

· 临床研究 ·

基于生物电阻抗心输出量测定分型对急诊老年心功能不全患者预后价值研究

薛艳丽 李雪琦 田兆兴

首都医科大学附属北京积水潭医院急诊科, 北京 100035

通信作者: 田兆兴, Email: tjtx@126.com

【摘要】目的 传统急诊血流动力学评估依赖经验性单一指标阈值, 难以反映多维生理交互。本研究基于生物电阻抗和聚类分析构建无创血流动力学表型, 并验证其临床效度。**方法** 回顾性收集 2024 年 9 月 1 日至 2026 年 2 月 1 日急诊入院的年龄 ≥ 65 岁老年心功能不全患者, 基于无创心排监测三维参数: 心脏指数 (cardiac index, CI)、胸腔液体水平 (thoracic fluid content, TFC)、总外周阻力指数 (total peripheral resistance index, TPRI) 进行 K-means 聚类。在完善超声心动图和 NT-proBNP 的验证亚组中, 分析表型与心功能指标的关联及 30 d 预后。**结果** 共纳入 290 例心功能不全患者, 识别出 4 个血流动力学表型: 低排高阻型 (18.6%, $n=54$): CI 降低 ($2.13 \pm 0.48 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)、TPRI 显著升高 ($4173 \pm 766 \text{ dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5} \cdot \text{m}^2$); 高排低阻型 (24.1%, $n=70$): CI 升高 ($3.88 \pm 0.49 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)、TPRI 降低 ($1857 \pm 432 \text{ dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5} \cdot \text{m}^2$); 高容湿型 (14.5%, $n=42$): TFC 显著升高 ($91.2 \pm 13.7 \text{ /k}\Omega$); 正常代偿型 (42.8%, $n=124$): 各参数正常。四组间 CI、TPRI、TFC 差异有统计学意义 (均 $P<0.001$), 效应量为强 ($\eta^2=0.36\sim0.51$)。轮廓系数 0.335, Bootstrap 验证 Jaccard 指数 0.82 (>0.75 稳定性阈值), 提示聚类稳定。263 例验证亚组分析显示, 不同表型间左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) ($H=8.169$, $P=0.043$) 和 NT-proBNP ($H=18.05$, $P<0.001$) 差异有统计学意义, 高容湿型 NT-proBNP 水平最高 [5391.09(991.32, 9370.00) pg/mL]。四组 30 d 全因病死率差异有统计学意义 ($\chi^2=7.991$, $P=0.046$), 高容湿型患者的病死率最高 (25.00%, 10/40), 正常代偿型最低 (8.0%, 9/113)。**结论** 基于无创心排监测三维参数的聚类分析可有效识别急诊老年心功能不全患者血流动力学表型, 高容湿型提示不良预后。该分类框架为精准血流动力学评估提供了新工具, 有助于早期危险分层与个体化治疗。

【关键词】 数据驱动; 无创心排监测; 血流动力学表型; 聚类分析; 生物电阻抗; 心力衰竭; 老年患者; 预后评估

基金项目: 国家临床重点专科建设项目 (2022 年); 北京市自然科学基金项目 (7262060)

DOI:10.3760/cma.j.cn114656-20260513-00418

Bioelectrical impedance-based cardiac output classification for prognosis in elderly emergency cardiac dysfunction

Xue Yanli, Li Xueqi, Tian Zhaoxing

Department of Emergency Medicine, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing, 100035 China

Corresponding author: Tian Zhaoxing, Email: tjtx@126.com

【Abstract】Objective Conventional emergency hemodynamic assessment relies on empirical single-parameter thresholds and fails to capture multidimensional physiological interactions. This study aimed to develop non-invasive hemodynamic phenotypes using bioelectrical impedance and cluster analysis, and to validate their clinical utility in elderly emergency patients. **Methods** A retrospective study was conducted in elderly patients (aged ≥ 65 years) with cardiac insufficiency who were admitted to the emergency department between September 1, 2024 and February 1, 2026. Three-dimensional

