增强可促进肺血流重新分布，优化通气/血流比，进一步减轻低氧血症，缩短机械通气时间[29-30]。

脓毒性休克会加重患儿颅内出血、肾损伤，甚至是全身多脏器官损伤的风险[31-32]，液体复苏时的液体量不足或液体超负荷也会进一步加重患儿颅内出血、肾损伤，甚至是死亡的风险[33-34]。但我们的研究发现，NICOM组患儿在液体复苏后72 h内发生急性肾损伤、颅内出血的风险均较重症超声组降低，同时血管活性药物使用时间也缩短。这可能与NICOM通过实时评估CO、SVV等指标[35-36]，更精准地评估心功能，更好地指导容量复苏，避免容量过负荷相关[17]。急性肾损伤的发生与肾脏灌注不足或容量过载导致的肾间质水肿密切相关，而NICOM对容量反应性的动态监测可能优化液体复苏的时机与剂量，对于新生儿，尤其是早产儿，肾脏血管自动调节功能尚未完善，过度液体负荷可能增加肾小管损伤风险，而NICOM的动态监测或可优化肾脏灌注压与肾小球滤过率的平衡，从而减少了肾脏缺血-再灌注损伤或容量超负荷的风险[37]。而颅内出血风险的降低则可能与NICOM指导下血流动力学稳定性提高有关，脓毒性休克时血压剧烈波动可导致脑血管压力被动传导，而新生儿（尤其是早产儿）脑血管自主调节功能尚未成熟，脑血流易受全身血流动力学波动影响，尤其是在生发基质区易引发出血。NICOM通过连续监测CO及全身血管阻力，帮助临床及时调整血管活性药物剂量及调整液体量，避免血压剧烈波动导致脑血管压力震荡，稳定脑灌注压，使血压的波动幅度减少，从而降低颅内血管破裂的风险，尤其对早产儿脆弱的生发基质-脑室内出血具有保护意义[38]。此外，NICOM组血管活性药物使用时间更短，提示在NICOM指导下可能更早实现血流动力学的稳定，减少血管活性药物的依赖。

两组14 d病死率差异无统计学意义，重症超声和NICOM均是指导新生儿脓毒性休克液体复苏的可行方法。然而本研究存在一定局限性，本研究为单中心研究，样本量较小，可能导致统计效能不足，结果外推性受限。且观察时间较短，缺乏对新生儿远期预后的评估，也未进行亚组分析和充分的成本效益分析。

因样本量有限使得本研究无法排除两种技术在特殊亚群（如极低出生体重儿、先天性心脏病患儿）中的效果差异，未来研究可按胎龄、休克严重程度等进行亚组分析，进行多中心研究，以明确技术适用边界。该研究前景广阔，未来可精细化推广两种技术的临床应用，根据不同临床场景选择适配方式，以及探索联合监测模式以提高液体复苏的精准度。如果重症超声与NICOM进行联合监测，可互补不足，超声提供心脏结构与肺水的可视化信息，NICOM补充血流动力学参数的连续性动态数据，这种“结构-功能-血流”的综合评估，可能更有助于指导新生儿脓毒性休克的液体复苏，但还需要更大规模、多中心的临床研究来进一步证明两种方法在指导新生儿脓毒性休克液体复苏方面的有效性，最终帮助临床医生避免在治疗过程中出现液体量不足或液体超负荷，以制定最佳的新生儿脓毒性休克液体管理计划，改善脓毒性休克新生儿的生存预后和提高生存质量。

作者贡献声明：李冰卉负责文献收集及文章撰写；陈玲玲、柳焯楠、许德博负责数据收集；孟琼、梁振宇负责文章构思及修改。

利益冲突声明：所有作者均声明无利益冲突。

［参　考　文　献］

[1] Fleischmann C, Reichert F, Cassini A, et al. Global incidence and mortality of neonatal sepsis: a systematic review and meta-

analysis[J]. Arch Dis Child, 2021, 106(8): 745-752. PMID: 33483376. PMCID: PMC8311109. DOI: 10.1136/archdischild-2020-320217.

