

重症超声联合 Pcv-aCO₂ 检查指导脓毒性休克患者液体复苏的临床分析

姜芳荣, 沈婷, 吴立峰

【关键词】 脓毒性休克; 重症超声; 液体复苏; 中心静脉-动脉血二氧化碳分压差

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.03.018

【中图分类号】 R631 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-0800(2025)03-0285-04

脓毒症 (sepsis) 是一种由感染引发的免疫失调所致的危及生命的急性器官功能衰竭综合征^[1], 可发展为脓毒性休克。全球范围内, 脓毒性休克的致死率可达到 30%~60%^[2]。液体复苏的有效性是治疗脓毒症的关键。经典的早期目标导向治疗 (early goal-directed therapy, EGDT) 依赖中心静脉压 (central venous pressure, CVP) 评估心脏前负荷指导液体复苏, 但 CVP 受胸腹腔压力、右心功能等因素影响, 并非理想的评估指标。《拯救脓毒症运动: 2021 年国际脓毒症和脓毒性休克管理指南》^[3] 提议, 在评估脓毒症或脓毒性休克患者液体复苏时, 应以动态指标为主, 而不仅仅依赖于体格检查和静态参数。床旁重症超声具备快速、无创、可重复等优势, 能实时监测脓毒症休克患者的下腔静脉 (inferior vena cava, IVC)。下腔静脉变异度 (inferior vena cava variability, IVCV) 可评估容量状态和容量反应性, 并动态观察血流动力学变化以指导液体复苏。已有研究表明重症超声在改善脓症患者预后方面是有效的^[4-5]。中心静脉-动脉血二氧化碳分压差 (central venous-arterial blood carbon-dioxide partial pressure difference, Pcv-aCO₂) 是容量管理的辅助参数之一, 能够实时监控微循环变化, 进一步优化液体复苏策略。本研究通过重症超声结合 Pcv-aCO₂ 指导液体复苏, 并与传统 EGDT 方法的复苏效果进行对比, 为脓毒性休克患者制定更优化的液体复苏方案, 现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2023 年 1 月至 2024 年 3 月余姚市人民医院收治的 60 例脓毒性休克患者, 采用随机数字表法分为观察组与对照组, 每组 30 例。纳入标准: (1) 符合《中国严重脓毒症/脓毒性休克治疗指南 (2018)》中脓毒性休克的诊断标准^[6]; (2) 年龄 18~79 岁; (3) 需要机械通气, 且存在明确的感染灶者; (4) 临床资料完整。排除标准: (1) 心源性休克、低容量性休克及梗阻性休克者; (2) 因腹腔内高压等原因无法进行超声检查以获取 IVC 宽度者; (3) 妊娠期或哺乳期女性。本研究获得余姚市人民医院伦理委员会批准 (批准文号: 2023-05-026), 所有研究对象均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.2 方法 入选患者均接受重症监护室综合治疗, 予右颈内静脉置入双腔导管, 连接心电监护仪。并给予抗感染、监测血糖、纠正水电解质和酸碱平衡, 以及血管活性药物应用等。

1.2.1 对照组 按 EGDT 方案指导液体复苏, 在达到预定的复苏目标后停止补液。复苏目标: (1) 患者机械通气下 CVP 达 12~15 cmH₂O (1 cmH₂O ≈ 98 Pa); (2) 通过应用血管活性药物去甲肾上腺素药物, 使平均动脉压 (MAP) ≥ 65 mmHg (1 mmHg ≈ 0.133 kPa); (3) 平均尿量 (UO) ≥ 0.5 ml · kg⁻¹ · h⁻¹; (4) 中心静脉血氧饱和度 (ScvO₂) ≥ 70%。

1.2.2 观察组 依据重症超声联合 Pcv-aCO₂ 结合指导液体管理。选择美国索诺声超声仪由接受过重症超声培训的同一资深医师进行操作, 首先选择 1~5 MHz 超声探头在剑突下获得心脏四腔图像, 然后逆时针旋转探头获取 IVC 切面, 测量距右心房 2

