

• 论著 •

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

李合强¹ 徐艳萍² 张小亚³ 王晓红³

¹ 宁夏医科大学第一临床学院,银川 750004; ² 宁夏医科大学总医院心脏中心功能检查部超声心动图室,银川 750004; ³ 宁夏医科大学总医院重症医学科,银川 750004

李合强现在山东大学第二医院成武分院(成武县人民医院)急诊医学科,菏泽 274200

通信作者:王晓红,Email:wxhhelen2005@sina.com

【摘要】目的 基于床旁超声评估脓毒性右心功能障碍(SRVD)的预后,并探讨其危险因素。**方法** 采用前瞻性观察性研究方法,选择 2021 年 2 月至 2022 年 1 月宁夏医科大学总医院重症监护病房(ICU)收治的脓毒症和脓毒性休克患者作为研究对象。于患者入 ICU 24 h 内应用 M 型超声测量三尖瓣环收缩期位移(TAPSE),依据 TAPSE 结果将研究对象分为 SRVD 组($TAPSE < 16 \text{ mm}$)和非 SRVD 组($TAPSE \geq 16 \text{ mm}$)。收集两组患者性别、年龄、脓毒性休克发生情况、基础疾病、患者来源、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)、入 ICU 24 h 内最高体温、感染部位及数量、机械通气时间及 28 d 病死率;记录入 ICU 24 h 内血流动力学参数、器官功能指标、氧疗参数及动脉血气分析指标。比较两组间上述指标的差异;采用二元多因素 Logistic 回归分析筛选 SRVD 独立危险因素,并绘制 SRVD 危险因素列线图。**结果** 最终纳入 116 例脓毒症和脓毒性休克患者,其中发生 SRVD 24 例(占 20.7%),92 例未发生 SRVD(占 79.3%)。与非 SRVD 组相比,SRVD 组患者急诊转入和感染部位 ≥ 2 处比例、APACHE II 评分、SOFA 评分更高,入 ICU 24 h 内肌钙蛋白 I(cTnI)、肌红蛋白(Mb)、肌酸激酶同工酶(CK-MB)、N 末端脑钠肽前体(NT-proBNP)、血肌酐(Scr)、动脉血乳酸(Lac)更高,左室射血分数(LVEF)、血小板计数(PLT)更低,且使用去甲肾上腺素和连续性肾脏替代治疗(CRRT)比例更高。二元多因素 Logistic 回归分析显示,LVEF [优势比(OR)=0.918,95% 置信区间(95%CI)为 0.851~0.991,P=0.028],PLT(OR=0.990,95%CI 为 0.981~0.999,P=0.035),Scr(OR=1.008,95%CI 为 1.001~1.016,P=0.025)、是否使用去甲肾上腺素(OR=15.198,95%CI 为 1.541~149.907,P=0.020)是脓毒症和脓毒性休克患者发生 SRVD 的独立危险因素。基于上述 4 个独立危险因素绘制 SRVD 危险因素列线图,结果显示,LVEF 为 0.50 时评分为 64 分,Scr 为 $100 \mu\text{mol/L}$ 时评分为 18 分,PLT 为 $100 \times 10^9/\text{L}$ 时评分为 85 分,使用去甲肾上腺素时评分为 39 分;当总分达到 253 分时,SRVD 发生风险为 88%。与非 SRVD 组相比,SRVD 组患者机械通气时间略有延长[h:80.0(28.5,170.0)比 47.0(10.0,135.0),P>0.05],28 d 病死率显著升高[41.7%(10/24)比 21.7%(20/92),P<0.05]。**结论** 脓毒症患者早期可出现右心功能障碍,且肾功能受损,病死率升高;LVEF 和 PLT 降低、Scr 升高及使用去甲肾上腺素是脓毒症患者发生 SRVD 的独立危险因素。

【关键词】 脓毒性右心功能障碍; 三尖瓣环收缩期位移; 床旁超声

基金项目:国家自然科学基金(82460071);宁夏回族自治区银川市科技项目计划(2023SF11)

临床试验注册:中国临床试验注册中心(ChiCTR2200066966)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250204-00097

Prognostic evaluation and risk factors analysis of septic right ventricular dysfunction based on bedside ultrasound

Li Heqiang¹, Xu Yanping², Zhang Xiaoya³, Wang Xiaohong³

¹The First Clinical Medicine School of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China; ²Echocardiography, Department of Cardiac Functional Examinations of Heart Center, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China; ³Department of Critical Care, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China

Li Heqiang is working on the Department of Emergency Medicine, Chengwu Branch of the Second Hospital of Shandong University (Chengwu County People's Hospital), Heze 274200, China

