·论著·

基于 48 h 心脏超声参数的脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型构建与验证

徐婧[1]　胡文[2]　曾牧[3]

[1] 中南大学湘雅医院老年疾病国家临床医学研究中心，长沙 410000；[2] 中南大学湘雅二医院胸外科，长沙 410000；[3] 中南大学湘雅二医院放射科，长沙 410000

通信作者：胡文，Email：huwenppk2025@163.com

【摘要】 目的　基于 48 h 心脏超声参数构建脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型，并进行验证。**方法**　采用回顾性病例对照研究方法，选择 2024 年 4 月至 2026 年 4 月中南大学湘雅医院收治的 120 例脓毒症相关性心肌损伤患者作为研究对象。收集患者的性别、年龄，以及入重症监护病房（ICU）48 h 内心脏超声检查结果，包括左心房内径（LAD）、左室舒张期末内径（LVEDD）、右心房内径（RAD）、右心室内径（RVD）、左室射血分数（LVEF）、三尖瓣环收缩期位移（TAPSE）、二尖瓣口舒张早期血流速度与二尖瓣环舒张早期运动速度比值（E/e' 比值）、左室整体纵向应变（LVGLS）及心包积液发生情况。采用单因素及多因素 Logistic 回归分析筛选 28 d 死亡的独立危险因素，并构建列线图预测模型。通过 Bootstrap 法进行 1 000 次重复抽样实施内部验证；采用受试者工作特征曲线（ROC 曲线）评估模型的区分能力；通过校准曲线及 Hosmer-Lemeshow 检验评价模型的校准效能；绘制决策曲线，分析模型的临床实用价值。**结果**　120 例患者均纳入最终分析，其中 28 d 生存 87 例，死亡 33 例，病死率 27.5%。与生存组比较，死亡组患者年龄更大〔岁：68（64，72）比 64（58，68），$P<0.05$〕，TAPSE＜17 mm、E/e' 比值＞14、LVGLS＞−16% 的比例更高〔TAPSE＜17 mm：58%（19/33）比 25%（22/87），E/e' 比值＞14：64%（21/33）比 36%（31/87），LVGLS＞−16%：64%（21/33）比 26%（23/87），均 $P<0.05$〕，LVEF 更低（0.44±0.12 比 0.49±0.11，$P=0.05$）；而两组间男性比例及其他心脏超声检查结果差异均无统计学意义（均 $P>0.05$）。多因素 Logistic 回归显示，高龄、TAPSE＜17 mm、E/e' 比值＞14 及 GLS＞−16% 是脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡的独立危险因素，而 LVEF 未进入最终模型。年龄每增加 1 岁，28 d 死亡风险增加 10.8%〔优势比（*OR*）=1.076，95% 置信区间（95%*CI*）为 1.019～1.136，$P=0.009$〕；TAPSE＜17 mm 患者 28 d 死亡风险是 TAPSE≥17 mm 患者的 3.709 倍（*OR*=3.709，95%*CI* 为 1.373～10.017，$P=0.010$）；E/e' 比值＞14 患者 28 d 死亡风险是 E/e' 比值≤14 患者的 3.027 倍（*OR*=3.027，95%*CI* 为 1.147～7.988，$P=0.025$）；LVGLS＞−16% 患者 28 d 死亡风险是 LVGLS≤−16% 患者的 4.924 倍（*OR*=4.924，95%*CI* 为 1.754～7.988，$P=0.002$）。基于上述 4 个危险因素构建脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险列线图预测模型。ROC 曲线分析显示，预测模型的 ROC 曲线下面积（AUC）为 0.829（95%*CI* 为 0.743～0.905），内部验证的 AUC 为 0.843（95%*CI* 为 0.753～0.917）。校准曲线显示，模型预测概率与实际观察结果具有良好的一致性；Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验显示，$\chi^2=8.226$，自由度=8，$P=0.412$，提示模型的校准性良好。决策曲线分析（DCA）显示，模型在阈值概率 5%～80% 时具有正向的临床净收益。**结论**　基于年龄及 48 h 内心脏超声指标 TAPSE、E/e' 比值、LVGLS 构建的预测模型，对脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险具有良好的预测效能。