基金项目: 余姚市科技计划项目 (2023-05-026)

作者单位: 315400 浙江省余姚, 余姚市人民医院

通信作者: 沈婷, Email: 623035625@qq.com

~ 3 cm 处测量 IVC 最大直径 (IVC_{max}) 和最小直径 (IVC_{min}), 并计算 IVCV。IVCV=(IVC_{max}-IVC_{min})/IVC_{max}×100%。同时, 分别取中心静脉和动脉血液样本, 进行血气分析, 测定中心静脉二氧化碳分压 (PcvCO₂)、动脉血二氧化碳分压 (PaCO₂), 并计 Pcv-aCO₂=PcvCO₂-PaCO₂。结合 IVC、IVCV 和 Pcv-aCO₂ 指标, 综合评估患者容量状态, 进一步指导液体复苏。当 IVCV > 18% 时, 说明容量反应性良好^[7]; 机械通气下, 若 IVC 直径 < 1.5 cm 则说明容量不足; 若 IVC 直径 > 2 cm 且 IVC 固定、Pcv-aCO₂ < 6 mmHg 且 IVCV < 18%^[8-9], 则提示可能存在容量过负荷。复苏时需动态监测 IVC 直径、IVCV 和 Pcv-aCO₂ 变化, 实时调节补液剂量和速度精准指导液体复苏。

1.3 观察指标 (1)一般资料: 患者性别、年龄、体质指数(BMI)、急性生理与慢性健康II(APACHE II)评分、序贯器官衰竭评估(SOFA)评分、左心室射血分数(LVEF)及感染部位分布。(2)血流动力学参数: 记录患者复苏前、复苏 6 和 24 h 后的心率 (HR)、MAP、CVP、ScvO₂ 和血乳酸(Lac)水平。(3)血清炎症性指标: 分别在复苏前及复苏 24 h 后采集静脉血 5 ml, 使用 3 000 r/min 的离心速度离心 10 min, 取上清液。利用酶联免疫吸附法 (ELISA) 检测肿瘤坏死因子-α (TNF-α)、白介素-6(IL-6)、C 反应蛋白 (CRP) 浓度, 通过免疫荧光法测定降钙素原 (PCT) 水平。(4)液体复苏相关指标: 记录两组复苏 6、24 和 48 h 去甲肾上腺素的使用剂量、尿量及液体正平衡量。(5)复苏疗效指标: 3、6 h 复苏达标率, 重症监护病房 (ICU) 住院时间, 机械通气时间, 肺水肿发生率及 28 d 病死率。

1.4 统计方法 利用 SPSS 19.0 统计软件对数据进行分析。符合正态分布的计量数据用均数±标准差表示, 组间比较采用 *t* 检验, 多个时间点比较采用方差分析; 不符合正态分布的计量数据以 *M(Q₁, Q₃)* 表示, 组间比较采用秩和检验; 计数资料以例数 (百分比) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验或确切概率法。 *P* < 0.05 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较 两组性别、年龄、BMI、APACHE II 评分、SOFA 评分、LVEF 及感染部位分

布差异均无统计学意义 (均 *P* > 0.05), 见表 1。

2.2 两组血流动力学指标比较 复苏前, 两组 HR、MAP、CVP、ScvO₂ 及 Lac 水平均差异均无统计学意义 (均 *P* > 0.05); 复苏 6、24 h 后, 两组 MAP、CVP 和 ScvO₂ 均有所升高, 而 HR、Lac 水平均有所下降 (均 *P* < 0.05); 与复苏 6 h 相比, 复苏 24 h 后 MAP、CVP 和 ScvO₂ 升高更加显著, HR、Lac 水平降低较明显 (均 *P* < 0.05); 观察组复苏后 MAP、CVP 和 ScvO₂ 水平均高于对照组, 而 HR 及 Lac 水平均低于对照组 (均 *P* < 0.05), 见表 2。