Corresponding author: Wang Xiaohong, Email: wxhhelen2005@sina.com

【Abstract】Objective To evaluate the prognosis of septic right ventricular dysfunction (SRVD) based on bedside ultrasound and explore its risk factors. **Methods** A prospective observational study was conducted involving septic and septic shock patients admitted to the intensive care unit (ICU) of the General Hospital of Ningxia Medical University from February 2021 to January 2022. Tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) was measured by M-mode ultrasound within 24 hours after ICU admission. According to the results of TAPSE, the subjects were divided into SRVD group ($TAPSE < 16 \text{ mm}$) and non-SRVD group ($TAPSE \geq 16 \text{ mm}$). The gender, age, occurrence of septic shock, underlying diseases, source of patients, acute physiology and chronic health evaluation II (APACHE II) score,

sequential organ failure assessment (SOFA) score, maximal body temperature within 24 hours after ICU admission, location and number of infections, duration of mechanical ventilation, and 28-day mortality were collected. Hemodynamic parameters, organ function indexes, oxygen therapy parameters and arterial blood gas analysis indexes were recorded within 24 hours after ICU admission. The differences of the above indexes between the two groups were compared. Binary multivariate Logistic regression analysis was used to screen out the independent risk factors for SRVD, and a nomogram of SRVD risk factors was drawn. **Results** 116 patients with sepsis and septic shock were enrolled, of which 24 (20.7%) had SRVD and 92 (79.3%) had no SRVD. Compared with the non-SRVD group, the patients in the SRVD group had higher emergency transfer and infection site ≥ 2 ratio, APACHE II score, SOFA score, higher cardiac troponin I (cTnI), myoglobin (Mb), MB isoenzyme of creatine kinase (CK-MB), N-terminal pro-brain natriuretic peptide (NT-proBNP), serum creatinine (SCr), arterial blood lactic acid (Lac) and lower left ventricular ejection fraction (LVEF), platelet count (PLT) within 24 hours after ICU admission, and higher proportion of norepinephrine application and continuous renal replacement therapy (CRRT). Binary multivariate Logistic regression analysis showed that LVEF [odds ratio (*OR*) = 0.918, 95% confidence interval (95%CI) was 0.851–0.991, *P* = 0.028], PLT (*OR* = 0.990, 95%CI was 0.981–0.999, *P* = 0.035), SCr (*OR* = 1.008, 95%CI was 1.001–1.016, *P* = 0.025), and the usage of norepinephrine (*OR* = 15.198, 95%CI was 1.541–149.907, *P* = 0.020) were independent risk factors for SRVD in patients with sepsis and septic shock. Based on the above four independent risk factors, a nomogram of SRVD risk factors was drawn. The results showed that the score was 64 when LVEF was 0.50, 18 when SCr was 100 $\mu\text{mol/L}$, 85 when PLT was $100 \times 10^9/\text{L}$, and 39 when norepinephrine was used. When the total score reached 253, the risk of SRVD was 88%. Compared with non-SRVD group, the duration of mechanical ventilation in SRVD group was slightly longer [hours: 80.0 (28.5, 170.0) vs. 47.0 (10.0, 135.0), *P* > 0.05], and the 28-day mortality was significantly higher [41.7% (10/24) vs. 21.7% (20/92), *P* < 0.05]. **Conclusions** Patients with sepsis may have right ventricular dysfunction, impaired renal function and increased mortality in the early stage. The decrease in LVEF and PLT, the increase in SCr and the application of norepinephrine are independent risk factors for SRVD in patients with sepsis.

【Key words】 Septic right ventricular dysfunction; Tricuspid annular plane systolic excursion; Bedside ultrasound

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82460071); Yinchuan Science and Technology Planning Project in Ningxia Hui Autonomous Region (2023SF11)

Trial Registration: Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR2200066966)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250204-00097

脓毒症具有高发病率和高病死率的特点^[1]。脓毒症发生时,心脏常受累及,表现为不同程度的心肌功能障碍。Parker 等^[2]在 1984 年就描述了脓毒性休克早期可出现可逆性心肌抑制,称为脓毒性心肌病(septic cardiomyopathy, SCM)。SCM 是脓毒症的严重并发症之一,约占脓毒症并发症的 50%,病死率高达 70%~90%^[3]。目前 SCM 尚无统一定义,多数研究者认同 SCM 具有以下特征:左心室扩张、心室收缩力降低、右心室和(或)左心室功能障碍伴容量反应性降低,符合其中一项或几项,并排除冠状动脉缺血引起的急性心功能障碍^[4-5]。早期针对 SCM 病理生理学的研究主要集中在左心室,但随着对右心室功能认识的不断深入,发现右心室可能在 SCM 中扮演着重要且独立的角色^[6]。

右心室的结构较左心室复杂,心脏收缩时,右心室排血量虽与左心室相近,但射血分数低于后者。三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)是一项反映右心收缩功能的重要参数^[7],且在不同检查者间一致性较高,是用于床旁动态评估危重症患者右心收缩功能障碍的简便易行的指标^[8]。本研究拟使用床旁超声评估脓毒症和脓毒性休克患者的右心功能,旨在早期发现脓毒性右