hemodynamic parameters—cardiac index (CI), thoracic fluid content (TFC), and total peripheral resistance index (TPRI)—were acquired via non-invasive cardiac output monitoring (NICOM) and subjected to K-means clustering. In the validation subcohort (patients who underwent transthoracic echocardiography and N-terminal pro-B-type natriuretic peptide [NT-proBNP] testing within 24 hours of admission), associations between phenotypes and cardiac function indices as well as 30-day all-cause mortality were analyzed. **Results** A total of 290 patients with cardiac insufficiency were enrolled. Four distinct hemodynamic phenotypes were identified: (1) Low-flow high-resistance (18.6%, $n=54$): characterized by reduced CI ($2.13 \pm 0.48 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) and elevated TPRI ($4173 \pm 766 \text{ dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5} \cdot \text{m}^2$); (2) High-flow low-resistance (24.1%, $n=70$): featuring increased CI ($3.88 \pm 0.49 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) and decreased TPRI ($1857 \pm 432 \text{ dyn} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5} \cdot \text{m}^2$); (3) Hypervolemic/wet (14.5%, $n=42$): marked by significantly elevated TFC [$91.2 \pm 13.7 \text{ (k}\Omega\text{)}$]; and (4) Normal compensatory (42.8%, $n=124$): with parameters within normal ranges. Significant inter-group differences were observed for CI, TPRI, and TFC (all $P < 0.001$), with large effect sizes ($\eta^2 = 0.36\text{--}0.51$). The silhouette coefficient was 0.335, and bootstrap resampling yielded a Jaccard index of 0.82, indicating stable clustering. In the validation subcohort, phenotypes differed significantly in left ventricular ejection fraction (LVEF) ($H=8.169$, $P=0.043$) and NT-proBNP levels ($H=18.05$, $P < 0.001$), with the hypervolemic/wet phenotype showing the highest NT-proBNP concentrations [5391.09 (991.32, 9370.00) pg/mL]. Thirty-day all-cause mortality varied significantly across phenotypes ($\chi^2=7.991$, $P=0.046$), being highest in the hypervolemic/wet group (25.00%, 10/40) and lowest in the normal compensatory group (8.0%, 9/113). **Conclusions** Cluster analysis of three-dimensional non-invasive hemodynamic parameters effectively identifies distinct phenotypes in elderly emergency patients with cardiac dysfunction. The hypervolemic/wet phenotype identifies high-risk patients with poor prognosis. This data-driven classification framework provides a novel tool for precision hemodynamic assessment, enabling early risk stratification and individualized therapeutic strategies.

【Keywords】 Data-driven; Non-invasive cardiac output monitoring; Hemodynamic phenotypes; Cluster analysis; Bioelectrical impedance; Heart failure; Elderly patients; Prognostic evaluation

Fund Programs: National Clinical Key Specialty Construction Program (2022); Beijing Natural Science Foundation Project (7262060)

DOI:10.3760/cma.j.cn114656-20260513-00418

急诊老年患者多合并心功能不全,病情变化迅速,早期血流动力学评估对优化治疗及改善预后具有关键意义^[1]。理想的评估手段应该做到无创、快速,且能多维度多参数评估。然而,现有评估方法存在一定局限性:单一物理物理指标,如血压、心率易受多因素干扰;床旁超声、血清学标志物虽提高了评估的准确性,但操作费时或等待结果时间较长,难以满足急诊老年患者对多维、连续、即时血流动力学监测的临床需求^[2]。因此,探索一种客观量化、操作简便的无创血流动力学评估技术,对于早期危险分层与个体化治疗具有重要的临床价值。

基于生物电阻抗原理的无创心输出量监测(non-invasive cardiac output monitoring, NICOM)通过检测胸腔生物电阻抗变化,可在数分钟内无创获取多维血流动力学参数,并支持连续动态监测,在急诊早期评估中具有独特优势^[3]。相较于其他有创血流动力学监测技术, NICOM 避免了穿刺相关并发症,操作简便,更适用于老年及危重患者