[2] Milton R, Gillespie D, Dyer C, et al. Neonatal sepsis and mortality in low-income and middle-income countries from a facility-based birth cohort: an international multisite prospective observational study[J]. Lancet Glob Health, 2022, 10(5): e661-e672. PMID: 35427523. PMCID: PMC9023753. DOI: 10.1016/S2214-109X(22)00043-2.

[3] Evans L, Rhodes A, Alhazzani W, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock 2021[J]. Intensive Care Med, 2021, 47(11): 1181-1247. PMID: 34599691. PMCID: PMC8486643. DOI: 10.1007/s00134-021-06506-y.

[4] Marik P, Bellomo R. A rational approach to fluid therapy in sepsis[J]. Br J Anaesth, 2016, 116(3): 339-349. PMID: 26507493. DOI: 10.1093/bja/aev349.

[5] Lee SJ, Ramar K, Park JG, et al. Increased fluid administration in the first three hours of sepsis resuscitation is associated with reduced mortality: a retrospective cohort study[J]. Chest, 2014, 146(4): 908-915. PMID: 24853382. PMCID: PMC4188147. DOI: 10.1378/chest.13-2702.

[6] Tigabu BM, Davari M, Kebriaeezadeh A, et al. Fluid volume, fluid balance and patient outcome in severe sepsis and septic shock: a systematic review[J]. J Crit Care, 2018, 48: 153-159. PMID: 30199843. DOI: 10.1016/j.jcrc.2018.08.018.

[7] Moschopoulos CD, Dimopoulou D, Dimopoulou A, et al. New insights into the fluid management in patients with septic shock [J]. Medicina (Kaunas), 2023, 59(6): 1047. PMID: 37374251. PMCID: PMC10301281. DOI: 10.3390/medicina59061047.

[8] Huang D, You C, Mai X, et al. Lung ultrasound-guided fluid resuscitation in neonatal septic shock: a randomized controlled trial[J]. Eur J Pediatr, 2024, 183(3): 1255-1263. PMID: 38095714. DOI: 10.1007/s00431-023-05371-9.

[9] Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock: 2016[J]. Intensive Care Med, 2017, 43(3): 304-377. PMID: 28101605. DOI: 10.1007/s00134-017-4683-6.

[10] Aichhorn L, Küng E, Habrina L, et al. The role of lung ultrasound in the management of the critically ill neonate: a narrative review and practical guide[J]. Children (Basel), 2021, 8 (8): 628. PMID: 34438519. PMCID: PMC8391155. DOI: 10.3390/children8080628.

[11] Brat R, Yousef N, Klifa R, et al. Lung ultrasonography score to evaluate oxygenation and surfactant need in neonates treated with continuous positive airway pressure[J]. JAMA Pediatr, 2015, 169(8): e151797. PMID: 26237465. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2015.1797.

[12] Ghanem M, Zozaya C, Ibrahim J, et al. Correlation between early postnatal body weight changes and lung ultrasound scores as predictors of bronchopulmonary dysplasia in preterm infants: a secondary analysis of a prospective study[J]. Eur J Pediatr, 2024, 183(5): 2123-2130. PMID: 38363393. DOI: 10.1007/s00431-024-05464-z.

[13] Martini S, Gatelli IF, Vitelli O, et al. Prediction of respiratory distress severity and bronchopulmonary dysplasia by lung ultrasounds and transthoracic electrical bioimpedance[J]. Eur J Pediatr, 2023, 182(3): 1039-1047. PMID: 36562832. DOI: 10.1007/s00431-022-04764-6.

[14] Renner J, Broch O, Gruenewald M, et al. Non-invasive prediction of fluid responsiveness in infants using pleth variability index[J]. Anaesthesia, 2011, 66(7): 582-589. PMID: 21539529. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2011.06715.x.

