

# 早期脓毒症患者右心室功能与短期死亡风险的关系

熊峰 杨宏锋 颜骏 王纯 白璐 杜启光

江苏大学附属人民医院重症医学科, 镇江 212002

通信作者: 杨宏锋, Email: feng102220@163.com

**【摘要】** 目的 评估脓毒症患者的右心室功能, 分析右心室功能障碍与 30 d 病死率的关系。方法 采用回顾性队列研究方法, 收集 2020 年 1 月至 2023 年 12 月江苏大学附属人民医院重症医学科收治的 196 例成人脓毒症患者的临床资料, 包括年龄、性别、平均动脉压 (MAP)、氧合指数 ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ )、心率 (HR)、尿量、连续性肾脏替代治疗 (CRRT)、急性肾衰竭发生情况、急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II)、序贯器官衰竭评分 (SOFA)、Elixhauser 合并症指数 (ECI) 评分、血乳酸 (Lac)、液体复苏量、血管活性药物剂量、机械通气、入院后 24 h 内超声心动图参数及 30 d 预后。比较不同预后患者人口统计学、临床和超声心动图特征; 分析脓毒症患者心室功能障碍亚型发生情况及死亡风险; 采用多因素 Logistic 回归分析评估脓毒症患者短期死亡的独立危险因素。结果 196 例脓毒症患者中, 30 d 存活 157 例, 死亡 39 例; 与存活组比较, 死亡组患者尿量更少, CRRT 比例、APACHE II 评分、Lac、血管活性药物剂量、机械通气比例更高。超声心动图显示, 死亡组患者三尖瓣环收缩期位移 (TAPSE)、右室分数面积变化、左室射血分数 (LVEF) 较存活组更低 [TAPSE (mm):  $16.0 \pm 3.6$  比  $19.3 \pm 4.4$ , 右室分数面积变化:  $(30.23 \pm 8.14)\%$  比  $(33.69 \pm 7.81)\%$ , LVEF:  $0.575 \pm 0.129$  比  $0.637 \pm 0.069$ , 均  $P < 0.05$ ], 右室收缩期末面积和左室舒张早期二尖瓣血流速度与二尖瓣环运动速度比值 ( $E/E'$ ) 更高 [右室收缩期末面积 ( $\text{cm}^2$ ):  $15.75 \pm 4.45$  比  $14.27 \pm 3.39$ , 左室  $E/E'$  比值:  $9.18 \pm 4.43$  比  $7.74 \pm 3.12$ , 均  $P < 0.05$ ]。196 例脓毒症患者中, 136 例患者发生心室功能障碍 (69.4%), 其中单独右心室功能障碍 50 例 (25.5%), 单独左心室收缩功能障碍 33 例 (16.8%), 单独左心室舒张功能障碍 7 例 (3.6%), 同时存在左心室收缩功能障碍和右心室功能障碍 25 例 (12.8%), 同时存在右心室功能障碍和左心室舒张功能障碍 1 例 (0.5%), 同时存在左心室收缩功能障碍、左心室舒张功能障碍及右心室功能障碍 20 例 (10.2%)。在 30 d 病死率方面, 单独右心室功能障碍患者最高 [36.0% (18/50)], 其次为双心室功能障碍患者 [30.4% (14/46)] 和单独左心室功能障碍患者 [22.5% (9/40)], 无心室功能障碍患者最低 [13.3% (8/60)], 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。196 例脓毒症患者中, 近一半发生右心室功能障碍 [96 例 (49.0%)]; 与非右心室功能障碍患者比较, 右心室功能障碍患者急性肾衰竭发生率、APACHE II 评分、Lac、液体复苏量、血管活性药物剂量、机械通气比例及 30 d 病死率更高 [急性肾衰竭发生率: 63.5% (61/96) 比 48.0% (48/100), APACHE II 评分 (分): 13 (1, 41) 比 7 (1, 34), Lac (mmol/L):  $7.8 \pm 3.4$  比  $4.2 \pm 2.3$ , 液体复苏量 (mL):  $2\ 032 \pm 225$  比  $1\ 123 \pm 115$ , 血管活性药物剂量 ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ): 1.1 (0.2, 2.1) 比 0.7 (0.2, 2.0), 机械通气比例: 18.8% (18/96) 比 15.0% (15/100), 30 d 病死率: 40.6% (39/96) 比 21.0% (21/100), 均  $P < 0.05$ ]。多因素 Logistic 回归分析显示, CRRT [优势比 (OR) = 2.43, 95% 置信区间 (95%CI) 为 0.25 ~ 0.64]、高 APACHE II 评分 (OR = 1.35, 95%CI 为 1.21 ~ 1.65)、高 Lac (OR = 13.44, 95%CI 为 6.15 ~ 25.35)、高血管活性药物剂量 (OR = 65.45, 95%CI 为 19.88 ~ 195.83)、机械通气 (OR = 92.45, 95%CI 为 34.67 ~ 369.45)、右心室功能障碍 (OR = 2.34, 95%CI 为 1.21 ~ 3.78)、左心室舒张功能障碍 (OR = 2.35, 95%CI 为 1.09 ~ 5.18) 是脓毒症患者 30 d 死亡的独立危险因素 (均  $P < 0.05$ )。结论 早期脓毒症患者右心室功能障碍很常见, 右心室功能障碍是脓毒症患者 30 d 死亡的独立危险因素。