【关键词】 脓毒症；心脏超声；预测模型；列线图；死亡

DOI：10.3760/cma.j.cn121430-20260624-00298

Development and validation of a 28-day death risk prediction model for sepsis-associated myocardial injury patients based on 48-hour echocardiographic parameters

Xu Jing[1], Hu Wen[2], Zeng Mu[3]

[1]National Clinical Research Center for Geriatric Disorders, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410000, China; [2]Department of Thoracic Surgery, Xiangya Second Hospital, Central South University, Changsha 410000, China; [3]Department of Radiology, Xiangya Second Hospital, Central South University, Changsha 410000, China

Corresponding author: Hu Wen, Email: huwenppk2025@163.com

【Abstract】 Objective　To develop and validate a 28-day death risk prediction model for patients with sepsis-associated myocardial injury based on 48-hour echocardiographic parameters. **Methods**　A retrospective case-control study was conducted. A total of 120 patients with sepsis-associated myocardial injury admitted to Xiangya Hospital, Central South University, from April 2024 to April 2026 were enrolled. Demographic data (gender and age) and echocardiographic parameters measured within 48 hours of intensive care unit (ICU) admission were collected. These parameters included left atrial diameter (LAD), left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD), right atrial diameter

(RAD), right ventricular diameter (RVD), left ventricular ejection fraction (LVEF), tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), the ratio of early diastolic transmitral flow velocity to early diastolic mitral annular velocity (E/e' ratio), left ventricular global longitudinal strain (LVGLS), and pericardial effusion. Univariate and multivariate Logistic regression analyses were performed to identify independent risk factors for 28-day death, and a nomogram prediction model was constructed. Internal validation was conducted using the Bootstrap resampling method (1 000 iterations). The receiver operator characteristic curve (ROC curve) was used to evaluate the discriminatory ability of the model. The calibration performance of the model was assessed through the calibration curve and the Hosmer-Lemeshow test. The decision curve was plotted to analyze the clinical practical value of the model. **Results** All 120 patients were enrolled in the final analysis, of whom 87 survived for 28 days and 33 died, with a mortality of 27.5%. Compared with the survival group, patients in the non-survival group were older [years: 68 (64, 72) vs. 64 (58, 68), $P<0.05$], and exhibited significantly higher proportions of TAPSE<17 mm [58% (19/33) vs. 25% (22/87)], E/e' ratio>14 [64% (21/33) vs. 36% (31/87)], and LVGLS>−16% [64% (21/33) vs. 26% (23/87)], all $P<0.05$. The LVEF was also lower in the non-survival group as compared with the survival group (0.44±0.12 vs. 0.49±0.11, $P=0.05$). However, no statistically significant differences were observed between the two groups in terms of the proportion of males or other echocardiographic parameters (all $P>0.05$). Multivariable Logistic regression analysis revealed that advanced age, TAPSE<17 mm, E/e' ratio>14, and LVGLS>−16% were identified as independent risk factors for 28-day death in patients with sepsis-associated myocardial injury, while LVEF was not included in the final model. For each 1-year increase in age, the risk of 28-day death increased by 10.8% [odds ratio (*OR*)=1.076, 95% confidence interval (95%*CI*) was 1.019-1.136, $P=0.009$]. A 3.709-fold higher risk of 28-day death was observed in patients with TAPSE<17 mm compared with those with TAPSE≥17 mm (*OR*=3.709, 95%*CI* was 1.373-10.017, $P=0.010$). Patients with E/e' ratio>14 were shown to have a 3.027-fold higher risk of 28-day death than those with E/e' ratio≤14 (*OR*=3.027, 95%*CI* was 1.147-7.988, $P=0.025$). Moreover, a 4.924-fold higher risk of 28-day death was demonstrated in patients with LVGLS>−16% compared with those with LVGLS≤−16% (*OR*=4.924, 95%*CI* was 1.754-7.988, $P=0.002$). A nomogram for predicting 28-day death in patients with sepsis-associated myocardial injury was subsequently constructed based on the above four independent risk factors. ROC curve analysis showed that the area under the ROC curve (AUC) of the predictive model was 0.829 (95%*CI* was 0.743-0.905), and the internally validated AUC was 0.843 (95%*CI* was 0.753-0.917). Calibration curve showed good consistency between the predicted probabilities and the actual observed outcomes, and the Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test yielded a χ^2 value of 8.226 with 8 degrees of freedom ($P=0.412$), indicating good calibration of the model. Decision curve analysis (DCA) demonstrated that the model provided a positive net clinical benefit when the threshold probability ranged from 5% to 80%. **Conclusion** The predictive model constructed based on age and the echocardiographic parameters TAPSE, E/e' ratio, and LVGLS measured within 48 hours demonstrated good predictive performance for 28-day death risk in patients with sepsis-associated myocardial injury.