[15] Renner J, Broch O, Duetschke P, et al. Prediction of fluid responsiveness in infants and neonates undergoing congenital heart surgery[J]. Br J Anaesth, 2012, 108(1): 108-115. PMID: 22113930. DOI: 10.1093/bja/aer371.

[16] Stricker PA, Lin EE, Fiadjoe JE, et al. Evaluation of central venous pressure monitoring in children undergoing craniofacial reconstruction surgery[J]. Anesth Analg, 2013, 116(2): 411-419. PMID: 23302968. DOI: 10.1213/ANE.0b013e31827008e6.

[17] Awadhare P, Patel R, McCallin T, et al. Non-invasive cardiac output monitoring and assessment of fluid responsiveness in children with shock in the emergency department[J]. Front Pediatr, 2022, 10: 857106. PMID: 35463892. PMCID: PMC9021702. DOI: 10.3389/fped.2022.857106.

[18] Ablordeppey EA, Zhao A, Ruggeri J, et al. Does point-of-care ultrasound affect fluid resuscitation volume in patients with septic shock: a retrospective review[J]. Emerg Med Int, 2024, 2024: 5675066. PMID: 38742136. PMCID: PMC11090677. DOI: 10.1155/2024/5675066.

[19] Musikatavorn K, Plitawanon P, Lumlertgul S, et al. Randomized controlled trial of ultrasound-guided fluid resuscitation of sepsis-induced hypoperfusion and septic shock[J]. West J Emerg Med, 2021, 22(2): 369-378. PMID: 33856325. PMCID: PMC7972359. DOI: 10.5811/westjem.2020.11.48571.

[20] Sweeney DA, Wiley BM. Integrated multiorgan bedside ultrasound for the diagnosis and management of sepsis and septic shock[J]. Semin Respir Crit Care Med, 2021, 42(5): 641-649. PMID: 34544181. DOI: 10.1055/s-0041-1733896.

[21] Patel J, Weinberger B, Pulju M, et al. Lung ultrasound assessment of regional distribution of pulmonary edema and atelectasis in infants with evolving bronchopulmonary dysplasia [J]. Diagnostics (Basel), 2024, 14(20): 2341. PMID: 39451663. PMCID: PMC11506572. DOI: 10.3390/diagnostics14202341.

[22] Zhang H, Jiang J, Dai M, et al. Predictive accuracy of changes in the inferior vena cava diameter for predicting fluid responsiveness in patients with sepsis: a systematic review and meta-analysis[J]. PLoS One, 2025, 20(5): e0310462. PMID: 40344560. PMCID: PMC12064207. DOI: 10.1371/journal.pone.0310462.

[23] Singh Y, Dauengauer-Kirliene S, Yousef N. Setting the standards: neonatal lung ultrasound in clinical practice[J]. Diagnostics (Basel), 2024, 14(13): 1413. PMID: 39001302. PMCID: PMC11241677. DOI: 10.3390/diagnostics14131413.

[24] Popa AE, Popescu SD, Tecuci A, et al. Lung ultrasound and

ultrasound score: a useful tool in neonatal intensive care units for the diagnosis and therapeutic management of newborns with respiratory pathology[J]. Cureus, 2024, 16(8): e66064. PMID: 39224711. PMCID: PMC11367685. DOI: 10.7759/cureus.66064.

[25] Alonso-Ojembarrena A, Gregorio-Hernández R, Raimondi F. Neonatal point-of-care lung ultrasound: what should be known and done out of the NICU?[J]. Eur J Pediatr, 2024, 183(4): 1555-1565. PMID: 38315204. DOI: 10.1007/s00431-023-05375-5.

[26] Ghosh S, Padhi R, Sahu S, et al. Use of inferior vena cava guided fluid therapy in the treatment of septic shock: a randomised controlled trial[J]. J Infect Dev Ctries, 2024, 18(1): 75-81. PMID: 38377091. DOI: 10.3855/jidc.18489.