**【关键词】** 脓毒症; 右心室功能障碍; 死亡风险; 预后

**基金项目:** 江苏省镇江市社会发展指导性科技计划项目 (FZ2023063)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240426-00217

## Association between right ventricular function and short-term death risk in patients with sepsis

Xiong Feng, Yang Hongfeng, Yan Jun, Wang Chun, Bai Lu, Du Qiguang

Department of Critical Care Medicine, the Affiliated People's Hospital of Jiangsu University, Zhenjiang 212002, China

Corresponding author: Yang Hongfeng, Email: feng102220@163.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the right ventricular function in patients with sepsis and to analyze the association between right ventricular dysfunction and 30-day mortality. **Methods** A retrospective cohort study was conducted. The clinical data from 196 adult patients with sepsis admitted to the department of critical care medicine of the Affiliated People's Hospital of Jiangsu University from January 2020 to December 2023 were collected, including age, gender, mean arterial pressure (MAP), oxygenation index ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ), heart rate (HR), urine output, continuous renal replacement therapy (CRRT), presence of acute renal failure, Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II

(APACHE II) score, Sequential Organ Failure Assessment (SOFA) score, Elixhauser comorbidity index (ECI) score, blood lactic acid (Lac), fluid resuscitation volume, vasoactive drug dose, mechanical ventilation status, echocardiographic parameters within 24 hours after admission, and 30-day outcomes. Demographic, clinical, and echocardiographic features were compared between survivors and non-survivors. The prevalence and death risk of ventricular dysfunction subtypes in patients with sepsis were analyzed. Multivariate Logistic regression analysis was used to identify independent risk factors for short-term death risk. **Results** Among 196 patients with sepsis, 157 survived for 30 days and 39 died. Compared with the survival group, the patients in the non-survival group had less urine output, a higher proportion of patients receiving CRRT, higher APACHE II score, higher Lac, higher doses of vasoactive drugs, and a higher proportion of requiring mechanical ventilation. Echocardiography showed that the patients in the non-survival group had lower tricuspid annular peak systolic excursion (TAPSE), right ventricular fractional area change, and left ventricular ejection fraction (LVEF) as compared with those in the survival group [TAPSE (mm):  $16.0 \pm 3.6$  vs.  $19.3 \pm 4.4$ , right ventricular fractional area change:  $(30.23 \pm 8.14)\%$  vs.  $(33.69 \pm 7.81)\%$ , LVEF:  $0.575 \pm 0.129$  vs.  $0.637 \pm 0.069$ , all  $P < 0.05$ ], and higher right ventricular end-systolic area and ratio of left ventricular early diastolic mitral flow velocity to mitral annular motion velocity [E/E'; right ventricular end-systolic area ( $\text{cm}^2$ ):  $15.75 \pm 4.45$  vs.  $14.27 \pm 3.39$ , left ventricular E/E' ratio:  $9.18 \pm 4.43$  vs.  $7.74 \pm 3.12$ , both  $P < 0.05$ ]. Among 196 patients with sepsis, 136 patients (69.4%) developed ventricular dysfunction, including isolated right ventricular dysfunction in 50 (25.5%), isolated left ventricular systolic dysfunction in 33 (16.8%), isolated left ventricular diastolic dysfunction in 7 (3.6%), combined left ventricular systolic dysfunction and right ventricular dysfunction in 25 (12.8%), combined right ventricular dysfunction and left ventricular diastolic dysfunction in 1 (0.5%), and combined left ventricular systolic dysfunction, left ventricular diastolic dysfunction, and right ventricular dysfunction in 20 (10.2%). The 30-day mortality was highest in patients with isolated right ventricular dysfunction [36.0% (18/50)], followed by those with biventricular dysfunction [30.4% (14/46)] and isolated left ventricular dysfunction [22.5% (9/40)], and lowest in patients without ventricular dysfunction [13.8% (8/60)], with statistically significant difference ( $P < 0.05$ ). Among 196 patients with sepsis, right ventricular dysfunction occurred in nearly half of all patients [96 cases (49.0%)]. Compared with those without right ventricular dysfunction, the patients with right ventricular dysfunction had higher incidence of acute renal failure, higher APACHE II score, higher Lac, higher fluid resuscitation volume, higher vasoactive drug dose, higher ratio of requiring mechanical ventilation, and higher 30-day mortality [incidence of acute renal failure: 63.5% (61/96) vs. 48.0% (48/100), APACHE II score: 13 (1, 41) vs. 7 (1, 34), Lac ( $\text{mmol/L}$ ):  $7.8 \pm 3.4$  vs.  $4.2 \pm 2.3$ , fluid resuscitation volume (mL):  $2\ 032 \pm 225$  vs.  $1\ 123 \pm 115$ , vasoactive drug dose ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ): 1.1 (0.2, 2.1) vs. 0.7 (0.2, 2.0), ratio of requiring mechanical ventilation: 18.8% (18/96) vs. 15.0% (15/100), 30-day mortality: 40.6% (39/96) vs. 21.0% (21/100), all  $P < 0.05$ ]. Multivariate Logistic regression analysis identified CRRT [odds ratio (OR)=2.43, 95% confidence interval (95%CI) was 0.25–0.64], higher APACHE II score (OR=1.35, 95%CI was 1.21–1.65), higher Lac (OR=13.44, 95%CI was 6.15–25.35), higher vasoactive drug dose (OR=65.45, 95%CI was 19.88–195.83), mechanical ventilation (OR=92.45, 95%CI was 34.67–369.45), right ventricular dysfunction (OR=2.34, 95%CI was 1.21–3.78), and left ventricular diastolic dysfunction (OR=2.35, 95%CI was 1.09–5.18) as independent risk factors of 30-day death in patients with sepsis (all  $P < 0.05$ ). **Conclusion** Right ventricular dysfunction is common in patients with early sepsis and serves as an independent risk factor for 30-day death.