心功能障碍(septic right ventricular dysfunction, SRVD),并探讨其高危因素和对预后的影响,以期为临床提供早期预警,指导治疗,最终改善脓毒症预后。

1 资料与方法

1.1 研究对象: 本研究为前瞻性观察性研究。选择 2021 年 2 月至 2022 年 1 月宁夏医科大学总医院重症监护病房(intensive care unit, ICU)收治的脓毒症和脓毒性休克患者作为研究对象。

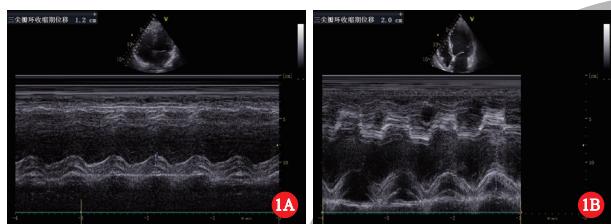
1.1.1 纳入标准: ①年龄 ≥ 18 周岁;②诊断为脓毒症或脓毒性休克 24 h 内,脓毒症和脓毒性休克诊断标准符合 Sepsis-3 国际共识定义^[1]。

1.1.2 排除标准: ①有先天性心脏病史;②1 周内新发急性冠脉综合征;③有严重瓣膜疾病或瓣膜手术史;④有明确的肺栓塞;⑤有慢性肺疾病、慢性肺动脉高压史;⑥心肺复苏术后;⑦近期发生急性心肌炎;⑧妊娠状态;⑨床旁心脏超声图像不清晰无法测量。

1.1.3 伦理学: 本研究符合医学伦理学标准,并经宁夏医科大学总医院医学科研伦理审查委员会批准(审批号: KYLL-2023-0321),在中国临床试验注册中心完成注册(注册号: ChiCTR2200066966)。所有检查和治疗均取得患者或家属的知情同意。

1.2 超声检查方法及测量指标:采用美国 GE 彩色多普勒超声诊断仪,型号为 LOGIQ C5Premium,频率为 1.5~4.0 MHz 的相控阵探头,在患者入 ICU 24 h 内由同一位超声科医师参考《重症超声临床应用技术规范》进行床旁右心功能评估及指标测量^[9]。

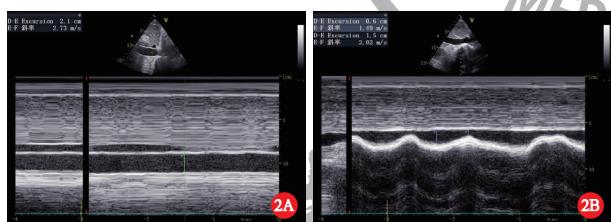
1.2.1 TAPSE 的测量:保持患者半左侧卧位,获得标准四腔心切面,将右房室瓣环显示清楚后,M 型超声下将取样线放在三尖瓣环右心室壁侧,在时间-运动图像上测量三尖瓣位移距离。测量并记录连续 3 次心动周期内的 TAPSE,取平均值(图 1)。



注:图 A 中 TAPSE 为 1.2 cm;图 B 中 TAPSE 为 2.0 cm

图 1 M 型超声下三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)

1.2.2 下腔静脉内径的测量:患者取平卧位,获得标准剑突下四腔心,调整探头获取下腔静脉长轴切面,M 型超声下将取样线放在离下腔静脉与右心房交接点远端 2 cm 处或肝静脉汇入下腔静脉的远端,采集 3 个呼吸周期,测量呼气末和吸气末下腔静脉内径,分别取平均值,并评估其随呼吸变异度(图 2)。



注:A 为下腔静脉(IVC)膨胀,随呼吸无变异度;
B 为 IVC 塌陷,随呼吸有变异度

图 2 M 型超声下 IVC 形态及其随呼吸变异度

1.3 研究分组:根据患者入 ICU 24 h 内 TAPSE 分为 SRVD 组和非 SRVD 组。参照美国超声心动图学会指南选择阈值,M 型超声下 TAPSE 正常参考值范围为 22~24 mm,TAPSE<16 mm 提示右心室收缩功能降低^[10-11],即右心功能障碍,故本研究将 M 型超声下 TAPSE<16 mm 的脓毒症定义为 SRVD。

1.4 观察指标:①一般资料及预后指标:收集患者的性别、年龄、脓毒性休克发生情况、基础疾病、患者来源、急性生理学与慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、

