

【DOI】 10.3969 / j.issn.1671-6450.2026.08.012

论著 • 临床

# 颈动脉校正流动时间联合桡动脉阻力指数对感染性休克患者液体复苏结局的预测价值

高航 李晨辉 李绒绒 陈恬璐 蒋伟



基金项目: 陕西省重点研发计划项目( 2025SF-YBXM-316)

作者单位: 710000 西安 西安市人民医院/西安市第四医院重症医学科( 高航、李晨辉、李绒绒、陈恬璐); 710000 西安, 西安交通大学第二附属医院重症医学科( 蒋伟)

通信作者: 陈恬璐 E-mail: 634905998@ qq.com

**【摘要】** 目的 探讨颈动脉校正流动时间( cFT) 联合桡动脉阻力指数( RI) 对感染性休克患者液体复苏结局的预测价值。方法 回顾性选取 2020 年 1 月—2024 年 12 月西安市人民医院/西安市第四医院重症医学科收治的感染性休克患者 100 例为研究对象, 根据 28 d 预后分为预后良好组 70 例和预后不良组 30 例。所有患者均在液体复苏前( T0)、复苏 6 h 后( T6)、复苏 24 h 后( T24) 检测 cFT、RI, 同步记录血流动力学及实验室指标; Spearman 秩相关分析 cFT、RI 与急性生理与慢性健康评估 II ( APACHE II) 评分、序贯器官衰竭评估( SOFA) 评分的相关性; 采用受试者工作特征( ROC) 曲线分析 cFT、RI 对感染性休克患者预后不良的预测价值; 多因素 Logistic 回归分析感染性休克患者预后不良的影响因素。结果 T0、T6、T24 时比较, 预后不良组 cFT 均低于预后良好组, RI 均高于预后不良组( T0:  $t/P=5.987/<0.001$ 、 $4.098/<0.001$ ; T6:  $t/P=9.214/<0.001$ 、 $9.567/<0.001$ ; T24:  $t/P=9.563/<0.001$ 、 $11.654/<0.001$ ); cFT 与 APACHE II 评分、SOFA 评分呈负相关(  $r/P=-0.524/<0.001$ 、 $-0.498/<0.001$ ), RI 与 APACHE II 评分、SOFA 评分呈正相关(  $r/P=0.612/<0.001$ 、 $0.587/<0.001$ ); T24 时 cFT、RI 单独及二者联合预测感染性休克患者预后不良的 AUC 分别为 0.748、0.886、0.957, 二者联合优于各自单独预测价值(  $Z/P=4.126/<0.001$ 、 $2.873/0.004$ ); APACHE II 评分高、SOFA 评分高、乳酸高、RI 高是感染性休克患者预后不良的独立危险因素[OR( 95%CI) = 3.892( 1.725~8.776)、5.124( 2.218~11.826)、2.751( 1.286~5.887)、5.638( 2.435~13.062) ], 平均动脉压( MAP)、中心静脉压( CVP)、cFT 高是感染性休克患者预后不良的独立保护因素[OR( 95%CI) = 0.438( 0.234~0.821)、0.469( 0.257~0.857)、0.295( 0.138~0.629) ]。结论 T24 时 cFT 联合 RI 可有效预测感染性休克患者液体复苏结局, 可为临床评估复苏效果、调整治疗方案提供可靠依据。

**【关键词】** 感染性休克; 液体复苏; 颈动脉校正流动时间; 桡动脉阻力指数; 液体复苏结局

**【中图分类号】** R631<sup>+</sup>.4

**【文献标识码】** A

**Predictive value of carotid corrected flow time combined with radial artery resistance index for fluid resuscitation outcomes in patients with septic shock** Gao Hang<sup>\*</sup>, Li Chenhui, Li Rongrong, Chen Tianlu, Jiang Wei. <sup>\*</sup> Department of Critical Care Medicine, Xi'an People's Hospital/Xi'an Fourth Hospital, Shaanxi, Xi'an 710000, China

Funding program: Shaanxi Provincial Key Research and Development Project ( 2025SF-YBXM-316)

Corresponding author: Chen Tianlu, E-mail: 634905998@ qq.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the predictive value of carotid corrected flow time (cFT) combined with radial artery resistance index (RI) for fluid resuscitation outcomes in patients with septic shock, providing a reference for precise clinical assessment and optimization of resuscitation strategies. **Methods** A retrospective study was conducted on 100 patients with septic shock admitted to the Department of Critical Care Medicine of Xi'an People's Hospital (Xi'an Fourth Hospital) from January 2020 to December 2024. Patients were divided into a good prognosis group ( $n=70$ ) and a poor prognosis group ( $n=30$ ) based on 28-day outcomes. cFT and RI were measured in all patients before fluid resuscitation (T0), 6 hours after resuscitation (T6), and 24 hours after resuscitation (T24). Hemodynamic and laboratory parameters were recorded synchronously. The predictive value of each indicator for prognosis was analyzed using ROC curves. Independent risk factors for poor prognosis were identified using multivariate logistic regression. **Results** The corrected flow time (cFT) gradually increased with resuscitation time in both groups, and the cFT at each time point was significantly higher in the good prognosis group than in