**【Key words】** Sepsis; Right ventricular dysfunction; Death risk; Prognosis

**Fund program:** Zhenjiang Social Development Guiding Science and Technology Program of Jiangsu Province (FZ2023063)

DOI: 10.3760/ema.j.cn121430-20240426-00217

脓毒症或脓毒性休克是一种临床综合征,其特征是对感染的免疫炎症反应增强和失调,最终可能导致多器官功能障碍<sup>[1]</sup>。脓毒症的并发症之一是脓毒性心肌病<sup>[2]</sup>。传统观点认为,左心室的收缩功能和舒张功能是评估脓毒性心肌病对患者临床结局影响的主要研究焦点。然而,近年来人们的注意力已转移到右心室功能障碍在预测脓症患者临床结局中的作用<sup>[3]</sup>。尽管右心室的肌肉量比左心室少,但这两个心室既存在串联又通过共同的间隔连接,从而导致心室间相互依赖<sup>[4]</sup>。在稳态下,右心室与左心室的心排量匹配,以维持左侧充盈和向前流。在脓毒症期间,右心室后负荷增加、右心室充盈减少或收缩能力不佳,可能会影响右心室跟不上左心

室的能力<sup>[5]</sup>。

超声心动图评估右心室功能对脓毒症早期患者临床结局(包括 30 d 病死率)的预测价值显得十分有意义。尽早评估早期脓症患者心室功能状态,有助于临床医师在疾病早期对患者采取积极的预防和治疗措施,从而降低脓症患者病死率,改善预后。本研究旨在回顾性分析早期脓症患者右心室功能状态及右心室功能障碍发生率,并采用多因素 Logistic 回归分析探讨右心室功能障碍是否为脓症患者死亡的独立危险因素。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象:** 采用回顾性队列研究方法,收集 2020 年 1 月至 2023 年 12 月首次入住江苏大学附

属人民医院重症医学科并诊断为脓毒症的成人患者的临床资料。

**1.1.1 纳入标准:**① 年龄 20~70 岁;② 有临床疑似感染;③ 序贯器官衰竭评分(Sequential Organ Failure Assessment, SOFA)  $\geq 2$  分。④ 发生脓毒性休克[在充分液体复苏后,仍需血管活性药物维持平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)  $\geq 65$  mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa);血乳酸(lactic acid, Lac)  $> 2.0$  mmol/L]<sup>[1]</sup>。

**1.1.2 排除标准:**① 脓毒症发作后 24 h 就诊;② 存在心源性休克、肺源性心脏病、肺动脉高压、右心室衰竭、瓣膜性心脏病或先天性心脏病。

**1.2 伦理学:**本研究符合医学伦理学标准,并且通过了本院医学伦理委员会的审核批准(审批号:K-20240073-W),所有治疗及检测均获得过患者或家属的知情同意。

### 1.3 数据采集

**1.3.1 临床数据收集:**所有临床数据均采集自住院电子病历系统。

**1.3.1.1 人口统计学指标:**记录患者年龄、性别。

**1.3.1.2 临床指标:**记录患者 MAP、氧合指数(PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>)、心率(heart rate, HR)、尿量、连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)、急性肾衰竭发生情况、急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II, APACHE II)、SOFA 评分、Elixhauser 合并症指数(Elixhauser comorbidity index, ECI) 评分、Lac、液体复苏量、血管活性药物剂量(计算为等效去甲肾上腺素)、机械通气及 30 d 预后。所有临床变量均为患者入院后 24 h 内记录的平均值。根据患者 30 d 预后进行分组分析。