序贯器官衰竭评分(sequential organ failure assessment, SOFA)、入 ICU 24 h 内最高体温、感染部位及数量、机械通气时间及 28 d 病死率。②血流动力学参数和器官功能指标:记录患者入 ICU 24 h 内左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、去甲肾上腺素使用情况、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP; 8 h 记录 1 次, 取平均值)、中心静脉压(central venous pressure, CVP; 12 h 记录 1 次, 取平均值)、累积液体平衡量、心肌肌钙蛋白 I(cardiac troponin I, cTnI)、肌红蛋白(myoglobin, Mb)、肌酸激酶同工酶(MB isoenzyme of creatine kinase, CK-MB)、N 末端脑钠肽前体(N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP)、血肌酐(serum creatinine, SCr)、血小板计数(platelet count, PLT)及连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)情况。

③氧疗参数及动脉血气分析指标:记录患者入 ICU 24 h 内氧疗方式(有创通气、无创通气、其他)、机械通气情况、呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)、吸入氧浓度(fraction of inspired oxygen, FiO₂)、pH 值、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO₂)、氧合指数(PaO₂/FiO₂)及动脉血乳酸(lactic acid, Lac);动脉血气分析指标 12 h 记录 1 次,取平均值。

1.5 统计学方法:应用 SPSS 26.0 软件及 R 4.4.1 软件进行统计分析。正态分布计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用 t 检验;非正态分布计量资料以中位数(四分位数)[$M(Q_1, Q_3)$]表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。将组间差异有统计学意义的可能危险因素纳入二元多因素 Logistic 回归分析,筛选 SRVD 独立危险因素。将独立危险因素引入 R 软件,应用 Hmisc、rms 程序包绘制 SRVD 危险因素的列线图。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结 果

2.1 两组间一般资料及预后指标比较:共筛选脓毒症和脓毒性休克患者 251 例,排除未检查床旁心脏超声 89 例、先天性心脏病 1 例、急性冠脉综合征 2 例、肺栓塞 5 例、慢性肺疾病或慢性肺动脉高压 4 例、心肺复苏术后 3 例、急性心肌炎 1 例、床旁心脏超声图像不清晰无法测量 30 例,最终纳入 116 例。116 例患者中,24 例发生 SRVD(占 20.7%),92 例未发生 SRVD(占 79.3%)。

表 1 显示,两组患者性别、年龄、脓毒性休克比例、基础疾病、感染部位、入 ICU 24 h 内最高体温及感染部位差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。SRVD 组患者急诊转入和感染部位≥2 处比例、APACHE II 评分、SOFA 评分及 28 d 病死率均显著高于非 SRVD 组(均 $P < 0.05$)。尽管两组患者机械通气时间差异无统计学意义,但 SRVD 组较非 SRVD 组有延长趋势。

表 1 是否发生 SRVD 两组脓毒症和脓毒性休克患者一般资料及预后指标比较

指标	非 SRVD 组 (n=92)	SRVD 组 (n=24)	$\chi^2/t/Z$ 值	P 值
男性[例(%)]	73(79.3)	22(91.7)	1.206	0.272
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	58.7±12.7	62.0±14.1	-1.101	0.273
脓毒性休克[例(%)]	63(68.5)	20(83.3)	2.064	0.151
基础疾病[例(%)]				
高血压	25(27.2)	7(29.2)	0.038	0.846
冠心病	8(8.7)	4(16.7)	0.586	0.444
糖尿病	16(17.4)	4(16.7)	<0.001	1.000
慢性肾脏病	1(1.1)	1(4.2)	1.206	0.372
急诊转入[例(%)]	71(77.2)	24(100.0)	5.238	0.022
APACHE II 评分[分, $M(Q_1, Q_3)$]	18.5 (15.0, 24.0)	25.5 (21.0, 31.8)	-3.425	0.001
SOFA 评分[分, $M(Q_1, Q_3)$]	9.0 (6.0, 12.0)	11.5 (10.0, 14.8)	-3.449	0.001
最高体温(℃, $\bar{x} \pm s$)	37.7±1.2	37.3±1.2	1.629	0.104
感染部位[例(%)]				
肺部感染	35(38.0)	12(50.0)	1.129	0.288
腹腔感染	65(70.7)	19(79.2)	0.691	0.406
血流感染	17(18.5)	4(16.7)	<0.001	1.000
其他	14(15.2)	6(25.0)	Fisher	0.409
感染部位≥2 处[例(%)]	32(34.8)	15(62.5)	6.068	0.014
机械通气时间[h, $M(Q_1, Q_3)$]	47.0 (10.0, 135.0)	80.0 (28.5, 170.0)	-1.851	0.064
28 d 病死率[% (例)]	21.7(20)	41.7(10)	3.942	0.047

注:SRVD 为脓毒性右心功能障碍, 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

2.2 两组间入 ICU 24 h 内血流动力学参数和器官功能指标比较(表 2):两组患者入 ICU 24 h 内 MAP、CVP、下腔静脉内径及其随呼吸有变异度比例、累积液体平衡量差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。与非 SRVD 组相比,SRVD 组患者使用去甲肾上腺素比例、cTnI、Mb、CK-MB、NT-proBNP、SCr、CRRT 比例均显著升高,LVEF 和 PLT 显著降低(均 $P < 0.05$)。