the poor prognosis group. The resistance index (RI) gradually decreased with resuscitation time in both groups, and the RI at each time point was significantly lower in the good prognosis group than in the poor prognosis group ( $t/P=5.987/<0.001$ ,  $9.214/<0.001$ ,  $9.563/<0.001$ ,  $4.098/<0.001$ ,  $9.567/<0.001$ ,  $11.654/<0.001$ ,  $F/P=25.368/<0.001$ ,  $148.652/<0.001$ ,  $17.854/<0.001$ ,  $132.895/<0.001$ ). Correlation analysis was performed between cFT, RI and SOFA score, APACHE II score. The area under the curve (AUC) values of cFT, RI, and their combination for predicting poor prognosis in patients with septic shock were 0.748, 0.886, and 0.957, respectively, with the combination demonstrating superior predictive value compared to either alone (DeLong method comparison:  $Z/P=4.126/<0.001$ ,  $2.873/0.004$ ). High APACHE II score, high SOFA score, high lactate, and high RI were independent risk factors for poor prognosis in patients with septic shock, whereas high MAP, high CVP, and high cFT level were independent protective factors [ $OR(95\%CI)=3.892(1.725-8.776)$ ,  $2.751(1.286-5.887)$ ,  $5.124(2.218-11.826)$ ,  $5.638(2.435-13.062)$ ,  $0.438(0.234-0.821)$ ,  $0.469(0.257-0.857)$ ,  $0.295(0.138-0.629)$ ]. The length of ICU stay and duration of mechanical ventilation in the good prognosis group were significantly lower than those in the poor prognosis group ( $t/P=7.892/<0.001$ ,  $8.345/<0.001$ ). **Conclusion** cFT combined with RI at the T24 time point can effectively predict fluid resuscitation outcomes in patients with septic shock. The combined measurement provides a reliable basis for clinical assessment of resuscitation effectiveness and adjustment of treatment strategies.

**【Key words】** Septic shock; Fluid resuscitation; Carotid corrected flow time; Radial artery resistance index; Prognosis

感染性休克是重症医学常见的致命性急症,由感染引发全身炎症反应,导致急性循环衰竭与多器官功能损伤,病死率达 30%~50%<sup>[1]</sup>。液体复苏作为初始核心治疗,旨在快速恢复有效循环血量、改善组织灌注,但部分患者经规范复苏后仍预后不良,目前缺乏敏感、特异的动态评估指标是影响治疗决策的主要瓶颈<sup>[2]</sup>。传统血流动力学指标如平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、中心静脉压(central venous pressure, CVP)易受血管活性药物、心功能等因素干扰,难以精准反映组织灌注状态,预测效能有限<sup>[3]</sup>。颈动脉校正流动时间(carotid corrected flow time, cFT)可客观评估血管前负荷与血流动力学稳定性,桡动脉阻力指数(resistance index, RI)能间接反映组织灌注效率,二者均为无创、可重复的超声监测指标,但其联合应用于感染性休克液体复苏预后预测的研究尚不完善<sup>[4]</sup>。本研究动态监测不同复苏阶段 cFT 与 RI,分析其联合预测价值,为临床精准评估复苏效果、优化个体化治疗提供依据,报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料 回顾性选取 2020 年 1 月—2024 年 12 月西安市人民医院/西安市第四医院重症医学科收治的感染性休克患者 100 例为研究对象,根据 28 d 预后分为预后良好组 70 例和预后不良组 30 例,预后不良定义为 28 d 内死亡或因多器官功能衰竭放弃治疗出院。预后不良组入院时急性生理与慢性健康评估 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II) 评分、序贯器官衰竭评估(sequential organ failure assessment, SOFA) 评分、乳酸(lactate, Lac) 水平高于预后良好组,MAP、CVP 低于预后良好组,预后不

良组 ICU 住院时间、机械通气时间长于预后良好组 ( $P<0.01$ ),见表 1。本研究经医院伦理委员会批准(KJLL-Z-H-2024013),患者和/或家属知情同意并签署知情同意书。

表 1 预后良好组与预后不良组感染性休克患者临床资料比较  
**Tab.1** Comparison of clinical data between patients with septic shock in the poor prognosis group and those in the good prognosis group