**1.3.2 超声心动图参数:**所有超声心动图参数均来自经过专业认证的超声心动图医师的测量记录。所有超声心动图变量均为患者入院后 24 h 内记录的平均值。

**1.3.2.1 右心室参数:**记录患者三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular planesystolic excursion, TAPSE)、右室收缩期末面积、右室舒张期末面积、右室分数面积变化。将右室功能障碍定义为右室分数面积变化  $< 35\%$  或 TAPSE  $< 16$  mm<sup>[6]</sup>。

**1.3.2.2 左心室参数:**记录患者的左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、左室整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)。将左室收缩功能障碍定义为 LVEF  $< 0.45$  或 GLS  $\geq -19\%$ <sup>[7]</sup>。

**1.3.2.3 组织多普勒成像:**记录患者在四腔心切面的二尖瓣外侧和间隔处测量的左室舒张早期二尖瓣血流速度(E)和二尖瓣环运动速度(E'),计算左室 E/E' 比值。将左心室舒张功能障碍定义为左室 E/E' 比值  $> 13$ <sup>[8]</sup>。

**1.4 统计学方法:**使用 GraphPad Prism v.8.0 软件完成数据管理和统计学分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验和直接数据可视化方法评估计量资料的正常性。根据正常性检验结果,所有符合正态分布的计量资料以均数  $\pm$  标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数)[ $M(Q_1, Q_3)$ ]表示,组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以频数(百分比)表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验。采用单因素及多因素 Logistic 回归分析评估脓毒症患者短期死亡的独立危险因素。所有统计检验取双侧,检验水准  $\alpha$  值取 0.05。

## 2 结果

**2.1 人口统计学、临床和超声心动图特征(表 1):**最终共纳入 196 例脓毒症患者,其中入院后 30 d 存活 157 例,死亡 39 例。

不同预后两组患者在人口统计学方面差异无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

在临床特征方面,与存活组比较,死亡组患者尿量更少,CRRT 比例、APACHE II 评分、Lac、血管活性药物剂量、机械通气比例更高(均  $P < 0.05$ );两组 MAP、PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>、HR、SOFA 评分、ECI 评分、液体复苏量差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

在超声心动图特征方面,与存活组比较,死亡组患者 TAPSE、右室分数面积变化、LVEF 更低,右室收缩期末面积和左室 E/E' 比值更高(均  $P < 0.05$ );两组右室舒张期末面积和左室 GLS 差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

**2.2 早期脓毒症患者心室功能障碍亚型发病率和死亡风险分析:**196 例脓毒症患者中,136 例患者发生心室功能障碍(占 69.4%),60 例患者不存在心室功能障碍(占 30.6%);亚组分析显示,单独右心室功能障碍 50 例,单独左心室收缩功能障碍 33 例,单独左心室舒张功能障碍 7 例,同时存在左心室收缩功能障碍和右心室功能障碍 25 例,同时存在右心室功能障碍和左心室舒张功能障碍 1 例,同时存在左心室收缩功能障碍、左心室舒张功能障碍及右心室功能障碍 20 例(图 1)。