【Key words】 Sepsis; Echocardiography; Prediction model; Nomogram; Death
DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260624-00298

脓毒症是重症监护病房(intensive care unit,ICU)常见危重症之一，40%～60% 的脓毒症患者会并发心肌损伤[1]，一旦合并心肌损伤，28 d 总体病死率约 26.8%[2]。研究显示，合并严重心功能受损的患者，病死率可升至 50% 以上[3-4]。因此，早期识别心肌功能障碍对于改善患者预后至关重要。

目前临床常用的评分系统，包括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)等，虽能反映全身病情严重程度，但均无法直接量化心肌功能。心脏超声作为床旁无创检查，可直观评估心脏结构与功能。现有研究多聚焦于入院 24 h 内单次心脏超声检查，但脓毒症相关性心肌损伤的病理进展具有明确的时间规律。一项 Meta 分析显示，左室收缩功能障碍、左室舒张功能障碍及右室功能障碍的发生率均在发病 48 h 内达到峰值，研究者将这一时期定义为临床监测的“黄金窗口期”[5]。然而，目前国内外尚缺乏基于 48 h 超声参数构建的死亡风险预测模型，现有模型存在明显的时间窗盲区。因此，本研究拟通过收集脓毒症相关性心肌损伤患者入 ICU 48 h 内的床旁心脏超声参数，构建 28 d 死亡风险的早期预警模型，以期为临床个体化治疗提供依据。

1　资料与方法

1.1　研究对象：采用回顾性病例对照研究方法，选择 2024 年 4 月至 2026 年 4 月中南大学湘雅医院收治的 120 例脓毒症相关性心肌损伤患者作为研究对象。

1.1.1　纳入标准：① 年龄≥18 岁；② 符合 Sepsis-3 诊断标准[6]；③ 符合成人脓毒症相关性心肌损伤急诊专家共识诊断标准，即心肌肌钙蛋白升高，且排除急性冠脉综合征等原因[7]；④ 入 ICU 48 h 内完成床旁心脏超声检查，且图像质量可供分析。

1.1.2　排除标准：① 48 h 内发生死亡事件；② 入 ICU

前存在左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)<0.40 的慢性心力衰竭;③ 存在中度及以上心脏瓣膜病;④ 入 ICU 前 30 d 内发生急性心肌梗死;⑤ 已经接受机械循环支持,包括体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)、主动脉内球囊反搏(intra-aortic balloon pump, IABP)、左心室辅助装置(left ventricular assist device, LVAD)植入;⑥ 接受大剂量血管活性药物(去甲肾上腺素用量>0.5 μg·kg^{-1}·min^{-1} 且持续>6 h);⑦ 存在慢性肾功能衰竭且长期透析;⑧ 妊娠。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并经中南大学湘雅医院临床医学伦理审查委员会审核通过(审批号:2025030160)。

1.3 分组:根据确诊后 28 d 内是否发生死亡事件将患者分为生存组和死亡组。

1.4 数据收集及处理:收集患者的性别、年龄,以及入 ICU 48 h 内心脏超声检查结果,包括左心房内径(left atrial diameter, LAD)、左室舒张期末内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVEDD)、右心房内径(right atrial diameter, RAD)、右心室内径(right ventricle diameter, RVD)、LVEF、三尖瓣环收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、二尖瓣口舒张早期血流速度与二尖瓣环舒张早期运动速度比值(the ratio of early diastolic transmitral flow velocity to early diastolic mitral annular velocity, E/e' 比值)、左室整体纵向应变(left ventricular global longitudinal strain, LVGLS)及心包积液发生情况。TAPSE[8]、E/e' 比值[9]和 LVGLS[10]均转换为二分类变量进行统计分析。