| 项 目                                       | 预后良好组<br>( <i>n</i> =70) | 预后不良组<br>( <i>n</i> =30) | $\chi^2/t$ 值 | <i>P</i> 值 |
|-------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|------------|
| 男[例( % )]                                 | 39( 55.71)               | 17( 56.67)               | 0.012        | 0.913      |
| 年龄( $\bar{x}\pm s$ , 岁)                   | 61.95 $\pm$ 11.28        | 64.32 $\pm$ 10.85        | 0.987        | 0.326      |
| 感染部位[例( % )]                              |                          |                          | —            | 0.595*     |
| 肺部感染                                      | 37( 52.86)               | 14( 46.67)               |              |            |
| 腹腔感染                                      | 18( 25.71)               | 9( 30.00)                |              |            |
| 泌尿系统感染                                    | 8( 11.43)                | 4( 13.33)                |              |            |
| 其他感染                                      | 7( 10.00)                | 3( 10.00)                |              |            |
| 基础疾病[例( % )]                              |                          |                          |              |            |
| 高血压                                       | 24( 34.29)               | 10( 33.33)               | 0.015        | 0.903      |
| 糖尿病                                       | 20( 28.57)               | 8( 26.67)                | 0.051        | 0.821      |
| 慢性肺部疾病                                    | 14( 20.00)               | 7( 23.33)                | 0.218        | 0.640      |
| APACHE II 评分( $\bar{x}\pm s$ , 分)         | 18.46 $\pm$ 4.22         | 24.55 $\pm$ 5.01         | 6.782        | <0.001     |
| SOFA 评分( $\bar{x}\pm s$ , 分)              | 8.28 $\pm$ 2.12          | 12.56 $\pm$ 1.86         | 9.584        | <0.001     |
| MAP( $\bar{x}\pm s$ , mmHg)               | 58.62 $\pm$ 6.35         | 53.42 $\pm$ 5.89         | 4.236        | <0.001     |
| CVP( $\bar{x}\pm s$ , cmH <sub>2</sub> O) | 5.18 $\pm$ 1.40          | 4.18 $\pm$ 1.27          | 3.765        | <0.001     |
| Lac( $\bar{x}\pm s$ , mmol/L)             | 3.21 $\pm$ 1.19          | 5.72 $\pm$ 1.46          | 9.015        | <0.001     |
| ICU 住院时间( $\bar{x}\pm s$ , d)             | 8.25 $\pm$ 3.12          | 14.68 $\pm$ 4.87         | 7.911        | <0.001     |
| 机械通气时间( $\bar{x}\pm s$ , d)               | 5.36 $\pm$ 2.45          | 10.72 $\pm$ 3.69         | 8.549        | <0.001     |

注: \* 采用 Fisher 精确概率检验。

1.2 病例选择标准 (1) 纳入标准: ①符合 Sepsis 3.0 诊断标准,即感染导致的危及生命的器官功能障碍(SOFA 评分 $\geq 2$ 分),同时满足感染性休克诊断标准:

充分液体复苏(初始晶液体 30 ml/kg 输注后)仍存在 MAP<65 mmHg ,且 Lac 水平 $\geq 2$  mmol/L; ②年龄 $\geq 18$  岁; ③入院后 2 h 内启动液体复苏治疗; ④配合完成颈动脉超声及桡动脉血流动力学检测 ,临床资料完整。(2) 排除标准: ①严重心脑血管疾病如急性心肌梗死、脑出血、严重主动脉瓣疾病; ②颈动脉或桡动脉解剖畸形、狭窄或血栓形成; ③妊娠或哺乳期女性; ④恶性肿瘤终末期、临终关怀患者; ⑤进入 ICU 时已发生不可逆性多器官功能障碍综合征(SOFA 评分 $\geq 15$  分); ⑥超声图像质量不佳 ,无法完成参数测量。

1.3 液体复苏方法 患者均按照《拯救脓毒症运动: 脓毒症与感染性休克治疗国际指南 2021 版》<sup>[5]</sup> 实施标准化液体复苏治疗: (1) 初始 3 h 内输注晶液体 30 ml/kg ,之后根据血流动力学指标调整静脉滴注速度; (2) 目标导向治疗: 维持 MAP $\geq 65$  mmHg ,CVP 8~12 cmH<sub>2</sub>O (尿量 $\geq 0.5$  ml $\cdot$ kg<sup>-1</sup> $\cdot$ h<sup>-1</sup>) ,中心静脉血氧饱和度 $\geq 70\%$ ; (3) 若液体复苏后 MAP 仍不达标 ,及时使用血管活性药物(去甲肾上腺素为主); (4) 同时给予抗感染、器官功能支持、营养支持等综合治疗。

1.4 观测指标与方法 于液体复苏前(T<sub>0</sub>)、复苏 6 h 后(T<sub>6</sub>)、复苏 24 h 后(T<sub>24</sub>) 完成以下指标检测。

1.4.1 cFT 检测: 患者取仰卧位 ,头偏向对侧 ,暴露颈部 ,采用迈瑞 Carius TE9 彩色多普勒超声诊断仪 ,配备 L12-3 线阵探头(频率 3~12 MHz) 。探头置于颈动脉窦下方 1~2 cm 处 ,获取颈动脉长轴血流频谱 ,测量收缩期血流时间(flow time ,FT) ,同时记录心率(heart rate ,HR) ,计算  $cFT = FT \times \sqrt{HR/60}$  ,连续测量 3 个心动周期 ,取平均值<sup>[6]</sup>。

1.4.2 桡动脉 RI 检测: 采用同一超声诊断仪 ,切换至高频线阵探头(频率 7~15 MHz) ,探头置于腕部桡动脉搏动最强处 ,获取桡动脉血流频谱 ,测量收缩期峰值流速(peak systolic velocity ,PSV)、舒张末期流速(end-diastolic velocity ,EDV) ,计算  $RI = (PSV - EDV) / PSV$  ,连续测量 3 个心动周期 ,取平均值<sup>[7]</sup>。