表 1 不同 30 d 预后两组脓毒症患者人口统计学、临床和超声心动图特征比较

| 指标   | 存活组<br>(157 例) | 死亡组<br>(39 例) | 统计量值           | P 值    | 指标  | 存活组<br>(157 例) | 死亡组<br>(39 例)  | 统计量值           | P 值    |
|--|----------------|---------------|----------------|--------|---|----------------|----------------|----------------|--------|
| 年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )  | 54 ± 9         | 55 ± 11       | $t=0.861$      | 0.102  | 血管活性药物剂量<br>[ $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,<br>$M(Q_1, Q_3)$ ] | 0.8 (0.3, 1.6) | 1.5 (0.6, 2.3) | $Z=3.933$      | 0.005  |
| 男性[例(%)]   | 77 (49.0)      | 19 (48.7)     | $\chi^2=1.023$ | 0.322  | 机械通气[例(%)]  | 10 (6.4)       | 18 (46.2)      | $\chi^2=2.684$ | 0.021  |
| MAP(mmHg, $\bar{x} \pm s$ )                                    | 68 ± 10        | 52 ± 11       | $t=1.452$      | 0.081  | 超声心动图参数<br>( $\bar{x} \pm s$ )  |                |                |                |        |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub><br>(mmHg, $\bar{x} \pm s$ ) | 335 ± 28       | 289 ± 46      | $t=0.987$      | 0.221  | TAPSE (mm)  | 19.3 ± 4.4     | 16.0 ± 3.6     | $t=3.422$      | <0.001 |
| HR(次/min, $\bar{x} \pm s$ )                                    | 102 ± 5        | 103 ± 7       | $t=0.594$      | 0.101  | 右室收缩期末<br>面积(cm <sup>2</sup> )  | 14.27 ± 3.39   | 15.75 ± 4.45   | $t=5.789$      | <0.001 |
| 尿量(mL/h, $\bar{x} \pm s$ )                                     | 42 ± 12        | 20 ± 7        | $t=3.621$      | <0.001 | 右室舒张期末<br>面积(cm <sup>2</sup> )  | 22.09 ± 3.31   | 21.56 ± 4.74   | $t=0.981$      | 0.113  |
| CRRT [例(%)]  | 40 (25.5)      | 36 (92.3)     | $\chi^2=4.538$ | <0.001 | 右室分数面积<br>变化(%)   | 33.69 ± 7.81   | 30.23 ± 8.14   | $t=3.899$      | 0.006  |
| APACHE II 评分<br>[分, $M(Q_1, Q_3)$ ]                            | 11 (4, 25)     | 30 (13, 40)   | $Z=6.883$      | <0.001 | LVEF  | 0.637 ± 0.069  | 0.575 ± 0.129  | $t=9.767$      | <0.001 |
| SOFA 评分<br>[分, $M(Q_1, Q_3)$ ]                                 | 13 (5, 14)     | 15 (4, 19)    | $Z=1.294$      | 0.114  | 左室 GLS (%)  | -18.1 ± 3.9    | -17.9 ± 4.2    | $t=0.873$      | 0.321  |
| ECI 评分<br>[分, $M(Q_1, Q_3)$ ]                                  | 17 (16, 24)    | 18 (15, 23)   | $Z=1.573$      | 0.075  | 左室 E/E' 比值  | 7.74 ± 3.12    | 9.18 ± 4.43    | $t=5.881$      | <0.001 |
| Lac (mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )                                 | 4.1 ± 1.8      | 9.7 ± 2.2     | $t=4.371$      | <0.001 |   |                |                |                |        |
| 超声检查前 6 h 液体<br>复苏量(mL, $\bar{x} \pm s$ )                      | 2 010 ± 214    | 1 980 ± 123   | $t=1.834$      | 0.066  |   |                |                |                |        |

注: MAP 为平均动脉压, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 为氧合指数, HR 为心率, CRRT 为连续性肾脏替代治疗, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分, ECI 为 Elixhauser 合并症指数, Lac 为血乳酸, TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移, LVEF 为左室射血分数, GLS 为整体纵向应变, E/E' 为左室舒张早期二尖瓣血流速度与二尖瓣环运动速度比值; 1 mmHg=0.133 kPa

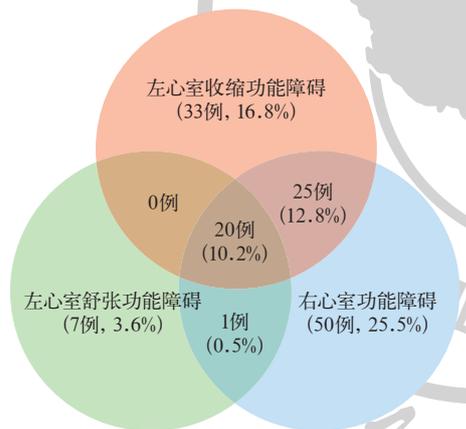


图 1 196 例脓毒症患者心室功能障碍亚型发生情况

在 30 d 病死率方面, 单独右心室功能障碍患者最高 [36.0% (18/50)], 其次为双心室功能障碍患者 [30.4% (14/46)] 和单独左心室功能障碍患者 [22.5% (9/40)], 无心室功能障碍患者最低 [13.3% (8/60)], 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

**2.3 脓毒症患者早期右心室功能障碍的临床特征和死亡风险 (表 2):** 196 例脓毒症患者中, 近一半发生右心室功能障碍 [96 例 (49.0%)]. 与非右心室功能障碍患者比较, 右心室功能障碍患者急性肾衰竭发生率、APACHE II 评分、Lac、液体复苏量、血管活性药物剂量、机械通气比例及 30 d 病死率更高 (均  $P < 0.05$ ); 两组年龄、性别、MAP、PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>、HR、SOFA 评分和 ECI 评分差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ )。