1.5 统计学方法:采用 SPSS 27.0 与 R 4.4.0 软件进行统计分析。连续变量经 Shapiro-Wilk 检验进行正态性评估,符合正态分布者以均数 ± 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验;非正态分布变量则以中位数(四分位数)〔$M(Q_1,Q_3)$〕表示,组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验。分类变量以频数或百分比描述,组间比较依适用条件采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。单因素分析中 $P<0.05$ 的变量通过共线性分析后,采用向前逐步回归法纳入多因素 Logistic 回归模型,分析 28 d 死亡相关因素;提取多因素分析中 $P<0.05$ 的预测变量,利用 R 语言 nomogramEX(3.0)软件包构建列线图预测模型。使用 Bootstrap 法进行 1 000 次重复抽样实施内部验证;采用受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)评估模型的区分能力,并计算 ROC 曲线下面积(area under the ROC curve, AUC)及其 95% 置信区间(95% confidence interval, 95%*CI*);通过校准曲线及 Hosmer-Lemeshow 检验评价模型的校准效能;绘制决策曲线,分析模型的临床实用价值。所有假设检验均为双侧,检验水准设定为 $\alpha=0.05$。

2 结　果

2.1 纳入脓毒症相关性心肌损伤患者的基本信息:120 例脓毒症相关性心肌损伤患者均纳入最终分析,其中男性 80 例(占 66.7%),女性 40 例(占 33.3%);中位年龄 64(56,68)岁;28 d 生存 87 例,死亡 33 例,病死率 27.5%。

2.2 脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡危险因素的单因素分析(表 1):与生存组比较,死亡组患者年龄更大,且入 ICU 48 h 内 TAPSE<17 mm、E/e' 比值>14、LVGLS>−16% 的比例更高(均 $P<0.05$),而 LVEF 更低($P=0.05$);而两组间男性比例及其他心脏超声检查结果,包括 LAD、LVEDD、RAD、RVD 和心包积液比例,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。

表 1　脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡危险因素的单因素分析

指标	生存组(87 例)	死亡组(33 例)	统计量值	*P* 值
男性〔例(%)〕	57(66)	23(70)	$\chi^2=0.188$	0.665
年龄〔岁,$M(Q_1,Q_3)$〕	64(58,68)	68(64,72)	$Z=-2.261$	0.024
入 ICU 48 h 内心脏超声检查结果				
LAD〔mm,$M(Q_1,Q_3)$〕	37(32,40)	38(34,43)	$Z=-1.289$	0.197
LVEDD〔mm,$M(Q_1,Q_3)$〕	55(48,59)	57(50,60)	$Z=-0.727$	0.467
RAD〔mm,$M(Q_1,Q_3)$〕	33(30,38)	34(30,37)	$Z=-0.153$	0.878
RVD〔mm,$M(Q_1,Q_3)$〕	32(29,36)	34(30,38)	$Z=-0.884$	0.377
LVEF($\bar{x}\pm s$)	0.49±0.11	0.44±0.12	$t=1.977$	0.050
TAPSE<17 mm〔例(%)〕	22(25)	19(58)	$\chi^2=11.089$	<0.001
E/e' 比值>14〔例(%)〕	31(36)	21(64)	$\chi^2=7.641$	0.006
LVGLS>−16%〔例(%)〕	23(26)	21(64)	$\chi^2=14.257$	<0.001
心包积液〔例(%)〕	22(25)	12(36)	$\chi^2=1.359$	0.244

注:ICU 为重症监护病房,LAD 为左心房内径,LVEDD 为左室舒张期末内径,RAD 为右心房内径,RVD 为右心室内径,LVEF 为左室射血分数,TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移,E/e' 比值为二尖瓣口舒张早期血流速度与二尖瓣环舒张早期运动速度比值,LVGLS 为左室整体纵向应变