2.3 两组间入 ICU 24 h 内氧疗参数及动脉血气分析指标比较(表 3):两组患者入 ICU 24 h 内氧疗方式、机械通气比例、PEEP、FiO₂、动脉血 pH 值、PaCO₂ 及 PaO₂/FiO₂ 差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。与非 SRVD 组相比,SRVD 组患者动脉血 Lac 水平显著升高($P < 0.05$)。

表 2 是否发生 SRVD 两组脓毒症和脓毒性休克患者血流动力学参数及器官功能指标比较

指标	非 SRVD 组 (n=92)	SRVD 组 (n=24)	$Z/\chi^2/t$ 值	P 值
LVEF 〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕	0.644 (0.627, 0.678)	0.602 (0.579, 0.654)	-2.946	0.003
使用 NE [例(%)]	42(45.7)	18(75.0)	6.566	0.010
MAP [mmHg, $M(Q_1, Q_3)$]	84.0 (74.3, 94.8)	83.5 (78.5, 90.8)	-0.024	0.981
CVP(cmH ₂ O, $\bar{x} \pm s$)	16.9±5.6	17.2±7.0	-0.187	0.852
下腔静脉内径 (cm, $\bar{x} \pm s$)	1.8±0.4	1.8±0.5	-0.286	0.775
下腔静脉随呼吸 有变异度[例(%)]	15(16.3)	7(29.2)	0.885	0.347
累积液体平衡量 〔mL, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	1 112.0 (302.5, 1 774.0)	927.0 (548.0, 2 098.8)	-0.654	0.513
cTnI [μg/L, $M(Q_1, Q_3)$]	0.02 (0.01, 0.13)	0.11 (0.03, 0.63)	-2.983	0.003
Mb [μg/L, $M(Q_1, Q_3)$]	205.2 (108.2, 420.5)	576.5 (170.7, 1 758.9)	-2.755	0.006
CK-MB [μg/L, $M(Q_1, Q_3)$]	2.2 (0.9, 5.2)	5.1 (2.8, 17.6)	-3.009	0.003
NT-proBNP [ng/L, $M(Q_1, Q_3)$]	1 111.4 (431.3, 3 806.3)	8 011.6 (1 280.2, 15 315.3)	-3.755	<0.001
SCr [μmol/L, $M(Q_1, Q_3)$]	77.6 (63.0, 147.4)	168.5 (117.8, 365.6)	-4.072	<0.001
PLT [×10 ⁹ /L, $M(Q_1, Q_3)$]	158.5 (88.0, 211.8)	103.5 (50.3, 136.3)	-2.726	0.006
CRRT [例(%)]	6(6.5)	9(37.5)	13.589	<0.001

注:SRVD 为脓毒性右心功能障碍,LVEF 为左室射血分数,NE 为去甲肾上腺素,MAP 为平均动脉压,CVP 为中心静脉压,cTnI 为心肌肌钙蛋白 I,Mb 为肌红蛋白,CK-MB 为肌酸激酶同工酶,NT-proBNP 为 N 末端脑钠肽前体,SCr 为血肌酐,PLT 为血小板计数,CRRT 为连续性肾脏替代治疗;1 mmHg=0.133 kPa,1 cmH₂O=0.098 kPa

表 3 是否发生 SRVD 两组脓毒症和脓毒性休克患者氧疗参数及动脉血气分析指标比较

指标	非 SRVD 组 (n=92)	SRVD 组 (n=24)	$Z/\chi^2/t$ 值	P 值
氧疗方式[例(%)]			Fisher	1.000
有创通气	53(57.6)	14(58.3)		
无创通气	3(3.3)	1(4.2)		
其他	36(39.1)	9(37.5)		
机械通气[例(%)]	58(63.0)	15(62.5)	0.021	0.884
PEEP [cmH ₂ O, $M(Q_1, Q_3)$]	5.0 (5.0, 6.0)	5.0 (5.0, 7.0)	-0.371	0.711
FiO ₂ 〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕	0.45 (0.40, 0.50)	0.45 (0.40, 0.50)	-1.175	0.240
动脉血 pH 值 〔 $M(Q_1, Q_3)$ 〕	7.35 (7.26, 7.42)	7.32 (7.29, 7.38)	-1.085	0.278
PaCO ₂ [mmHg, $M(Q_1, Q_3)$]	35.5 (30.0, 42.4)	33.8 (26.5, 42.9)	-0.586	0.558
PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	220.0±76.0	199.9±64.3	1.187	0.238
动脉血 Lac [mmol/L, $M(Q_1, Q_3)$]	1.8 (1.2, 2.6)	3.3 (1.7, 5.9)	-3.461	0.001