的床旁监测^[4-5]。既往研究也证实, NICOM 与热稀释法、脉搏指示连续心排量测定(pulse indicator continuous cardiac output, PiCCO)等有创监测技术具有良好的一致性,能够可靠地追踪心脏指数(cardiac index, CI)和外周血管阻力的动态变化^[3,6]。然而, NICOM 生成的多维数据(流量、阻力、容量)呈现复杂的非线性交互,临床医生解读无法做到综合评估和精准分型,如何整合多维度参数进而指导个体化治疗,是目前亟需解决的临床问题。

近年来,聚类分析方法已在脓毒症、ARDS 等异质性综合征的表型识别中展现出重要价值^[7-8]。与传统经验性分类不同,聚类分析方法可从高维生理数据中自动识别具有相似特征的患者分型,为精准医学提供了新的技术路径^[9]。急诊老年心功能不全患者群体尤为适合此类方法:该人群常伴随多种基础疾病及多系统的病理生理机制,临床表现异质性显著,症状常不典型;在此情境下,单一评估指标难以捕捉个体间的细微差异,易将不同血流动力

学状态的患者笼统归类,无法准确指导治疗。聚类分析通过整合多维参数,能够客观识别出反映不同血流动力学状态的患者亚群,从而实现对老年心功不全患者更为精细的个体化分型。

鉴于此,本研究旨在利用聚类分析方法,基于无创心排监测三维参数构建急诊老年心功能不全患者的血流动力学表型;并通过亚组分析验证各表型与左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、NT-proBNP 的关联,探索其与 30 d 预后的关系。

1 资料与方法

1.1 研究设计

本研究为单中心回顾性队列研究,研究包括两个阶段:(1)发现阶段:对符合纳入标准的老年急诊患者进行数据驱动表型识别;(2)验证阶段:对入院 24 h 内完善 LVEF 和 NT-proBNP 的患者进行临床效度验证。本研究获首都医科大学附属北京积水潭医院伦理委员会批准(批件号:积伦[K2026]第[006]号-00)。

1.2 研究对象

纳入标准:(1)年龄 ≥ 65 岁,于 2024 年 9 月 1 日至 2026 年 2 月 1 日期间急诊科住院;(2)入院诊断包含心功能不全或心力衰竭;(3)入院 24 h 内完成无创心输出量监测;(3)监测信号质量指数(SQI) $\geq 70\%$,监测参数完整,包括心脏指数(cardiac index, CI)、胸腔液体水平(thoracic fluid content, TFC)、总外周阻力指数(total peripheral resistance index, TPRI)、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、心输出量(cardiac output, CO)、每搏输出量(stroke volume, SV)。

排除标准:(1)持续心房颤动伴快速心室率(>150 次/min)或频发室性心律失常;(2)安装心脏起搏器或植入式心律转复除颤器;(3)单侧或双侧胸腔积液量及以上(经床旁超声评估,胸腔积液深度 >5 cm 或达到影像学报告中度及以上者)、气胸、胸部皮肤破损或严重水肿;(4)体重指数(BMI) >35 kg/m²;(5)躁动不安无法平卧配合监测者;(6)终末期状态者(预期生存时间 <24 h 或已建立机械循环支持);(7)严重肝肾功能不全者(eGFR <30 mL $\cdot$ min⁻¹ $\cdot$ (1.73 m²)⁻¹或需规律肾脏替代治疗、Child-Pugh 分级 C 级);(8)影响 NT-proBNP 水平的其他疾病(肝硬化失代偿期、甲状腺功能异常未控制、淀粉样变性、恶性肿瘤晚期)。

验证亚组:在主队列中,将入院 24 h 内完成经胸超声测定 LVEF 和 NT-proBNP 检测的患者纳入验证亚组,并通过病历系统或电话随访获得 30 d 全因病死率。

1.3 聚类分析方法

基于心功能不全的病理生理学核心三要素,选择三维核心参数 CI、TPRI、TFC,此三个参数相互独立又能共同描述循环状态。CI[L/(min $\cdot$ m²)]表示单位体表面积的心输出量,反映整体灌注能力;TPRI (dyn/s/cm⁵/m²)相当于系统血管阻力指数,反映外周血管张力;TFC (k Ω)反映胸腔内液体含量(肺水及血管内容量)。排除 MAP (与 TPRI 高度相关, $r>0.8$,易共线性)、CO 和 SV (与 CI 高度相关, $r>0.8$,易共线性)。采用 Z-score 标准化(均值为 0,标准差为 1)消除量纲差异。