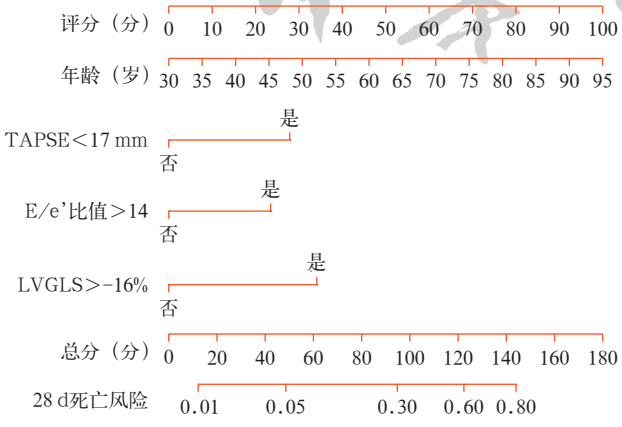
2.3　脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡危险因素的多因素 Logistic 回归分析：将单因素分析中 $P<0.05$ 的变量及 LVEF 进行共线性分析，结果显示，各参数的方差膨胀因子（variance inflation factor，VIF）均小于 5，提示自变量间不存在严重共线性。多因素 Logistic 回归分析显示（表 2），高龄、TAPSE＜17 mm、E/e' 比值＞14 及 LVGLS＞−16% 是脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡的独立危险因素，而 LVEF 未进入最终模型。年龄每增加 1 岁，28 d 死亡风险增加 10.8%（$P<0.05$）；TAPSE＜17 mm 患者 28 d 死亡风险是 TAPSE≥17 mm 患者的 3.709 倍（$P<0.05$）；E/e' 比值＞14 患者 28 d 死亡风险是 E/e' 比值≤14 患者的 3.027 倍（$P<0.05$）；LVGLS＞−16% 患者 28 d 死亡风险是 LVGLS≤−16% 患者的 4.924 倍（$P<0.05$）。

表 2　脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡危险因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	*OR* 值	*OR* 值的 95%*CI*	*P* 值
高龄	1.076	1.019～1.136	0.009
TAPSE＜17 mm	3.709	1.373～10.017	0.010
LVEF	0.959	0.919～1.001	0.055
E/e' 比值＞14	3.027	1.147～7.988	0.025
LVGLS＞−16%	4.924	1.754～7.988	0.002

注：TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移，LVEF 为左室射血分数，E/e' 比值为二尖瓣口舒张早期血流速度与二尖瓣环舒张早期运动速度比值，LVGLS 为左室整体纵向应变，*OR* 为优势比，95%*CI* 为 95% 置信区间

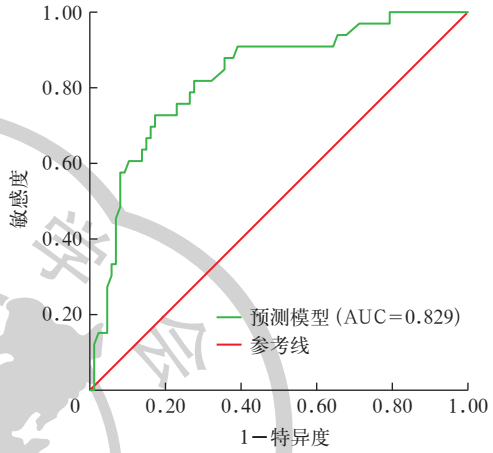
2.4　预测模型的建立及验证：基于多因素 Logistic 回归分析中筛选出的年龄、TAPSE＜17 mm、E/e' 比值＞14、LVGLS＞−16% 4 个危险因素构建脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型，并绘制模型列线图（图 1）。



注：TAPSE 为三尖瓣环收缩期位移，E/e' 比值为二尖瓣口舒张早期血流速度与二尖瓣环舒张早期运动速度比值，LVGLS 为左室整体纵向应变

图 1　脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型列线图

ROC 曲线分析显示（图 2），脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型的 AUC 为 0.829（95%*CI* 为 0.743～0.905）；当最佳截断值为 0.358 时，敏感度为 72.7%，特异度为 82.8%。采用 Bootstrap 法进行内部验证，结果显示，Bootstrap 均值 AUC 为 0.843（95%*CI* 为 0.753～0.917）。两者均提示该预测模型具有良好的区分能力。