[27] 庄燕, 戴林峰, 程璐, 等. 床旁超声下腔静脉直径联合肺部超声B线积分指导感染性休克患者液体复苏的临床研究[J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32(11): 1356-1360. PMID: 33463497. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200611-00463.

[28] Alonso-Ojembarrena A, Ehrhardt H, Cetinkaya M, et al. Use of neonatal lung ultrasound in European neonatal units: a survey by the European Society of Paediatric Research[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 2024, 109(6): 660-664. PMID: 38604653. DOI: 10.1136/archdischild-2024-327068.

[29] Polyzogopoulou E, Velliou M, Verras C, et al. Point-of-care ultrasound: a multimodal tool for the management of sepsis in the emergency department[J]. Medicina (Kaunas), 2023, 59(6): 1180. PMID: 37374384. PMCID: PMC10303071. DOI: 10.3390/medicina59061180.

[30] Chen SW, Fu W, Liu J, et al. Routine application of lung ultrasonography in the neonatal intensive care unit[J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(2): e5826. PMID: 28079811. PMCID: PMC5266173. DOI: 10.1097/MD.0000000000005826.

[31] Vincent K, Rutledge A, Laney Z, et al. Recurrent neonatal acute kidney injury: incidence, predictors, and outcomes in the neonatal intensive care unit[J]. J Perinatol, 2024, 44(3): 428-433. PMID: 37932405. DOI: 10.1038/s41372-023-01800-7.

[32] Ballabh P, de Vries LS. White matter injury in infants with intraventricular haemorrhage: mechanisms and therapies[J]. Nat Rev Neurol, 2021, 17(4): 199-214. PMID: 33504979. PMCID: PMC8880688. DOI: 10.1038/s41582-020-00447-8.

[33] Weaver LJ, Travers CP, Ambalavanan N, et al. Neonatal fluid overload-ignorance is no longer bliss[J]. Pediatr Nephrol, 2023, 38(1): 47-60. PMID: 35348902. PMCID: PMC10578312. DOI: 10.1007/s00467-022-05514-4.

[34] Al Gharaibeh FN, Mohan S, Santoro MA, et al. Acute kidney injury and early fluid load in a retrospective cohort of neonatal sepsis[J]. Pediatr Nephrol, 2023, 38(6): 1971-1977. PMID: 36525082. DOI: 10.1007/s00467-022-05840-7.

[35] Zakariás D, Marics G, Kovács K, et al. Clinical application of the electric cardiometry based non-invasive ICON® hemodynamic monitor[J]. Orv Hetil, 2018, 159(44): 1775-1781. PMID: 30392409. DOI: 10.1556/650.2018.31225.

[36] Walker SB, Winters JM, Schauer JM, et al. Performance of tools and measures to predict fluid responsiveness in pediatric shock and critical illness: a systematic review and meta-analysis[J]. Pediatr Crit Care Med, 2024, 25(1): 24-36. PMID: 37462437. PMCID: PMC10794582. DOI: 10.1097/PCC.0000000000003320.

[37] Lee JH, Kim EH, Jang YE, et al. Fluid responsiveness in the pediatric population[J]. Korean J Anesthesiol, 2019, 72(5): 429-440. PMID: 31591858. PMCID: PMC6781210. DOI: 10.4097/kja.19305.

[38] Ruste M, Jacquet-Lagrèze M, Fellahi JL. Advantages and limitations of noninvasive devices for cardiac output monitoring: a literature review[J]. Curr Opin Crit Care, 2023, 29(3): 259-267. PMID: 37078642. DOI: 10.1097/MCC.0000000000001045.

（本文编辑：张辉）

（©《中国当代儿科杂志》编辑部，开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议）
（© Editorial Office of *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*. OA under CC BY-NC-ND 4.0 license）