1.4.3 随访及预后评估: 随访起始时间为患者入院并启动液体复苏治疗当日 ,终止时间为随访满 28 d 或患者出现终点事件(死亡、放弃治疗出院)时 ,随访周期全程为 28 d。随访方法采用“住院期间床旁随访+出院后电话随访”相结合的方式 ,患者在 ICU 住院期间 ,每日床旁随访 1 次 ,若患者在 28 d 内转出 ICU 或出院 ,出院后每 7 d 进行 1 次电话随访 ,随访过程中 ,详细记录患者 28 d 生存状态、ICU 住院时间、机械通气时间等结局指标; 对于失访患者 ,记录失访时间 ,按截尾数据纳入统计分析 ,确保随访数据的完整性和准

确性。

1.5 统计学方法 采用 SPSS 27.0 软件对数据进行统计分析。计数资料以频数或构成比(%) 表示 ,组间比较采用 $\chi^2$  检验或 Fisher 精确概率检验; 符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$  表示 ,2 组间比较采用独立样本 *t* 检验; Pearson 法分析 cFT、RI 与 APACHE II 评分、SOFA 评分的相关性; 采用受试者工作特征(ROC) 曲线分析 cFT、RI 对感染性休克患者预后不良的预测价值; 多因素 Logistic 回归分析感染性休克患者预后不良的影响因素。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 2 组不同时间点 cFT、RI 变化比较 随着复苏时间延长 ,2 组 cFT 均逐渐升高 ,RI 逐渐降低(*P*<0.01); T<sub>0</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>24</sub> 时比较 ,预后不良组 cFT 均低于预后良好组 ,RI 均高于预后良好组(*P*<0.01) ,见表 2。

表 2 预后良好组与预后不良组感染性休克患者不同时间点 cFT、RI 比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

| Tab.2 Comparison of cFT and RI at different time points between the poor prognosis group and the good prognosis group of patients |                 |                            |                            |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 组 别                                                                                                                               | 时间              | cFT( ms)                   | RI                         |  |
| 预后良好组<br>( <i>n</i> = 70)                                                                                                         | T <sub>0</sub>  | 325.18 $\pm$ 35.29         | 0.78 $\pm$ 0.08            |  |
|                                                                                                                                   | T <sub>6</sub>  | 386.95 $\pm$ 42.47         | 0.65 $\pm$ 0.07            |  |
|                                                                                                                                   | T <sub>24</sub> | 432.36 $\pm$ 48.21         | 0.58 $\pm$ 0.06            |  |
| 预后不良组<br>( <i>n</i> = 30)                                                                                                         | T <sub>0</sub>  | 286.73 $\pm$ 32.76         | 0.86 $\pm$ 0.09            |  |
|                                                                                                                                   | T <sub>6</sub>  | 312.85 $\pm$ 38.57         | 0.80 $\pm$ 0.08            |  |
|                                                                                                                                   | T <sub>24</sub> | 335.94 $\pm$ 41.86         | 0.76 $\pm$ 0.07            |  |
| <i>F</i> / <i>P</i> 预后良好组内值                                                                                                       |                 | 148.652/ <i>&lt;</i> 0.001 | 132.895/ <i>&lt;</i> 0.001 |  |
| <i>F</i> / <i>P</i> 预后不良组内值                                                                                                       |                 | 25.368/ <i>&lt;</i> 0.001  | 17.854/ <i>&lt;</i> 0.001  |  |
| <i>t</i> / <i>P</i> T <sub>0</sub> 时组间值                                                                                           |                 | 5.987/ <i>&lt;</i> 0.001   | 4.098/ <i>&lt;</i> 0.001   |  |
| <i>t</i> / <i>P</i> T <sub>6</sub> 时组间值                                                                                           |                 | 9.214/ <i>&lt;</i> 0.001   | 9.567/ <i>&lt;</i> 0.001   |  |
| <i>t</i> / <i>P</i> T <sub>24</sub> 时组间值                                                                                          |                 | 9.563/ <i>&lt;</i> 0.001   | 11.654/ <i>&lt;</i> 0.001  |  |

2.2 T<sub>24</sub> 时 cFT、RI 与 APACHE II 评分、SOFA 评分的相关性分析 Pearson 相关分析显示 ,cFT 与 APACHE II 评分、SOFA 评分呈负相关(*r*/*P* = -0.524/*<*0.001、-0.498/*<*0.001); RI 与 APACHE II 评分、SOFA 评分呈正相关(*r*/*P* = 0.612/*<*0.001、0.587/*<*0.001) ,见表 3。

表 3 cFT、RI 与 APACHE II 评分、SOFA 评分的相关性分析

Tab.3 Correlation analysis of cFT , RI with APACHE II score and SOFA score

| 指 标 | APACHE II 评分 |                   | SOFA 评分    |                   |
|-----|--------------|-------------------|------------|-------------------|
|     | <i>r</i> 值   | <i>P</i> 值        | <i>r</i> 值 | <i>P</i> 值        |
| cFT | -0.524       | <i>&lt;</i> 0.001 | -0.498     | <i>&lt;</i> 0.001 |
| RI  | 0.612        | <i>&lt;</i> 0.001 | 0.587      | <i>&lt;</i> 0.001 |