聚类算法:(1)采用 K-means++ 算法,测试 K 值范围 2~7,通过肘部法则(观察惯性下降曲线拐点)和轮廓系数(Silhouette Score)确定最佳聚类数;(2)采用 Bootstrap 重采样(B=100 次,每次抽取 80% 样本)验证稳定性,计算 Jaccard 指数(聚类结果与原始结果的一致性), >0.75 提示稳定;(3)采用主成分分析(PCA)验证聚类在三维参数空间中的几何分布。

表型命名:根据各聚类的 CI、TPRI、TFC 特征,结合经典血流动力学分类(Weil-Shubin 分型)进行命名。

1.4 统计学方法

采用 R 4.3.1 和 Python 3.9 进行统计分析。计量资料符合正态分布者采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,非正态分布者采用中位数(四分位数)[M(P_{25} , P_{75})]表示;计数资料采用频数(百分比)表示。多组间比较采用单因素方差分析(ANOVA,正态分布)或 Kruskal-Wallis H 检验(非正态分布),两两比较采用 Bonferroni 校正;计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。采用 Kaplan-Meier 法绘制生存曲线,组间比较采用 Log-rank 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 聚类分析与表型识别

共纳入 290 例患者,男性 165 例(56.8%),女性 125 例(43.2%),平均年龄为[76(71, 81)]岁。肘部法则显示 K=4 为最佳(轮廓系数 0.335,图 1)。Bootstrap 验证 Jaccard 指数 0.82,提示聚类稳定。识别出四种表型:低排高阻型 54 例(18.6%);高

排低阻型 70 例 (24.1%), CI 降低, TPRI 升高, 高容湿型 42 例 (14.5%), 正常代偿型 124 例 (42.8%)。四组间 CI ($F=162.78, P<0.001$), TPRI ($F=160.60, P<0.001$), TFC ($F=147.31, P<0.001$) 差异有统计学意义。见表 1、图 2~4。

表 1 血流动力学表型分布特征

Table 1 Distribution characteristics of hemodynamic phenotypes

参数	低排高阻型 (n=54)	高排低阻型 (n=70)	高容湿型 (n=42)	正常代偿型 (n=124)	F 值	P 值
CI (L/min/m ²)	2.13±0.48	3.88±0.49	2.65±0.59	2.75±0.38	162.78	< 0.001
TPRI (dyn/s/cm ⁵ /m ²)	4173±766	1857±432	2830±848	2598±464	160.60	< 0.001
TFC (/kΩ)	54.6±10.6	60.3±13.6	91.2±13.7	48.7±9.5	147.31	< 0.001

2.2 验证亚组心功能特征

在主队列中, 将入院 24 h 内完成首次超声心动图和 NT-proBNP 检测的 263 例患者纳入验证亚组, 男性 135 例 (51.3%), 女性 128 例 (48.6%), 平均年龄 [78 (71, 86)] 岁。不同血流动力学表型患者的 LVEF 差异有统计学意义 ($H=8.169, P=0.043$)。正常代偿型和高排低阻型患者的 LVEF 相对较高, 低排高阻型和高容湿型患者的 LVEF 相对较低; 不同血流动力学表型患者的 NT-proBNP 数值差异有统计学意义 ($H=18.05, P<0.001$)。其中, 高容湿型患者的 NT-proBNP 水平最高, 正常代偿型患者的 NT-proBNP 水平相对较低。见表 2。

2.3 验证亚组预后分析

验证亚组患者 30 d 内全因病死率为 13.3% (35/263)。不同血流动力学表型患者的 30 d 全因病死率差异有统计学意义 ($\chi^2=7.991, P=0.046$),