2.3 两组血清炎症性指标比较 复苏前, 两组 CRP、IL-6、TNF-α 和 PCT 等炎症因子差异均无统计学意义 (均 *P* > 0.05); 与复苏前比较, 两组复苏后 CRP、IL-6、TNF-α 和 PCT 水平均有较大幅度下降, 且观察组下降更明显 (均 *P* < 0.05), 见表 3。

2.4 两组不同时间段血管活性药物用量、尿量及液体正平衡量比较 两组复苏 6、24 与 48 h 后, 尿量和液体正平衡量均增多 (均 *P* < 0.05); 与复苏 6 h 相比, 两组 24、48 h 后去甲肾上腺素用药剂量减少 (均 *P* < 0.05); 观察组复苏 24、48 h 尿量显著高于对照组, 液体正平衡量及血管活性药物使用量显著低于对照组 (均 *P* < 0.05), 见表 4。

2.5 两组复苏疗效比较 与对照组比较, 观察组 ICU 住院时间、机械通气时间及肺水肿发生率有所下降, 3 h 复苏目标达标率显著提高 (均 *P* < 0.05); 两组 6 h 复苏达标率与 28 d 病死率差异均无统计学意义 (均 *P* > 0.05), 见表 5。

表 1 两组脓毒性休克患者一般资料比较

| 项目 | 对照组 (n=30) | 观察组 (n=30) | <i>t</i> (χ^2) 值 | <i>P</i> 值 |
|--------------------------|------------|------------|-------------------------|------------|
| 年龄 (岁) | 66.1±13.6 | 67.9±13.7 | 0.52 | > 0.05 |
| 男/女 (例) | 20/10 | 18/12 | (0.29) | > 0.05 |
| BMI (kg/m ²) | 21.50±2.21 | 21.04±2.56 | 0.74 | > 0.05 |
| APACHE II 评分 (分) | 21.47±4.16 | 22.40±4.26 | 0.86 | > 0.05 |
| SOFA 评分 (分) | 11.03±1.97 | 10.40±1.75 | 1.31 | > 0.05 |
| LVEF (%) | 56.93±3.75 | 57.27±3.39 | 0.36 | > 0.05 |
| 感染灶 [例 (%)] | | | | |
| 腹腔 | 11 (36.66) | 13 (43.33) | (0.28) | > 0.05 |
| 泌尿系 | 6 (20.00) | 8 (26.66) | (0.37) | > 0.05 |
| 肺部 | 8 (26.66) | 5 (16.66) | (0.88) | > 0.05 |
| 皮肤软组织 | 3 (10.00) | 2 (6.66) | — | > 0.05 |
| 其他 | 2 (6.66) | 2 (6.66) | — | > 0.05 |

注: 一为用确切概率法, BMI 为体质指数, APACHE II 评分为急性生理与慢性健康 II 评分, SOFA 评分为序贯器官衰竭评估评分, LVEF 为左心室射血分数

表2 两组脓毒性休克患者复苏前后血流动力学指标比较

| 组别 | 时间 | HR(次/min) | MAP(mmHg) | CVP(mmHg) | ScvO ₂ (%) | Lac(mmol/L) |
|-----------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 对照组(n=30) | 复苏前 | 113.57±13.72 | 61.90±5.41 | 6.77±1.25 | 58.70±2.87 | 5.75±1.04 |
| | 复苏 6 h | 97.63±6.28 ^a | 76.67±5.77 ^a | 12.07±1.57 ^a | 65.27±2.90 ^a | 3.82±0.62 ^a |
| | 复苏 24 h | 89.97±4.82 ^{ab} | 84.13±4.32 ^{ab} | 13.57±2.40 ^{ab} | 73.90±1.97 ^{ab} | 2.59±0.40 ^{ab} |
| 观察组(n=30) | 复苏前 | 112.57±12.22 | 63.07±5.72 | 6.97±1.29 | 59.90±2.88 | 5.29±1.23 |
| | 复苏 6 h | 92.63±6.75 ^{ac} | 80.10±4.77 ^{ac} | 13.47±1.30 ^{ac} | 69.00±2.73 ^{ac} | 3.24±0.58 ^{ac} |
| | 复苏 24 h | 83.77±6.29 ^{abc} | 88.27±4.60 ^{abc} | 14.83±2.19 ^{abc} | 78.97±2.14 ^{abc} | 2.19±0.39 ^{abc} |