2.3 T24 时 cFT、RI 对感染性休克患者液体复苏后预后不良的预测价值 绘制 T24 时 cFT、RI 预测感染性休克患者预后不良的 ROC 曲线,并计算 AUC,结果显示:cFT、RI 单独及二者联合预测感染性休克患者预后不良的 AUC 分别为 0.748、0.886、0.957,二者联合优于各自单独预测价值 ( $Z/P = 4.126 / < 0.001$ 、 $2.873 / 0.004$ ),见表 4、图 1。

表 4 T24 时 cFT、RI 对感染性休克患者预后不良的预测价值

Tab.4 Comparison of the predictive value of cFT and RI at T24 for poor prognosis in patients with septic shock

| 指 标  | Cut-off 值 | AUC   | 95%CI       | 敏感度   | 特异度   | Youden 指数 |
|------|-----------|-------|-------------|-------|-------|-----------|
| cFT  | 382.60 ms | 0.748 | 0.663~0.817 | 0.812 | 0.756 | 0.568     |
| RI   | 0.66      | 0.886 | 0.823~0.931 | 0.875 | 0.833 | 0.708     |
| 二者联合 |           | 0.957 | 0.885~0.974 | 0.925 | 0.889 | 0.814     |

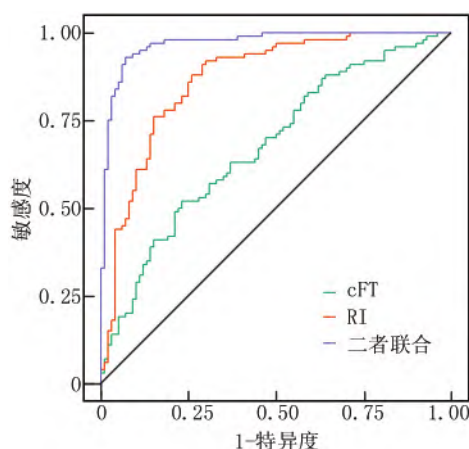


图 1 T24 时 cFT、RI 预测感染性休克患者预后不良的 ROC 曲线

Fig.1 ROC curve of cFT、RI at time point T24 for predicting the prognosis of patients with septic shock

2.4 多因素 Logistic 回归分析感染性休克患者液体复苏后预后不良的影响因素 以感染性休克患者预后不良为因变量(赋值:是“1”;否“0”),以上述结果中  $P < 0.05$  项目(连续变量,原值代入)为自变量,进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示:APACHE II 评分高、SOFA 评分高、Lac 高、RI 高是感染性休克患者预后不良的独立危险因素,MAP 高、CVP 高、cFT 高是独立保护因素( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ),见表 5。

### 3 讨 论

感染性休克患者液体复苏的核心目标是恢复有效循环、改善组织缺氧,而精准识别预后不良高危人群、动态调整治疗方案是降低病死率的关键<sup>[8]</sup>。本研究

表 5 多因素 Logistic 回归分析感染性休克患者预后不良的影响因素

Tab.5 Multivariate Logistic regression analysis of the influencing factors for poor prognosis in patients with septic shock

| 自变量           | $\beta$ 值 | SE 值  | Wald 值 | P 值    | OR 值  | 95%CI        |
|---------------|-----------|-------|--------|--------|-------|--------------|
| APACHE II 评分高 | 1.361     | 0.428 | 10.368 | 0.001  | 3.892 | 1.725~8.776  |
| SOFA 评分高      | 1.634     | 0.445 | 13.582 | <0.001 | 5.124 | 2.218~11.826 |
| Lac 高         | 1.012     | 0.395 | 6.685  | 0.010  | 2.751 | 1.286~5.887  |
| MAP 高         | -0.825    | 0.316 | 6.743  | 0.009  | 0.438 | 0.234~0.821  |
| CVP 高         | -0.756    | 0.302 | 6.217  | 0.013  | 0.469 | 0.257~0.857  |
| cFT 高         | -1.218    | 0.387 | 9.846  | 0.002  | 0.295 | 0.138~0.629  |
| RI 高          | 1.731     | 0.462 | 14.256 | <0.001 | 5.638 | 2.435~13.062 |

聚焦 cFT 与 RI 两项无创超声指标,通过动态监测与联合分析,证实其对感染性休克患者液体复苏结局具有高效预测价值,且 T24 时点二者联合检测的效能最优,这一发现为临床提供了新的评估工具,也为深入理解复苏过程中的血流动力学变化提供了实验依据。