注:SRVD 为脓毒性右心功能障碍,PEEP 为呼气末正压,FiO₂ 为吸入氧浓度,PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压,PaO₂/FiO₂ 为氧合指数,Lac 为乳酸;1 cmH₂O=0.098 kPa,1 mmHg=0.133 kPa

2.4 SRVD 危险因素分析

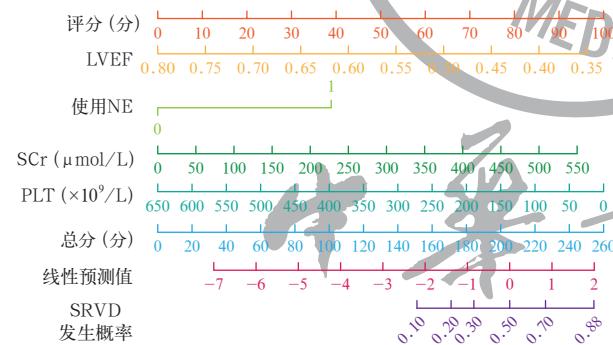
2.4.1 SRVD 危险因素的二元多因素 Logistic 回归分析(表 4): LVEF、PLT、SCr、是否使用去甲肾上腺素为 SRVD 的独立危险因素(均 $P < 0.05$)。

表 4 脓毒症和脓毒性休克患者发生 SRVD 危险因素的二元多因素 Logistic 回归分析

指标	β 值	s_{β}	χ^2 值	OR 值	95%CI	P 值
APACHE II 评分	0.024	0.065	0.135	1.024	0.901 ~ 1.164	0.713
SOFA 评分	-0.325	0.167	3.802	0.722	0.521 ~ 1.002	0.051
急诊转入	20.107	7.444	7.460	<0.001		0.998
LVEF	-0.085	0.039	4.843	0.918	0.851 ~ 0.991	0.028
感染部位 ≥ 2 处	1.083	0.638	2.879	2.954	0.845 ~ 10.324	0.090
PLT	-0.010	0.005	4.438	0.990	0.981 ~ 0.999	0.035
SCr	0.008	0.004	4.990	1.008	1.001 ~ 1.016	0.025
CRRT	1.252	0.849	2.174	3.498	0.662 ~ 18.481	0.140
动脉血 Lac	0.081	0.108	0.556	1.084	0.877 ~ 1.341	0.456
使用 NE	2.721	1.168	5.430	15.198	1.541 ~ 149.907	0.020

注:SRVD 为脓毒性右心功能障碍, 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, LVEF 为左室射血分数, PLT 为血小板计数, SCr 为血肌酐, CRRT 为连续性肾脏替代治疗, Lac 为乳酸, NE 为去甲肾上腺素, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间; 空白代表无此项

2.4.2 SRVD 危险因素列线图分析(图 3): 根据上述 4 个独立危险因素绘制 SRVD 危险因素列线图, 结果显示, LVEF 为 0.50 时评分为 64 分, SCr 为 100 $\mu\text{mol/L}$ 时评分为 18 分, PLT 为 $100 \times 10^9/\text{L}$ 时评分为 85 分, 使用去甲肾上腺素时评分为 39 分; 当总分为 253 分时, SRVD 发生风险为 88%。



注:SRVD 为脓毒性右心功能障碍, LVEF 为左室射血分数, NE 为去甲肾上腺素, SCr 为血肌酐, PLT 为血小板计数

图 3 脓毒症和脓毒性休克患者发生 SRVD 危险因素的列线图

3 讨论

脓毒性心肌损伤或心功能障碍(sepsis-induced myocardial dysfunction, SIMD)是脓毒性休克难以纠正, 并导致患者最终死亡的重要原因。SRVD 是 SIMD 的重要亚型^[12]。本研究显示, 20.7% 的脓毒症和脓毒性休克患者出现右心功能障碍, 比卢年芳等^[13]以右室收缩期三尖瓣环运动速度 $< 12 \text{ cm/s}$ 作为右室收缩功能障碍标准的发生率(12.4%)偏高。分析原因:

两项研究判断右心功能障碍标准不同; 纳入人群存在差异, 本研究亦将脓毒性休克纳入, 疾病严重程度较高。但两项研究均表明脓毒症患者发生右心功能障碍后病死率升高。因此, 临幊上在关注脓毒症患者左心功能的同时, 更要关注右心功能。本研究中 SRVD 患者 APACHE II 评分、SOFA 评分均显著高于非 SRVD 患者, 提示发生 SRVD 的脓毒症患者病情更严重。本研究还显示, SRVD 组患者 100% 来源于急诊, 且感染部位 ≥ 2 处比例显著高于非 SRVD 组, 提示 SRVD 患者有病情急且危重、多部位感染的特点。Innocenti 等^[14]通过对急诊科脓毒症及脓毒性休克患者右心功能障碍开展流行病学研究发现, 右心功能障碍患者年龄较无右心功能障碍者偏大、合并冠心病比例更高。但本研究中 SRVD 与非 SRVD 患者年龄和基础疾病差异无统计学意义, 可能与纳入人群存在异质性及医疗单元不同有关。对于年龄、合并冠心病是否潜在影响 SRVD 发生, 仍有待证实。