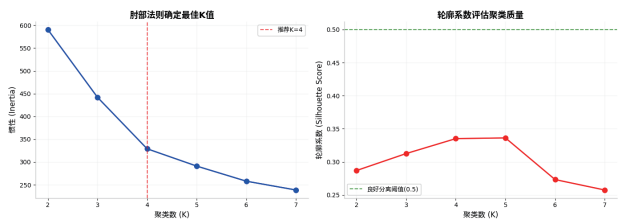


图 1 确定最佳 K 值 (肘部法则 + 轮廓系数)
Fig 1 Determination of the optimal K value (elbow method + silhouette coefficient)

高容湿型患者的病死率最高 (25.0%, 10/40), 正常代偿型患者的病死率最低 (8.0%, 9/113)。尽管 30 d 机械通气率在四组间差异无统计学意义 ($P=0.323$), 但高排低阻型组有数值上更高的趋势 (40.3%), 值得后续研究进一步探讨, 见表 3。

生存曲线显示高容湿型患者的生存预后最差, 见图 5。横坐标为随访时间 (d), 纵坐标为生存概率, 下方表格显示各时间点风险人数。四组间生存率比较采用 Log-rank 检验, Kaplan-Meier 生存曲线显示, 高容湿型患者的生存概率在整个随访期间持续最低。虽然 Log-rank 检验未达到统计学显著性 ($\chi^2=5.71, P=0.127$), 可能与样本量有限及后期事件数减少有关, 但结合 30 d 病死率的显著差异 ($P=0.046$), 仍强烈提示高容湿型具有不良预后趋势, 见图 5。

按照传统心功能分类标准, 验证亚组射血分数保留患者 (LVEF $\geq 50\%$) 有 207 例, 30 d 全因病死率为 13.53% (28/207), 射血分数减低组有 56 例, 30 d 全因病死率为 12.50% (7/56)。两组患者

表 2 验证亚组患者心功能特征

Table 2 Cardiac function characteristics in the validation subgroup patients

心功能特征	低排高阻型 (n=48)	高排低阻型 (n=62)	高容湿型 (n=40)	正常代偿型 (n=113)	$\chi^2/F/H$ 值	P 值
LVEF(%)	57.00(54.00, 60.00)	60.00(56.00, 65.00)	57.00(50.00, 61.00)	60.00(55.00, 63.00)	8.169	0.043
NT-proBNP(pg/mL)	2089.24(981.75, 6355.73)	1511.00(270.38, 3354.28)	5391.09(991.32, 9370.00)	1088.00(242.44, 5259.46)	19.334	< 0.001

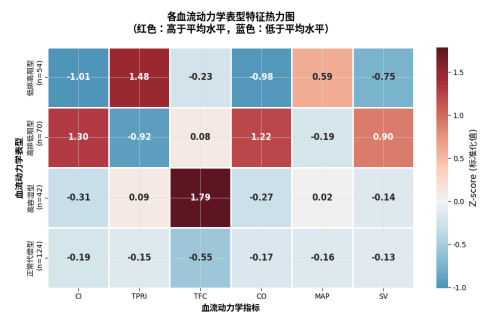


图 2 不同血流动力学表型特征热力图
Fig 2 Heatmap of characteristics in different hemodynamic phenotypes

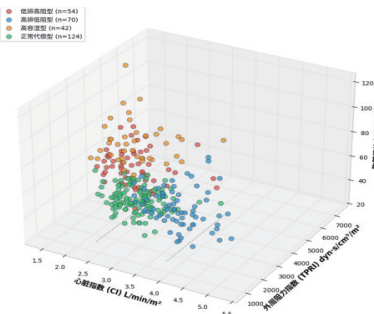


图 3 不同血流动力学表型 3D 散点图
Fig 3 3D scatter plot of different hemodynamic phenotypes

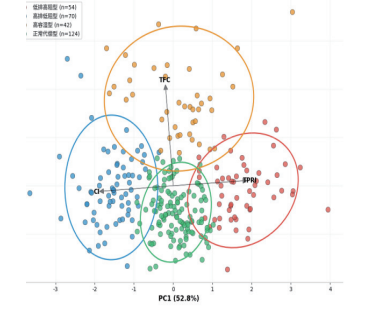


图 4 不同血流动力学表型 PCA 图
Fig 4 PCA plot of different hemodynamic phenotypes

的 30 d 全因病死率差异无统计学意义 ($\chi^2=0.000$, $P=1.000$), 生存分析差异无统计学意义 ($\chi^2=0.618$, $P=0.167$)。