cFT 与 RI 的动态变化本质上是感染性休克患者血流动力学状态及组织灌注改善程度的直观体现,其组间差异与短期预后密切相关。本研究结果显示,预后良好组在 T0、T6、T24 各时间点 cFT 均显著高于预后不良组,且随液体复苏进程呈更明显的上升趋势;而预后不良组至 T24 时 cFT 仍处于较低水平,组间差异具有统计学意义( $P < 0.01$ )。cFT 经心率校正后,可有效排除心率波动对血流时间的干扰,能更为稳定地反映颈动脉有效血流持续时间,从而间接评估有效循环血量与血管前负荷状态<sup>[9]</sup>。感染性休克早期,全身炎症反应介导血管扩张、毛细血管通透性增加,致使有效循环血量相对不足,cFT 显著降低;经规范液体复苏后,预后良好患者血容量迅速补足,血管张力逐步恢复,血流动力学趋于稳定,因此 cFT 呈进行性升高<sup>[10]</sup>。与之相反,预后不良患者多合并严重血管内皮损伤、微循环障碍乃至心肌抑制,即便给予足量液体复苏,亦难以有效改善组织灌注,最终表现为 cFT 升高不显著。与此同时,预后良好组 RI 随复苏进程持续下降,而预后不良组 RI 始终维持在较高水平,其机制与 RI 直接反映外周血管阻力的生理特性密切相关<sup>[11]</sup>。感染性休克状态下,交感神经兴奋及大量炎性介质释放可引发外周血管强烈收缩,导致 RI 显著升高;复苏有效者组织灌注逐渐改善,血管痉挛状态得以缓解,RI 随之下降;而预后不良患者因炎症反应持续失控、多器官功能损伤进行性加重,外周血管阻力难以逆转,故 RI 持续处于高位<sup>[12]</sup>。上述结果提示,RI 升高可作为感染性休克患者液体复苏后预后不良的独立危险因素,临床可将其作为评估外周灌注恶化的重要超声指标。

cFT 联合 RI 的预测效能显著优于单一指标,核心在于二者从病理生理机制上形成多维度互补,而非简单指标叠加,可精准捕捉感染性休克液体复苏的关键病理生理特征<sup>[13]</sup>。cFT 经心率校正后可反映血管前负荷与血流动力学稳定性,间接评估有效循环血量与心功能匹配度,感染性休克时因血管扩张、容量不足而缩短,复苏有效则逐渐延长<sup>[14]</sup>。但 cFT 仅能反映血流动力学状态,无法直接体现外周组织灌注效率,合并基础心脏病或复苏后期心肌抑制时,还可能因容量过负荷出现假性升高,掩盖灌注不足<sup>[15]</sup>。RI 可弥补上述不足,其通过流速差值量化外周血管阻力,直接反映组织灌注效率<sup>[16]</sup>。感染性休克早期血管收缩使 RI 升高,复苏有效者逐渐降低,预后不良者则因持续微循环障碍、内皮损伤维持高位<sup>[17]</sup>。二者形成高效互补:若 cFT 升高不明显但 RI 显著降低,提示灌注改善,单一 cFT 易出现误判;若 cFT 升高而 RI 居高不下,则提示血流动力学稳定但组织灌注不足,需及时调整治疗策略<sup>[18]</sup>。相较于 APACHE II 评分、Lac 等传统指标,cFT 联合 RI 的临床实用性更突出<sup>[19]</sup>。APACHE II 评分仅反映初始病情严重程度,无法动态监测复苏变化<sup>[20-21]</sup>;Lac 半衰期长、变化滞后,难以实时指导治疗<sup>[22-23]</sup>。而 cFT 和 RI 可通过床旁超声无创、快速、重复检测,实时反映前负荷与外周灌注动态变化,及时识别隐匿性灌注不足或过度复苏,避免单一指标评估偏差<sup>[24]</sup>。凭借机制互补与操作便捷的优势,该联合指标可成为评估感染性休克液体复苏预后的更优工具。

#### 4 结 论

本研究证实,T24 时 cFT 联合 RI 对感染性休克患者液体复苏结局具有重要预测价值,可为临床精准评估复苏效果、识别高危患者提供可靠依据,有助于优化个体化治疗策略、降低病死率。但本研究仍存在一定局限性:其一,为单中心回顾性研究,样本量相对有限,且感染部位分布存在差异,可能存在选择偏倚,结果外推性需多中心、前瞻性研究进一步验证;其二,未考虑患者基础心脏功能、血管活性药物使用剂量及种类等混杂因素对 cFT 与 RI 的影响,这些变量可能干扰指标的预测准确性;其三,仅监测至复苏后 24 h,未探讨更长时间维度下指标变化与预后的关联,且未纳入其他超声指标进行多模态分析。未来研究可扩大样本量、开展多中心合作,纳入更多混杂因素进行分层分析,结合人工智能技术构建多指标联合预测模型,进一步提升预测效能与临床适用性。

利益冲突:所有作者声明无利益冲突

#### 作者贡献声明

高航:研究思路构思,试验方案设计,论文审阅及定稿;李晨辉:临床病例筛选;李绒绒:研究数据复核校验;陈恬璐:临床数据采集与整理,统计学分析,论文撰写;蒋伟:研究结果解读,论文撰写,文献整理