注:与复苏前比较,at≥8.73,均P<0.05;与复苏6h比较,bf≥8.09,均P<0.05;与对照组相比,ct≥2.13,均P<0.05。HR为心率,MAP为平均动脉压,CVP为中心静脉压,ScvO₂为中心静脉血氧饱和度,Lac为血乳酸,1mmHg≈0.133kPa

表3 两组脓毒性休克患者血清炎症指标比较

| 组别 | 例数 | CRP(mg/L) | | IL-6(pg/ml) | | TNF-α(pg/ml) | | PCT(ng/L) | |
|-----|----|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------------------|
| | | 复苏前 | 复苏后 | 复苏前 | 复苏后 | 复苏前 | 复苏后 | 复苏前 | 复苏后 |
| 对照组 | 30 | 167.77±15.17 | 112.07±10.5 ^a | 165.24±12.47 | 108.57±9.55 ^a | 302.82±15.85 | 222.50±19.48 ^a | 106.63±18.31 | 34.63±5.67 ^a |
| 观察组 | 30 | 169.83±12.97 | 94.23±7.94 ^a | 167.73±6.74 | 87.41±8.41 ^a | 298.32±16.86 | 184.75±14.17 ^a | 108.43±14.33 | 28.37±12.10 ^a |
| t值 | | 0.57 | 7.54 | 0.96 | 9.11 | 1.07 | 8.59 | 0.42 | 2.57 |
| P值 | | >0.05 | <0.05 | >0.05 | <0.05 | >0.05 | <0.05 | >0.05 | <0.05 |

注:与复苏前比较,at≥26.29,均P<0.05。TNF-α为肿瘤坏死因子-α,IL-6为白介素-6,CRP为C反应蛋白,PCT为降钙素原

表4 两组脓毒性休克患者不同时间段血管活性药物用量、尿量及液体正平衡量比较

| 组别 | 例数 | 时间 | 去甲肾上腺素剂量(μg·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 尿量(ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) | 液体正平衡量(ml) |
|-----|----|---------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|
| 对照组 | 30 | 复苏 6 h | 0.69±0.06 | 0.44±0.08 | 911.00±67.12 |
| | | 复苏 24 h | 0.43±0.06 ^a | 0.73±0.06 ^a | 1 642.53±178.36 ^a |
| | | 复苏 48 h | 0.22±0.04 ^{ab} | 0.88±0.13 ^{ab} | 2 112.60±298.55 ^{ab} |
| 观察组 | 30 | 复苏 6 h | 0.54±0.08 | 0.47±0.08 | 801.80±91.57 |
| | | 复苏 24 h | 0.39±0.07 ^{ac} | 0.93±0.10 ^{ac} | 1 322.63±171.90 ^{ac} |
| | | 复苏 48 h | 0.21±0.03 ^{abc} | 1.11±0.15 ^{abc} | 1 579.37±190.62 ^{abc} |

注:与复苏6h相比,at≥35.72,均P<0.05;与复苏24h相比,bf≥7.77,均P<0.05;与对照组相比,ct≥2.10,均P<0.05

表5 两组脓毒性休克患者复苏疗效相关指标比较

| 组别 | 例数 | ICU住院时间(d) | 机械通气时间(h) | 肺水肿[例(%)] | 3h复苏达标[例(%)] | 6h复苏达标[例(%)] | 28d死亡[例(%)] |
|---------------------|----|------------|-----------|-----------|--------------|--------------|-------------|
| 对照组 | 30 | 16.80±2.41 | 9.08±1.47 | 10(30.33) | 8(26.66) | 20(66.6) | 4(13.33) |
| 观察组 | 30 | 13.68±1.92 | 6.02±1.29 | 3(10.00) | 17(56.66) | 24(80.0) | 2(6.66) |
| χ ² (t)值 | | (5.53) | (8.59) | 4.81 | 5.55 | 1.36 | 0.19 |
| P值 | | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | >0.05 | >0.05 |