注：ROC 曲线为受试者工作特征曲线，AUC 为 ROC 曲线下面积

图 2　脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型的 ROC 曲线

校准曲线显示（图 3），脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型的预测概率与实际观察结果具有良好的一致性；Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验显示，$\chi^2=8.226$，自由度＝8，$P=0.412$，$P>0.05$ 提示该预测模型的校准性良好。

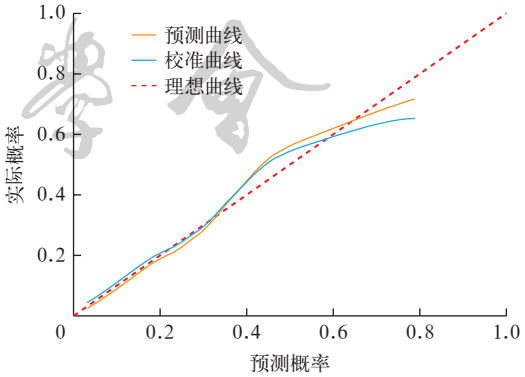
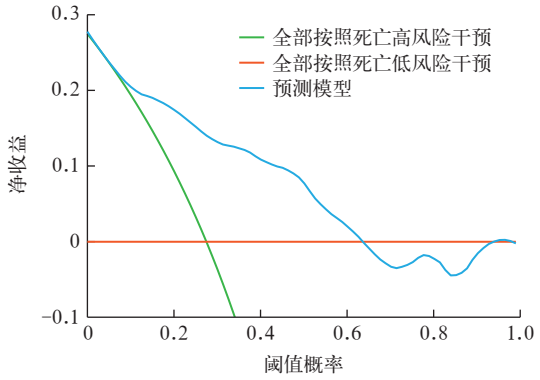


图 3　脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型的校准曲线

决策曲线分析（decision curve analysis，DCA）显示（图 4），脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型在阈值概率 5%～80% 时净收益最高，提示该预测模型在上述阈值范围内具有正向的临床净收益。



注：DCA 为决策曲线分析

图 4　脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险预测模型的 DCA 曲线

3　讨　论

脓毒症是 ICU 常见危重症，全球每年发病人数超过 4 900 万，相关死亡人数高达 1 100 万[11]。尽管复苏策略和器官支持技术不断进步，但脓毒症合并心肌损伤者 28 d 病死率仍居高不下（26.8%），且随着心肌损伤的加重，病死率可升至 50% 以上[1]。本研究回顾性纳入了 120 例脓毒症相关性心肌损伤患者，基于入 ICU 48 h 内床旁心脏超声检查结果构建了 28 d 死亡风险的列线图预测模型，结果显示，28 d 病死率为 27.5%（33/120）；多因素 Logistic 回归分析表明，高龄、TAPSE 降低、LVGLS 绝对值降低及 E/e' 比值升高是脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡的独立危险因素，而传统指标 LVEF 未进入最终模型；进一步分析表明，该预测模型具有良好的区分能力、校准效能及临床应用价值。

本研究表明，高龄是脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡的独立危险因素，这一结论与 2025 年发表的一项脓毒症系统评价与 Meta 分析结果方向一致[12]。年龄影响脓毒症相关性心肌损伤患者预后的核心机制是免疫衰老，即增龄相关的免疫系统功能衰退。免疫衰老的特征包括固有免疫细胞（包括中性粒细胞、单核 / 巨噬细胞）趋化和抗原呈递功能减退，适应性免疫系统中 T 细胞库多样性下降、淋巴细胞凋亡增加[13]。值得注意的是，老年脓毒症患者通常表现为“低炎症反应”而非“过度炎症”，其血浆炎症因子水平低于年轻脓毒症患者，但其病死率较年轻脓毒症患者更高，提示年龄相关的预后不良源于“免疫应答弹性下降”[14]。因此，对于高龄脓毒症相关性心肌损伤患者，临床医生应警惕其“静默型”感染表现和继发感染高风险，在抗感染治疗的同时，积极评估免疫状态。