#### 参考文献

- [1] 梁华兵,李红梅,李小英,等.血管外肺水指数结合血浆大内皮素-1 对感染性休克并发 ARDS 患者预后的预测价值[J]. 疑难病杂志,2021,20(3):227-231. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6450.2021.03.003.
- [2] 刘宁宁,王玮璐,李绚璇,等.感染性休克患者应用重症超声联合脉搏指示连续心排量监测指导液体复苏的效果[J]. 中华医院感染学杂志,2024,34(21):3216-3220. DOI: 10.11816/cn.ni.2024-240280.
- [3] 徐维,许继元,李茂琴,等.彩色多普勒超声对感染性休克病人肾脏血流动力学及预后评估的价值[J]. 安徽医药,2024,28(3):581-585. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6469.2024.03.034.
- [4] D'Arrigo S, Dell'Anna AM, Sandroni C, et al. Can carotid artery Doppler variations induced by the end-expiratory occlusion maneuver predict fluid responsiveness in septic shock patients[J]. Crit Care, 2023,27(1):153. DOI: 10.1186/s13054-023-04422-9.
- [5] 纪文焘,孟岩,薄禄龙,等.《拯救脓毒症运动:脓毒症与感染性休克治疗国际指南 2021 版》的解读[J]. 中华麻醉学杂志,2021,41(12):1409-1413. DOI: 10.3760/cma.j.cn131073.20211210.01201.
- [6] Maitra S, Baidya DK, Anand RK, et al. Carotid artery corrected flow time and respiratory variations of peak blood flow velocity for prediction of hypotension after induction of general anesthesia in adult patients undergoing elective surgery: A prospective observational study[J]. J Ultrasound Med, 2020,39(4):721-730. DOI: 10.1002/jum.15151.
- [7] Rodríguez Aparicio EE, Almanza Hernández DF, Rubio Ramos C, et al. Correlation between the radial artery resistance index and the systemic vascular resistance index: A cross-sectional study[J]. Ultrasound J, 2024,16(1):29. DOI: 10.1186/s13089-024-00379-0.
- [8] Zhang Y, Wang M, Lu Z, et al. Effect of fluid resuscitation strategies for obese patients with sepsis and septic shock: A systematic review[J]. Intensive Care Res, 2023,3(1):61-68. DOI: 10.1007/s44231-022-00019-y.
- [9] Kenny JS, Horner C, Elfarnawany M, et al. Carotid artery corrected flow time measured by wearable doppler ultrasound accurately detects changing stroke volume during the passive leg raise in ambulatory volunteers[J]. Front Biosci (Elite Ed), 2023,15(2):12. DOI: 10.31083/j.fbe1502012.
- [10] 李刚,魏冯宁,张国强,等.被动抬腿试验联合经胸超声心动图指导脓毒性休克患者早期液体复苏的临床意义[J]. 中华危重病急救医学,2019,31(4):413-417. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.04.008.
- [11] 蒋强,周楚.感染性休克 AKI 患者外周血 miR-21、miR-29a、Klotho 表达和肾脏血流动力学指标水平变化及与预后的关系分析[J]. 首都食品与医药,2024,31(16):44-47. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8257.2024.16.017.

(下转 967 页)

- 老年学杂志, 2024, 44( 19) : 4810-4815. DOI: 10. 3969/j. issn. 1005-9202. 2024. 19.046.
- [15] Xu Y, Wei S, Zhu L, et al. Low expression of the intestinal metabolite butyric acid and the corresponding memory pattern regulate HDAC4 to promote apoptosis in rat hippocampal neurons [J]. *Eco-toxicol Environ Saf*, 2023, 253: 114660. DOI: 10. 1016/j. ecoenv. 2023.114660.
- [16] Shen M, Zheng R, Kan X. Neuroprotection of bone marrow-derived mesenchymal stem cell-derived extracellular vesicle-enclosed miR-410 correlates with HDAC4 knockdown in hypoxic-ischemic brain damage [J]. *Neurochem Res*, 2022, 47( 10) : 3150-3166. DOI: 10. 1007/s11064-022-03670-5.
- [17] Novak R, Hrkac S, Salai G, et al. The role of ADAMTS-4 in atherosclerosis and vessel wall abnormalities [J]. *J Vasc Res*, 2022, 59( 2) : 69-77. DOI: 10.1159/000521498.
- [18] 钱静, 张婷婷, 陈露. 血清 ANXA2、ADAMTS4 水平与短暂性脑缺血发作患者颈动脉斑块性质的关系 [J]. *山东医药*, 2024, 64( 25) : 16-20. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2024.25.004.
- [19] Desai M, Morris NA. Prolonged post-traumatic vasospasm resulting in delayed cerebral ischemia after mild traumatic brain injury [J]. *Neurocrit Care*, 2018, 29( 3) : 512-518. DOI: 10.1007/s12028-018-0542-8.
- [20] 褚学红, 申英杰, 董晓, 等. 氧化应激在蛛网膜下腔出血后早期脑损伤中的作用研究进展 [J]. *中华医学杂志*, 2024, 104( 17) : 1540-1546. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20231118-01129.
- [21] 王文, 郑从波, 胡芳宝, 等. 血清 AQP4、HMGB1、FGL2 水平联合颅内压和脑组织氧分压监测在创伤性脑损伤患者预后中的价值 [J]. *疑难病杂志*, 2025, 24( 1) : 29-34. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6450.2025.01.006.
- [22] 秦艳, 田微, 闫云芳, 等. 死亡相关蛋白激酶 1 表达水平与颅脑损伤患者病情严重程度及预后的关系研究 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2024, 32( 10) : 72-76. DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2024.00.239.
- [23] 张晓柯, 李真, 王萌. 闭合型颅脑损伤患者 T 淋巴细胞亚群、炎症介质水平分析 [J]. *中国临床实用医学*, 2023, 14( 6) : 58-61. DOI: 10.3760/cma.j.cn115570-20231111-01372.
- [24] 李宝嘉, 林春英, 王兆涛, 等. 血清中枢神经特异性蛋白水平与中-重度颅脑损伤患者预后的预测价值 [J]. *中国当代医药*, 2025, 32( 10) : 60-64. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4721.2025.10.12.
- [25] Bai L, Guan Z, Zhang J, et al. PACAP mitigates traumatic brain injury progression via ELF3/ZO-1 axis-mediated blood-brain barrier repair [J]. *Psychoneuroendocrinology*, 2025, 180: 107573. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2025.107573.