注:ICU为重症监护病房

3 讨论

脓毒性休克病情复杂,死亡率高,因此及时识别和早期干预对患者预后至关重要。目前,EGDT和集束化管理是治疗脓毒症休克的关键方法,但研究表明,EGDT策略可能导致液体过量,与不良预后有关^[10]。下腔静脉因具有管壁薄、无静脉瓣、顺应性好等特点被认为是评估容量的理想血管,可快速评估血容量及液体反应性^[11]。《中国重症超声专家共识》也提倡通过下腔静脉评估血管的容量状态^[12]。武宇辉等^[13]研究发现,超声监测下腔静脉容量反应性与脓毒性休克患者容量反应性密切相关,可为液体复苏提供参考。另外,Pcv-aCO₂也是反应组织灌注和心排血量的重要参数,对脓毒性休克患者的液体

复苏和预后评估具有重要意义^[14]。

脓毒性休克是脓毒症的严重阶段,炎症反应失调是其关键环节,释放促炎因子触发炎症“风暴”,干扰机体免疫功能失调,进而引发多器官功能衰竭。当发生严重感染时,血清中的PCT、CRP迅速升高,同时释放炎症介质如TNF-α、IL-6等。在有效的抗感染基础上,有效液体复苏可轻机体炎症反应。本研究两组患者复苏后血清炎症指标都降低,且观察组TNF-α和IL-6指标水平降低更明显。尽管目前关于超声指导脓毒症休克患者液体复苏对炎症指标直接影响证据有限,但已有间接证据表明改善血流动力学状态有助于减轻炎症反应。卢露等^[15]研究指出,有效液体复苏能改善机体免疫状态,减轻炎症反应,提升机体免疫功能。要莉莉等^[16]研究也发现,超声

指导下液体复苏能够降低炎症因子水平。以上证据均表明有效液体复苏可能在抑制炎症反应方面发挥作用。

本研究结果发现,观察组 3 h 复苏达标率,复苏 6、24 h MAP、CVP 和 ScvO₂ 均高于对照组,复苏 6、24 h HR、血乳酸水平均低于对照组。这表明重症超声联合 Pcv-aCO₂ 较 EGDT 策略具有更大的血流动力学改善效果。阚艳敏等^[17]研究表明,通过超声监测 IVCV 在评估脓毒性休克患者容量反应性方面具有显著的预测效能,能为其制定精准的补液方案。刘璐等^[18]研究也发现,IVCV 在重症患者容量反应性评估中的临床价值更为显著。

本研究发现,观察组复苏 6、24 h 尿量多于对照组,液体正平衡量和与使用去甲肾上腺素药物剂量均低于对照组。这表明超声监测 IVCV 联合 Pcv-aCO₂ 指导液体复苏,可减少用药剂量,同时降低肺水肿发生风险。另外,观察组机械通气时间与 ICU 住院时间均短于对照组,这进一步提示重症超声指导液体复苏能促进患者早期康复。马年斌等^[19]研究显示,与传统 CVP 监测相比,重症超声与静-动脉二氧化碳分压差/动-静脉氧含量差比值能够显著缩短脓毒性休克患者机械通气时间与 ICU 住院时间。Li 等^[20]在脓毒性休克患者中常规监测 CVP 指导的液体复苏治疗,并与超声指导容量管理进行对比,发现前者在反映 VR 方面存在局限性。本研究两组 28 d 病死率差异无统计学意义,这可能与本研究为单中心、小样本有关。有待多中心且大样本的研究来进一步明确超声在脓毒性休克液体复苏中的预后效应。

综上所述,相比较于 EGDT 方案,重症超声与 Pcv-aCO₂ 结合指导脓毒性休克容量管理,不仅能提高患者液体复苏达标率,降低肺水肿发生率,改善肾脏功能,还能缩短 ICU 住院时间和机械通气时间。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

[1] WEI J X, JIANG H L, CHEN X H. Endothelial cell metabolism in sepsis[J]. *World J Emerg Med*, 2023, 14(1): 10-16.
 [2] 江利冰,李瑞杰,张斌,等.2016 年脓毒症与脓毒性休克处理国际指南[J]. *中华急诊医学杂志*, 2017, 26(3):263-266.
 [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.