本研究还显示, 与非 SRVD 组比较, SRVD 组患者动脉血 Lac、使用去甲肾上腺素比例更高, 但两组累积液体平衡量差异无统计学意义; 同时, SRVD 组患者 LVEF 较非 SRVD 组显著降低, 心肌损伤标志物 cTnI、CK-MB 和 NT-proBNP 显著升高, 提示 SRVD 患者大多同时存在左心收缩功能异常, 更容易出现组织低灌注缺氧, 更需要血管活性药物治疗, 这可能是病死率升高的重要原因。分析其发生机制可能为脓毒症患者出现右心功能障碍, 由右心呈递给左心的容量减少, 使左心排血量减少, 外周组织灌注不足, 组织无氧代谢增加, 这可能解释了 SRVD 患者 Lac 较高的现象。

本研究中 SRVD 组患者 PLT 显著低于非 SRVD 组, SCr 和 CRRT 比例显著高于非 SRVD 组, 再度证实 SRVD 患者更容易并发肾脏、凝血等器官功能不全, 使预后恶化。一项前瞻性队列研究显示, 入 ICU 24 h 内较低的 TAPSE 与 72 h 内急性肾损伤的发生独立相关^[15], 支持本研究结果。如前所述, SRVD 患者 Lac 更高。龚春蕾等^[16]研究表明, Lac 升高是脓毒症相关性急性肾损伤发生及死亡的独立危险因素, 可能是 SRVD 患者并发肾损伤的一种机制。

Mesquida 等^[17]研究表明, 机械通气可引起肺血管阻力增加, 加重右心室后负荷, 使右心室每搏量下降。本研究探讨了 SRVD 与脓毒症患者氧疗参数及动脉血气分析指标的关系, 证实 SRVD 与非 SRVD 患者机械通气比例、PEEP、FiO₂、PaO₂/FiO₂ 差异无统

计学意义,与 Pulido 等^[18]的研究结果一致。提示机械通气设置和患者氧合水平并不是发生 SRVD 的主要因素。但本研究证实,LVEF 及 PLT 降低、SCr 升高、使用去甲肾上腺素是 SRVD 独立危险因素,并通过列线图可视化展示了上述危险因素在预测 SRVD 发生风险中的作用。提示入 ICU 早期联合上述指标对 SRVD 具有良好的预测价值。Bosch 等^[19]对 LVEF 保留(LVEF≥0.50)与 LVEF 减少(LVEF<0.50)的左心衰竭患者的右室功能进行了对比研究,结果表明,右室功能障碍与左心室功能障碍相关且平行共存,但与 LVEF 无关。而本研究显示,LVEF 从 0.50 逐渐下降时,对应列线图评分升高,提示 LVEF 降低后,右心功能出现适应性或损伤性功能障碍,可能与研究人群存在异质性,并通过不同病理生理改变所致有关。本研究显示,SCr>100 μmol/L 甚至更高时,对应列线图评分较高,提示肾损伤较重,在 SRVD 发生风险中的作用较大;Ronco 和 Di Lullo^[20]曾描述肾型心肾综合征类型,支持本研究结果。因此,临幊上应积极保护脓毒症患者肾功能,避免肾损伤,预防右心功能障碍。本研究显示,当 PLT<100×10⁹/L 甚至更低时,对应列线图评分较高,提示凝血功能紊乱在右心功能障碍发生过程中可能发挥重要作用。庄燕等^[21]将脓毒症时 cTnI>0.04 μg/L 或 LVEF<0.50 作为 SIMD 判定标准,结果表明,SOFA 评分、脑钠肽及 CK-MB 为 SIMD 的独立危险因素。该结果与本研究结果不同的原因在于定义脓毒症并发心肌功能障碍的标准不同,需设置统一标准化方案进一步研究。

综上所述,SRVD 增加了脓毒症患者预后不良的风险;基于列线图计算出 SRVD 发生风险,可早期识别 SRVD 高风险患者,及时纠正危险因素,改善预后。本研究病例数相对较少,且未探讨 SRVD 的发生机制。未来需开展多中心、大样本研究验证本研究结果,构建 SRVD 发生的临床预测模型并推广。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 李合强:设计及实施研究、论文撰写;徐艳萍、张小亚:实施研究、数据采集及分析;王晓红:研究设计、论文修改