( 收稿日期: 2026-04-09)

( 上接 961 页)

- [12] 董玉任, 韦兆吉, 李拥军. 动态血流动力学监测在感染性休克液体复苏容量反应性评估中的临床价值 [J]. *海南医学*, 2025, 36( 17) : 2450-2455. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2025.17.004.
- [13] 杨娜, 谢永鹏, 刘克喜. 颈动脉校正血流时间及颈动脉峰流速变异度预测感染性休克病人容量反应性的研究 [J]. *安徽医药*, 2021, 25( 12) : 2416-2420. DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-6469. 2021. 12.020.
- [14] 柳东之, 邵弘毅, 罗宇, 等. 颈动脉校正血流时间对急诊创伤患者气管插管后低血压预测价值 [J]. *浙江创伤外科*, 2024, 29( 1) : 10-13. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7.2024.01.003.
- [15] Wang J, Li Y, Su H, et al. Carotid artery corrected flow time and respiratory variations of peak blood flow velocity for prediction of hypotension after induction of general anesthesia in elderly patients [J]. *BMC Geriatr*, 2022, 22( 1) : 882. DOI: 10. 1186/s12877-022-03619-x.
- [16] 马倩, 石雪朵, 季晶晶, 等. 颈动脉校正血流时间和下腔静脉呼吸变异度预测术后患者容量反应性的比较 [J]. *徐州医科大学学报*, 2021, 41( 8) : 564-569. DOI: 10. 3969/j. issn. 2096-3882. 2021. 08.004.
- [17] 陈秋明, 刘远波, 黄一洪. 心脏超声联合 P<sub>cv</sub>-aCO<sub>2</sub> 在感染性休克液体复苏中的应用价值 [J]. *临床医学研究与实践*, 2025, 10( 25) : 62-65. DOI: 10.19347/j.cnki.2096-1413.202525016.
- [18] 孙一夫, 王辑文, 姜艳. 脉搏指示持续心排血量血流动力学和动脉血乳酸监测在感染性休克血液灌流治疗中的应用价值 [J]. *中华医院感染学杂志*, 2023, 33( 7) : 976-980. DOI: 10.11816/cn.ni.2023-221076.
- [19] 邱晓晓, 韩吟秋. 脉搏灌注变异指数、颈动脉校正流动时间对剖宫产术中蛛网膜下腔麻醉后低血压发生的预测价值分析 [J]. *中国医刊*, 2022, 57( 11) : 1258-1260. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1070.2022.11.027.
- [20] 张雪. APACHE II 评分联合红细胞分布宽度对结肠穿孔合并感染性休克患者死亡风险的预测价值 [J]. *中国肛肠病杂志*, 2024, 44( 1) : 7-10. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4174.2024.01.003.
- [21] 郑从波, 胡芳宝, 王文, 等. 血清 HSP27、omentin-1、CC16 水平在评估脓毒症休克患者病情严重程度及不良预后中的价值分析 [J]. *疑难病杂志*, 2025, 24( 11) : 1341-1346. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6450.2025.11.012.
- [22] 黄新蕾, 许伟恒, 刘冬辉, 等. 乳酸清除率、SVRI 水平及心排量监测与感染性休克患者治疗效果及预后的关系 [J]. *分子诊断与治疗杂志*, 2024, 16( 1) : 140-143, 148. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-6929. 2024. 01. 033.
- [23] 唐源, 张晴晴, 李岩, 等. 血清多配体蛋白聚糖 1 和肽基精氨酸脱氨酶 2 水平与感染性休克患者病情及预后的关系研究 [J]. *中国医药*, 2025, 20( 2) : 236-241. DOI: 10. 3760/j. issn. 1673-4777. 2025.02.016.
- [24] 郑龙祥, 吴斌, 吴则志. 血清 SChe、LCR、APACHE-II 评分联合测定对感染性休克患者预后结果的预测效能分析 [J]. *中华保健医学杂志*, 2025, 27( 4) : 659-662. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-3245. 2025.04.022.

( 收稿日期: 2026-01-21)