TAPSE 是评估右心室收缩功能最简单、可重复性最佳的超声参数，TAPSE＜17 mm 反映右心功能障碍[8]。本研究多因素 Logistic 回归分析显示，TAPSE＜17 mm 是脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡的独立危险因素。既往研究证实，右室功能障碍与患者 30 d 死亡独立相关，且其 30 d 病死率高达 36.7%[2, 15]。究其原因，可能与脓毒症患者特殊的病理生理改变相关。脓毒症常合并急性呼吸窘迫综合征（acute respiratory distress syndrome，ARDS）和肺血管阻力升高，右心室对后负荷增加极端敏感，极易发生急性扩张和功能失代偿；此外，右心衰竭又可导致静脉系统淤血，同时因心室相互依赖作用，右室扩张使室间隔向左移位，进一步损害左心功能[16]。

LVGLS 是通过二维斑点追踪成像评估心肌收缩功能的敏感指标，LVGLS＞−16% 提示心肌收缩功能异常[10]。本研究多因素 Logistic 回归分析显示，LVGLS＞−16% 是脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡的独立危险因素。近期发表的一项多中心研究证实，在 LVEF 保留的脓毒症患者中，LVGLS 受损与主要不良心血管事件的发生显著相关，而 LVEF 本身无预测价值[17]，这与本研究结果相符。

E/e' 比值是评估左心室充盈压最常用的超声参数，E/e' 比值＞14 反映左室舒张功能障碍及左房压增高[9,18]。本研究多因素 Logistic 回归分析显示，E/e' 比值是脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡的独立危险因素。蔡青云等[19]研究表明，E/e' 比值是脓毒性休克合并心功能障碍的独立影响因素。分析其病理生理机制主要包括以下两个方面：① 炎症因子介导心肌细胞钙稳态失衡，导致主动松弛受损；② 心肌间质水肿导致左室顺应性下降。因此，临床医生可凭借 E/e' 比值在 48 h 内识别高死亡风险患者，其预测价值优于传统 LVEF。

本研究存在以下局限性：首先，本研究为单中心、小样本设计，预测模型的外部适用性仍需在多中心、大样本队列中进一步验证；其次，本研究中预测模型未纳入乳酸清除率、动态血压变化、血管活性药物评分等血流动力学指标，同时排除了入 ICU 48 h 内需大剂量血管活性药物或机械循环支持的极危重患者，故构建的预测模型主要适用于非难治性休克状态的脓毒症相关性心肌损伤患者早期床旁超声快速筛查，对终末期人群的适用性尚需进一步验证，未来需联合血流动力学参数构建多模态复合模型加以完善。

综上所述，本研究聚焦脓毒症相关性心肌损伤患者发病 48 h 这一心脏功能障碍“黄金窗口期”[5]，采用心脏超声参数（E/e' 比值、LVGLS、TAPSE）联合年龄构建 28 d 死亡预测模型。与既往研究大多采用 24 h 或 72 h 的时间点测量不同，48 h 时间窗既能反映初始心肌损伤严重程度，又能体现早期治疗反应[17]。本研究的核心发现为舒张功能、应变参数及右心功能的预后价值均优于传统指标 LVEF，与近年来研究结果一致[12, 15]，进一步支持了脓毒症心功能评估中应“摒弃 LVEF 中心论”、采用心脏超声联合评估的临床策略。基于年龄、舒张功能、应变参数和右心功能 4 个独立因素构建的预测模型，可在入 ICU 48 h 内实现对脓毒症相关性心肌损伤患者 28 d 死亡风险的早期预警。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　徐婧：酝酿和设计实验、采集数据、分析 / 解释数据、起草文章、统计分析；胡文：酝酿和设计实验、实施研究、对文章的知识性内容作批评性审阅、获取研究经费；曾牧：采集数据、统计分析、指导

参考文献

[1] 张余梁，徐升，郝芮，等. 脓毒性心肌病发病机制及中西医治疗进展 [J]. 中国医药导报，2025, 22(36): 181-185. DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2025.36.35.

[2] Liu HY, He HM, Lin ZB, et al. Prognostic value of TAPSE in patients with septic cardiomyopathy: a retrospective observational cohort study[J]. Front Med (Lausanne), 2025, 12: 1632964. DOI: 10.3389/fmed.2025.1632964.

[3] Liang YW, Zhu YF, Zhang R, et al. Incidence, prognosis, and risk factors of sepsis-induced cardiomyopathy[J]. World J Clin Cases, 2021, 9(31): 9452-9468. DOI: 10.12998/wjcc.v9.i31.9452.