根据 NT-proBNP 水平将患者分为 NT-proBNP 升高组 187 例和非 NT-proBNP 升高组 76 例 (根据年龄进行分层, NT-proBNP 达到下述水平时可判断为 NT-proBNP 升高: 50 岁以下的患者 NT-proBNP 水平 >450 ng/L, 50~75 岁 >900 ng/L, 75 岁以上应 $>1\ 800$ ng/L^[18]), NT-proBNP 升高组的病死率显著高于正常组 (16.58% vs. 5.26%)。差异有统计学意义 ($\chi^2=5.056$, $P=0.025$), 但生存分析差异无统计学意义 ($\chi^2=7.176$, $P=0.936$)。

表 3 不同血流动力学表型患者预后情况分析

Table 3 Analysis of prognosis in patients with different hemodynamic phenotypes

指标	高排低阻型 (n=62)	低排高阻型 (n=48)	高容湿型 (n=40)	正常代偿型 (n=113)	$\chi^2/F/H$ 值	P 值
急诊平均住院天数 (d)	8 (3, 20)	10 (5, 20)	14 (7, 26)	10 (5, 20)	3.932	0.269
30 d 全因病死率 (%)	10 (16.1)	6 (12.5)	10 (25.0)	9 (8.0)	7.991	0.046
30 d 机械通气率 (%)	25 (40.3)	13 (27.1)	11 (27.5)	32 (28.3)	3.480	0.323

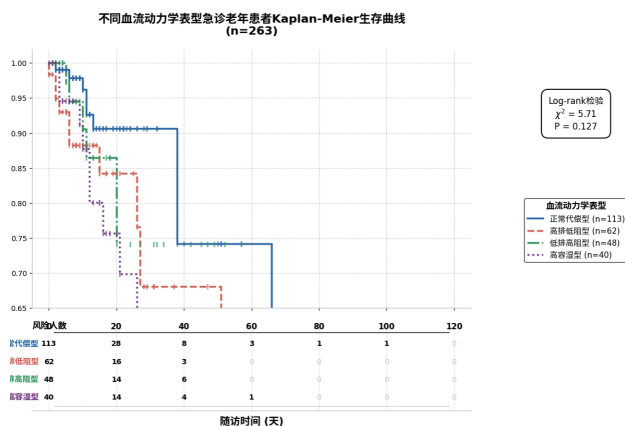


图 5 不同血流动力学表型患者 Kaplan-Meier 生存曲线

Fig 5 Kaplan-Meier survival curves of patients with different hemodynamic phenotypes

3 讨论

本研究通过采用 K-means 聚类方法对老年心功能不全患者进行特征分型, 共识别出四中血流动力学表型。对具有完整心功能评估的人群纳入亚组分析, 不同血流动力学表型传统心功能评价指标 LVEF、NT-proBNP 水平之间存在明显差异, 且不同血流动力学分型对不良预后具有一定提示。这种数据驱动的分类框架为急诊老年患者的血流动力学评估提供了新的客观量化工具。

老年患者病理生理异质性显著, 常合并多种

基础疾病, 单一参数难以捕捉复杂的血流动力学交互^[7]。本研究采用的无监督聚类方法, 通过整合 CI、TPRI、TFC 三维参数, 客观识别出具有相似生理特征的患者类型, 避免了传统血流动力学评估经验性分类的偏倚。与既往有创血流动力学监测不同, NICOM 具有无创、即时、可连续监测的优势, 更适合急诊老年及危重患者的床旁评估^[4]。虽然生物电阻抗法在尚无法完全取代有创监测, 但其与热稀释法、PiCCO 等有创技术相关性良好, 更适合用于动态趋势监测。本研究聚类稳定性指标表明基于无创参数的表型识别具有良好的可重复性。