表 2 是否发生右心室功能障碍两组脓毒症患者人口统计学、临床特征和 30 d 病死率比较

| 指标  | 非右心室<br>功能障碍组<br>(100 例) | 右心室<br>功能障碍组<br>(96 例) | 统计量值            | P 值    |
|---|--------------------------|------------------------|-----------------|--------|
| 年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )   | 55 ± 8                   | 53 ± 9                 | $t=1.003$       | 0.076  |
| 男性[例(%)]  | 49 (49.0)                | 49 (51.0)              | $\chi^2=2.991$  | 0.176  |
| MAP(mmHg,<br>$\bar{x} \pm s$ )  | 55 ± 20                  | 60 ± 18                | $t=0.984$       | 0.456  |
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub><br>(mmHg, $\bar{x} \pm s$ )                              | 294 ± 48                 | 275 ± 51               | $t=0.887$       | 0.361  |
| HR(次/min, $\bar{x} \pm s$ )   | 102 ± 29                 | 109 ± 33               | $t=0.443$       | 0.089  |
| 急性肾衰竭<br>[例(%)]   | 48 (48.0)                | 61 (63.5)              | $\chi^2=42.998$ | <0.001 |
| APACHE II 评分<br>[分, $M(Q_1, Q_3)$ ]   | 7 (1, 34)                | 13 (1, 41)             | $Z=2.093$       | 0.003  |
| SOFA 评分<br>[分, $M(Q_1, Q_3)$ ]  | 13 (6, 12)               | 14 (5, 18)             | $Z=0.796$       | 0.211  |
| ECI 评分<br>[分, $M(Q_1, Q_3)$ ]   | 18 (16, 23)              | 17 (14, 22)            | $Z=0.236$       | 0.075  |
| Lac (mmol/L,<br>$\bar{x} \pm s$ )   | 4.2 ± 2.3                | 7.8 ± 3.4              | $t=9.092$       | <0.001 |
| 液体复苏量<br>(mL, $\bar{x} \pm s$ )   | 1 123 ± 115              | 2 032 ± 225            | $t=8.393$       | <0.001 |
| 血管活性药物剂量<br>[ $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,<br>$M(Q_1, Q_3)$ ] | 0.7<br>(0.2, 2.0)        | 1.1<br>(0.2, 2.1)      | $Z=2.031$       | 0.021  |
| 机械通气<br>[例(%)]  | 15 (15.0)                | 18 (18.8)              | $\chi^2=34.394$ | <0.001 |
| 30 d 病死率<br>[% (例)]   | 21.0 (21)                | 40.6 (39)              | $\chi^2=19.931$ | <0.001 |

注: MAP 为平均动脉压, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 为氧合指数, HR 为心率, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II, SOFA 为序贯器官衰竭评分, ECI 为 Elixhauser 合并症指数, Lac 为血乳酸; 1 mmHg=0.133 kPa

**2.4 脓毒症患者短期死亡的危险因素分析(表 3):** 将死亡组与存活组之间差异有统计学意义的 11 个变量(包括尿量、CRRT、APACHE II 评分、Lac、血管活性药物剂量、机械通气、TAPSE、右室收缩期末面积、右室分数面积变化、LVEF 及左室 E/E' 比值)纳入多因素 Logistic 回归分析,结果显示,CRRT、高 APACHE II 评分、高 Lac、高血管活性药物剂量、机械通气、右心室功能障碍和左心室舒张功能障碍为脓症患者 30 d 死亡的独立危险因素[优势比(odds ratio, OR)均 >1,均  $P < 0.05$  ]。

表 3 脓毒症患者 30 d 死亡独立危险因素的多因素 Logistic 回归分析

| 变量           | $\beta$ 值 | OR 值  | 95%CI          | P 值    |
|--------------|-----------|-------|----------------|--------|
| 尿量           | 0.18      | 0.56  | 0.35 ~ 0.78    | 0.190  |
| CRRT         | 1.21      | 2.43  | 0.25 ~ 0.64    | 0.004  |
| APACHE II 评分 | 2.34      | 1.35  | 1.21 ~ 1.65    | <0.001 |
| Lac          | 1.09      | 13.44 | 6.15 ~ 25.35   | <0.001 |
| 血管活性药物剂量     | 0.79      | 65.45 | 19.88 ~ 195.83 | <0.001 |
| 机械通气         | 0.86      | 92.45 | 34.67 ~ 369.45 | <0.001 |
| 右心室功能障碍      | 1.26      | 2.34  | 1.21 ~ 3.78    | <0.001 |
| 左心室收缩功能障碍    | 0.23      | 1.25  | 0.56 ~ 2.42    | 0.080  |
| 左心室舒张功能障碍    | 1.45      | 2.35  | 1.09 ~ 5.18    | 0.008  |

注:CRRT 为连续性肾脏替代治疗,APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II,Lac 为血乳酸,OR 为优势比,95%CI 为 95% 置信区间

### 3 讨论

右心室是一种薄壁结构,能够向高顺应性、低阻力的肺循环供血<sup>[9-10]</sup>。脓毒症可导致广泛的循环障碍,其中以心功能障碍尤为常见。2021 版“拯救脓毒症运动”(Surviving Sepsis Campaign, SSC)国际指南明确指出,脓毒症相关性心功能障碍不仅局限于左心室功能障碍,右心室功能异常同样是决定预后的关键因素之一<sup>[11]</sup>。