[4] 原娇娇,杨晓玲,袁琪茜,等.基于脓毒性休克患者超声引导下液体复苏与早期目标导向治疗复苏效果的系统评价[J]. *中华危重病急救医学*,2020,32(1):56-61.
 [5] 余琨,陈妮,张伟,等.重症超声在脓毒性休克血流动力学监测中的应用价值[J]. *中华危重病急救医学*,2019,31(2):248-251.
 [6] 中国医师协会急诊医师分会,中国研究型医院学会休克与脓毒症专业委员会.中国脓毒症/脓毒性休克急诊治疗指南(2018)[J]. *中国急救医学*,2018,38(9):741-756.
 [7] 窦志敏,曹永强,刘欣,等.超声监测下腔静脉变异度对机械通气患者撤机结果的预测价值[J]. *中华超声影像学杂志*, 2019,28(2): 119-123.
 [8] BARBIER C, LOUBIERES Y, SCHMIT C, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients [J]. *Intensive Care Med*, 2004, 30 (9): 1740-1746.
 [9] MORETTI R, PIZZI B. Inferior vena Cava distensibility as a predictor of fluid responsiveness in patients with subarachnoid hemorrhage[J]. *Neurocritical Care*, 2010, 13(1): 3-9.
 [10] KELM D J, PERRIN J T, CARTIN-CEBA R, et al. Fluid overload in patients with severe sepsis and septic shock treated with early goal-directed therapy is associated with increased acute need for fluid-related medical interventions and hospital death[J]. *Shock*, 2015, 43(1): 68-73.
 [11] LAHER A E, WATERMEYER M J, BUCHANAN S K, et al. A review of hemodynamic monitoring techniques, methods and devices for the emergency physician[J]. *Am J Emerg Med*, 2017, 35(9): 1335-1347.
 [12] 王小亭,刘大为,于凯江,等.中国重症超声专家共识[J]. *临床荟萃*, 2017,32(5):369-383.
 [13] 武宇辉,杨燕澜,马伟科,等.床旁超声测定下腔静脉内径及呼吸变异度评估儿童脓毒性休克容量反应性的临床价值[J]. *海南医学*, 2019,30(17):2249-2251.
 [14] 霍雨坤,李培军.中心静脉-动脉血二氧化碳分压差的临床应用进展[J]. *中华危重病急救医学*,2016,28(11):1048-1052.
 [15] 卢露,潘国权,汤鲁明,等.PICCO 指导下液体复苏对脓毒症休克患者免疫功能及炎症介质的影响[J]. *中华全科医学*,2017,15(4): 562-564.
 [16] 要莉莉,马永峰,贾丽静,等.重症超声指导下液体复苏对脓毒性休克患者炎症因子和免疫功能的影响[J]. *中国急救医学*,2019,39(1): 48-52.
 [17] 阚艳敏,王艺桦,孙玉伟,等.超声动态评估感染性休克患者容量反应性的临床研究[J]. *实用医学杂志*,2018,34(11):1854-1858.
 [18] 刘璐,叶英,杜志强,等.超声监测下腔静脉变异度指导液体复苏对脓毒症休克患者预后的影响[J]. *中国医刊*,2022,57(6):682-686.
 [19] 马年斌,梁雷雨,万珍,等.静-动脉二氧化碳分压差和动-静脉氧含量差比值联合超声对重症感染性休克患者液体复苏的影响 [J]. *中国中西医结合急救杂志*,2019,26(5):524-528.
 [20] LI D K, DU W. Central venous pressure value can assist in adjusting norepinephrine dosage after the initial resuscitation of septic shock[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2019, 132(10): 1159-1165.

收稿日期:2024-12-31

(本文编辑:孙海儿)