[4] Yang WW, Cao YT, Li JY, et al. Pathogenesis and treatment strategies of sepsis-induced myocardial injury: modern and traditional medical perspectives[J]. Int J Biol Sci, 2025, 21(8): 3478-3504. DOI: 10.7150/ijbs.111288.

[5] Wang J, Tong ZW, Wang XT, et al. Time course of morbidity and mortality across echocardiographic phenotypes in patients with sepsis: a systematic review and Meta-analysis[J]. Crit Care Med, 2025, 53(11): e2294-e2304. DOI: 10.1097/CCM.0000000000006844.

[6] 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.

[7] 中国医疗保健国际交流促进会急诊医学分会，中华医学会急诊医学分会，国家老年医学中心（北京医院）. 成人脓毒症相关心肌损伤和（或）心功能障碍：急诊专家共识 [J]. 中华急诊医学杂志，2025, 34(9): 1180-1190. DOI: 10.3760/cma.j.cn114656-20250810-00562.

[8] Mukherjee M, Rudski LG, Addetia K, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults and special considerations in pulmonary hypertension: recommendations from the American Society of Echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2025, 38(3): 141-186. DOI: 10.1016/j.echo.2025.01.006. Erratum in: J Am Soc Echocardiogr, 2025, 38(7): 641. DOI: 10.1016/j.echo.2025.05.001.

[9] Nagueh SF, Sanborn DY, Oh JK, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography and for heart failure with preserved ejection fraction diagnosis: an update from the American Society of Echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2025, 38(7): 537-569. DOI: 10.1016/j.echo.2025.03.011.

[10] Thomas JD, Edvardsen T, Abraham T, et al. Clinical applications of strain echocardiography: a clinical consensus statement from the American Society of Echocardiography developed in collaboration with the European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2025, 38(11): 985-1020. DOI: 10.1016/j.echo.2025.07.007.

[11] Rudd KE, Johnson SC, Agesa KM, et al. Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990-2017: analysis for the Global Burden of Disease Study[J]. Lancet, 2020, 395(10219): 200-211. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32989-7.

[12] Garo ML, DI Folco M, Celestino MG, et al. Global longitudinal strain to early detect myocardial dysfunction in septic shock: a systematic review[J]. Minerva Anestesiol, 2025, 91(10): 961-969. DOI: 10.23736/S0375-9393.25.19224-9.

[13] 卢莹莹，白艳，李菲，等. 免疫代谢对脓毒症时巨噬细胞功能调节的研究进展 [J]. 中华危重病急救医学，2024, 36(12): 1321-1324. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20231216-01089.

[14] Kilic O, Demircan E. Age-related differences in sepsis outcomes: a comparative analysis of elderly and very elderly ICU patients[J]. J Crit Care Med (Targu Mures), 2025, 11(4): 337-346. DOI: 10.2478/jccm-2025-0034.

[15] Zhang HM, Gao BJ, Liu Y, et al. Patterns of left and right ventricular dysfunction and their clinical outcomes in septic patients[J]. BMC Anesthesiol, 2025, 25(1): 364. DOI: 10.1186/s12871-025-03233-5.

[16] 常正林，陈炳森，吴浩杰，等. 脓毒症实验动物模型的研究现状 [J]. 中华危重病急救医学，2025, 37(3): 310-316. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240226-00162.

[17] Huespe I, Sosa FA, Jena A, et al. Long-term outcomes of abnormal global longitudinal left ventricular strain during sepsis: a retrospective cohort study[J]. J Crit Care, 2026, 93: 155442. DOI: 10.1016/j.jcrc.2026.155442.

[18] Mitter SS, Shah SJ, Thomas JD. A test in context: E/A and E/e' to assess diastolic dysfunction and LV filling pressure[J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 69(11): 1451-1464. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.12.037.

[19] 蔡青云，石文芳，杨留生，等. 脓毒症休克合并心功能障碍预测模型的建立与验证 [J]. 中华急诊医学杂志，2026, 35(2): 214-219. DOI: 10.3760/cma.j.cn114656-20250813-00584.

（收稿日期：2026-06-24）
（本文编辑：孙茜）