脓毒症的特点是全身循环血管扩张和阻力降低,而肺血管阻力可能由于缺氧性血管收缩、急性肺损伤、高碳酸血症、内源性血管舒张剂与血管收缩剂不平衡、血管微血栓和机械通气而增加<sup>[12]</sup>。感染能够对微循环和内皮细胞造成可逆或不可逆的损伤,导致炎症介质和心肌抑制因子释放到血液中,诱导部分心肌细胞凋亡和负性肌力作用<sup>[13]</sup>。脓症患者右心室功能障碍的病理生理学存在多种可能机制:一方面,脓毒症体液和代谢环境失调会直接导致心肌细胞功能障碍;另一方面,右心室对肺部疾病后负荷增加非常敏感,机械通气、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO<sub>2</sub>)

升高、酸中毒均可能影响肺血管收缩,导致肺动脉压力变化<sup>[14]</sup>。本研究显示,脓毒症右心室功能障碍患者急性肾衰竭发生率、液体复苏量、血管活性药物剂量、机械通气比例均高于非右心室功能障碍患者,证实了上述病理生理学假设。

脓毒症心肌功能障碍常见于脓毒症和脓毒性休克患者。针对脓毒症导致左心室收缩功能障碍和左心室舒张功能障碍的研究较广泛,且被证明与临床结局相关<sup>[12]</sup>。相比之下,脓症患者右心室功能障碍的评估和临床预后相关研究较少。本研究显示,脓症患者右心室功能障碍[单独存在或与左心室收缩功能障碍和(或)左心室舒张功能障碍同时存在]的发生率较高。已有研究证明,右心室功能障碍在脓毒性休克患者中很常见<sup>[15]</sup>。本研究中近一半的脓症患者存在右心室功能障碍,其中单独右心室功能障碍患者占 25.5%,与左心室收缩功能障碍和左心室舒张功能障碍同时存在者占 10.2%。因此,在评估脓症患者预后时,右心室功能障碍是不可忽略的因素。

本研究显示,右心室功能障碍与脓症患者短期病死率相关。Pulido 等<sup>[16]</sup>针对脓毒症和脓毒性休克患者的研究显示,右心室功能障碍患者呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)及机械通气、低氧血症、酸中毒、使用血管活性药物比例均显著高于非右心室功能障碍患者。这与 Beesley 等<sup>[17]</sup>提出的“右心室功能障碍可能通过增加静脉淤血和降低前负荷加重器官灌注不良”的理论一致。Geri 等<sup>[18]</sup>研究证明,右心室功能障碍可能代表一种独特的临床表型,其表现与脓毒症中以左心室功能障碍为主的患者不同。Landesberg 等<sup>[19]</sup>研究显示,左心室舒张功能障碍与右心室扩张有很强的相关性,这可能解释了心脏生物标志物对脓毒症和脓毒性休克患者预后的影响。前期研究已经证明,心脏生物标志物(如脑利钠肽)与脓症患者右心室功能密切相关,可以起到预测预后的效用<sup>[20]</sup>。此外,右心室衰竭可能与腔静脉淤血和假阳性脉压变异性有关,这可能会影响脓毒症患者的液体负荷,从而影响临床结局<sup>[21]</sup>。此外,右心室功能障碍患者的心排量较低,对血管活性药物的需求量更高,导致急性肾损伤的发生率更高。

2010 年《欧洲成人右心超声心动图评估指南》指出,右心室功能参数 TAPSE < 16 mm 或右室分数面积变化 < 35% 应被视为脓症患者预后分层的

重要指标<sup>[6]</sup>；本研究采用相同标准，验证了该阈值在临床人群中的适用性。

综上所述，右心室功能障碍在脓毒症早期患者中很常见，即使在调整疾病严重程度后，也与短期病死率增加有关。但本研究是一项单中心回顾性研究，限制了对脓症患者右心室功能障碍与病死率之间因果关系的推断，临床样本量有限，所以在一定程度上还不能完全揭示早期脓症患者右心室功能障碍的临床特点及其与预后的关系，因此需要开展更大样本量的多中心前瞻性研究进行验证和完善。另外，由于目前尚缺乏来自大规模人群的右心室应变规范数据作为界定此类患者右心室功能障碍的截断值，因此本研究未采用右心室应变作为评估工具，存在一定局限性。虽然所有超声操作者均接受了统一的标准化培训，采用预先确定的、公认的测量方案和解剖标志点，但是不同超声测量者仍存在一定程度的观察者间变异。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 熊峰：酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、获取研究经费；杨宏锋：酝酿和设计实验，对文章的知识性内容作批评性审阅，行政、技术或材料支持，指导，支持性贡献；颜骏：采集数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析；王纯：实施研究、采集数据、分析/解释数据、统计分析；白璐：实施研究、采集数据、统计分析；杜启光：实施研究、采集数据、分析/解释数据、统计分析、支持性贡献