参考文献

- [1] Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, et al. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (Sepsis-3) [J]. JAMA, 2016, 315 (8): 801–810. DOI: 10.1001/jama.2016.0287.
- [2] Parker MM, Shelhamer JH, Bacharach SL, et al. Profound but reversible myocardial depression in patients with septic shock [J]. Ann Intern Med, 1984, 100 (4): 483–490. DOI: 10.7326/0003-4819-100-4-483.
- [3] 卢年芳,朱波,杨德刚,等.高血浆组蛋白是脓毒症心肌病发生的独立危险因素 [J].中华危重病急救医学, 2019, 31 (12): 1457–1461. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.12.005.
- [4] Martin L, Derwall M, Al Zoubi S, et al. The septic heart: current understanding of molecular mechanisms and clinical implications [J]. Chest, 2019, 155 (2): 427–437. DOI: 10.1016/j.chest.2018.08.1037.
- [5] 聂时南.脓毒症心肌病——从发病机制到临床管理 [J].医学研究生学报, 2022, 35 (5): 449–454. DOI: 10.16571/j.cnki.1008-8199.2022.05.001.
- [6] Chan CM, Klinger JR. The right ventricle in sepsis [J]. Clin Chest Med, 2008, 29 (4): 661–676, ix. DOI: 10.1016/j.ccm.2008.07.002.
- [7] 重症血流动力学治疗协作组 (CHTC Group). 重症右心功能管理专家共识 [J]. 中华内科杂志, 2017, 56 (12): 962–973. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2017.12.017.
- [8] Olmos-Temois SG, Santos-Martínez LE, Alvarez-Álvarez R, et al. Interobserver agreement on the echocardiographic parameters that estimate right ventricular systolic function in the early postoperative period of cardiac surgery [J]. Med Intensiva, 2016, 40 (8): 491–498. DOI: 10.1016/j.medint.2016.02.013.
- [9] 中国重症超声研究组,重症血流动力学治疗协作组.重症超声临床应用技术规范 [J].中华内科杂志, 2018, 57 (6): 397–417. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2018.06.004.
- [10] 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.
- [11] Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2015, 16 (3): 233–270. DOI: 10.1093/eihci/jev014. Erratum in: Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2016, 17 (4): 412. DOI: 10.1093/eihci/jev041. Erratum in: Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2016, 17 (9): 969. DOI: 10.1093/eihci/jev124.
- [12] Wang J, Wang XT, Liu DW, et al. Induction and deduction in sepsis-induced cardiomyopathy: five typical categories [J]. Chin Med J (Engl), 2020, 133 (18): 2205–2211. DOI: 10.1097/CM9.00000000000000929.
- [13] 卢年芳,于江泉,邵俊,等.超声心动图心室功能指标与脓毒症患者预后关系的研究 [J].中华危重病急救医学, 2022, 34 (7): 740–745. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210826-01281.
- [14] Innocenti F, Palmieri V, Stefanone VT, et al. Epidemiology of right ventricular systolic dysfunction in patients with sepsis and septic shock in the emergency department [J]. Intern Emerg Med, 2020, 15 (7): 1281–1289. DOI: 10.1007/s11739-020-02325-z.
- [15] SICS Study Group. Associations between tricuspid annular plane systolic excursion to reflect right ventricular function and acute kidney injury in critically ill patients: a SICS-I sub-study [J]. Ann Intensive Care, 2019, 9 (1): 38. DOI: 10.1186/s13613-019-0513-z.
- [16] 龚春蕾,蒋远霞,唐艳,等.血乳酸升高是脓毒症相关性急性肾损伤发生及死亡的独立危险因素 [J].中华危重病急救医学, 2022, 34 (7): 714–720. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210823-01238.
- [17] Mesquida J, Kim HK, Pinsky MR. Effect of tidal volume, intrathoracic pressure, and cardiac contractility on variations in pulse pressure, stroke volume, and intrathoracic blood volume [J]. Intensive Care Med, 2011, 37 (10): 1672–1679. DOI: 10.1007/s00134-011-2304-3.
- [18] 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.
- [19] Bosch L, Lam CSP, Gong L, et al. Right ventricular dysfunction in left-sided heart failure with preserved versus reduced ejection fraction [J]. Eur J Heart Fail, 2017, 19 (12): 1664–1671. DOI: 10.1002/ejhf.873.
- [20] Ronco C, Di Lullo L. Cardiorenal syndrome in western countries: epidemiology, diagnosis and management approaches [J]. Kidney Dis (Basel), 2017, 2 (4): 151–163. DOI: 10.1159/000448749.
- [21] 庄燕,张海东,戴林峰,等.脓毒症心肌功能障碍危险因素及临床预测模型的构建 [J].中国中西医结合急救杂志, 2022, 29 (3): 262–267. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2022.03.002.

(收稿日期:2025-02-04)
(本文编辑:孙茜 马英)