## 参考文献

- [1] Hotchkiss RS, Moldawer LL, Opal SM, et al. Sepsis and septic shock[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2016, 2: 16045. DOI: 10.1038/nrdp.2016.45.
- [2] L'Heureux M, Sternberg M, Brath L, et al. Sepsis-induced cardiomyopathy: a comprehensive review[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2020, 22(5): 35. DOI: 10.1007/s11886-020-01277-2.
- [3] Lanspa MJ, Cirulis MM, Wiley BM, et al. Right ventricular dysfunction in early sepsis and septic shock[J]. *Chest*, 2021, 159(3): 1055-1063. DOI: 10.1016/j.chest.2020.09.274.
- [4] Mitsuo T, Shimazaki S, Matsuda H. Right ventricular dysfunction in septic patients[J]. *Crit Care Med*, 1992, 20(5): 630-634. DOI: 10.1097/00003246-199205000-00014.
- [5] Naeije R, Badagliacca R. The overloaded right heart and ventricular interdependence[J]. *Cardiovasc Res*, 2017, 113(12): 1474-1485. DOI: 10.1093/cvr/cvx160.
- [6] Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010, 23(7): 685-713; quiz 786-788. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010.
- [7] Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(4): 277-314. DOI: 10.1016/j.echo.2016.01.011.
- [8] Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2009, 22(2): 107-133. DOI: 10.1016/j.echo.2008.11.023.
- [9] Haddad F, Hunt SA, Rosenthal DN, et al. Right ventricular function in cardiovascular disease, part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle[J]. *Circulation*, 2008, 117(11): 1436-1448. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653576.
- [10] 李合强, 徐艳萍, 张小亚, 等. 基于床旁超声的脓毒性右心功能障碍预后评估及危险因素分析[J]. *中华危重病急救医学*, 2025, 37(7): 638-643. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250204-00097.
- [11] 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. DOI: 10.1007/s00134-021-06506-y.
- [12] 陶丽丽, 魏星, 许琪, 等. 基于后负荷校正的心功能参数建立脓毒症心脏病患者预后的列线图预测模型[J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33(11): 1296-1301. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210810-01163.
- [13] Ehrman RR, Sullivan AN, Favot MJ, et al. Pathophysiology, echocardiographic evaluation, biomarker findings, and prognostic implications of septic cardiomyopathy: a review of the literature[J]. *Crit Care*, 2018, 22(1): 112. DOI: 10.1186/s13054-018-2043-8.
- [14] Kim JS, Kim YJ, Kim M, et al. Association between right ventricle dysfunction and poor outcome in patients with septic shock[J]. *Heart*, 2020, 106(21): 1665-1671. DOI: 10.1136/heartjnl-2020-316889.
- [15] Harmankaya A, Akilli H, Gul M, et al. Assessment of right ventricular functions in patients with sepsis, severe sepsis and septic shock and its prognostic importance: a tissue Doppler study[J]. *J Crit Care*, 2013, 28(6): 1111.e7-1111.e11. DOI: 10.1016/j.jcrc.2013.07.059.
- [16] Pulido JN, Afessa B, Masaki M, et al. Clinical spectrum, frequency, and significance of myocardial dysfunction in severe sepsis and septic shock[J]. *Mayo Clin Proc*, 2012, 87(7): 620-628. DOI: 10.1016/j.mayocp.2012.01.018.
- [17] Beesley SJ, Weber G, Sarge T, et al. Septic cardiomyopathy[J]. *Crit Care Med*, 2018, 46(4): 625-634. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002851.
- [18] Geri G, Vignon P, Aubry A, et al. Cardiovascular clusters in septic shock combining clinical and echocardiographic parameters: a post hoc analysis[J]. *Intensive Care Med*, 2019, 45(5): 657-667. DOI: 10.1007/s00134-019-05596-z.
- [19] Landesberg G, Jaffe AS, Gilon D, et al. Troponin elevation in severe sepsis and septic shock: the role of left ventricular diastolic dysfunction and right ventricular dilatation[J]. *Crit Care Med*, 2014, 42(4): 790-800. DOI: 10.1097/CCM.000000000000107.
- [20] Maeder M, Fehr T, Rickli H, et al. Sepsis-associated myocardial dysfunction: diagnostic and prognostic impact of cardiac troponins and natriuretic peptides[J]. *Chest*, 2006, 129(5): 1349-1366. DOI: 10.1378/chest.129.5.1349.
- [21] Vieillard-Baron A, Prigent A, Repessé X, et al. Right ventricular failure in septic shock: characterization, incidence and impact on fluid responsiveness[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 630. DOI: 10.1186/s13054-020-03345-z.

(收稿日期: 2024-04-26)  
(本文编辑: 孙茜 张耘菲)

## 关于经过广告审批后的广告中存在不规范医学名词术语未予更改的声明

依照广告审批的相关规定,按照广告厂家的要求,本刊刊登的伊力佳广告图片和内容均按照广告审查批准文件的原件刊出,故广告内容中“适应症”“禁忌症”未按标准医学名词术语修改为“适应证”“禁忌证”。特此声明!

(本刊编辑部)