本研究识别的四种表型与经典 Weil-Shubin 血流动力学分型既具有一致性也进行了扩展^[9-10]。低排高阻型对应经典的心源性或低血容量性休克状态, 表现为低心脏指数伴代偿性外周血管收缩, 提示低动力循环状态^[11]。高排低阻型则符合分布性休克的血流动力学特征, 表现为高动力循环伴血管张力降低^[12]。正常代偿型患者各代谢指标虽在正常范围内, 但可能也处于疾病早期, 若进行动态监测可能会出现心功能不全表现。

高容湿型作为本研究识别出的独特表型, 在既往研究经典分型中未被明确区分。本研究中高容湿型患者 NT-proBNP 水平最高, 且 30 d 病死率高达 25%, 提示该表型代表了心功能失代偿伴液体过负荷的高危人群, 可作为独立于传统危险评分的预后因素。该表型以 TFC 显著升高为特征, 提示肺水及血管内容量过负荷, 同时伴有轻度的 CI 降低和 TPRI 升高。根据其血流动力学特征, 初始治疗可能应以袪利尿剂为主, 若利尿剂抵抗或合并低灌注, 可考虑联用血管扩张剂减轻后负荷, 甚至短期使用正性肌力药物。未来前瞻性研究应验证基于此表型的治疗策略能否改善患者预后。

NT-proBNP 水平的急剧升高与急性容量超负荷事件 (如急性肺水肿) 具有显著相关性, 它与 NICOM 监测的前负荷变化, 如 TFC 升高、SVI 对容量负荷的反应具有同源性^[13-14]。这一表型提示急性失代偿性心力衰竭, 病理生理机制为左心功能减退导致肺静脉压力传导, 进而引起肺毛细血管楔压升高和肺水肿^[15]。高容湿型以容量过负荷作为共同特征, 弥补了传统血流动力学分型不足。这提示在急诊场景下, 基于血流动力学表型的分类可能比传统的射血分数分类更具即时治疗指导价值^[16]。

本研究具有以下局限性: (1) 本研究为回顾性设计, 纳入基于临床诊断而非严格指南标准, 虽可

能引入一定异质性,但更能反映真实急诊场景下的患者特征,增强了研究的外部有效性。未来前瞻性研究可进一步验证该分型在指南定义明确的心力衰竭患者中的适用性;(2)方法学部分,考虑到急诊老年患者基础疾病复杂、生理状态异质性高,且血流动力学参数受多因素动态影响,0.335 的轮廓系数仍可接受。该数值表明四个亚群具有一定程度的内部凝聚力和外部分离度,结合 Jaccard 指数 0.82 (>0.75 稳定性阈值)的良好稳定性,以及后续临床验证的支持,该分型方案具有临床应用价值;(3)研究人群方面,验证亚组针对完善 LVEF 和 NT-proBNP 的人群进行了分析,拥有完整心功能评估的人群可能病情较重,因此存在一定的选择偏倚。另外,尽管进行了多组学比较,仍无法完全排除未知混杂因素对结果的影响。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 薛艳丽:负责统计学分析、文章初稿撰写;李雪琦:负责数据收集及整理;田兆兴:负责该文的立意构思、研究设计、文章修改

参 考 文 献

- [1] Vincent JL, De Backer D. Circulatory shock[J]. N Engl J Med, 2013, 369(18): 1726-1734. DOI:10.1056/nejma1208943.
- [2] Marik PE. Lactate: hemodynamic significance in critically ill patients[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2014, 28(4):e35-e36. DOI:10.1053/j.jvca.2014.04.004.
- [3] Squara P, Denjean D, Estagnasie P, et al. Noninvasive cardiac output monitoring (NICOM): a clinical validation[J]. Intensive Care Med, 2007, 33(7): 1191-1194. DOI:10.1007/s00134-007-0640-0.
- [4] Rameh C, N'aggar A, Vidal V, et al. Noninvasive hemodynamic monitoring in the emergency department: clinical validation and potential utility[J]. Acad Emerg Med, 2021, 28(4):419-428. DOI:10.1111/acem.14193.
- [5] Marik PE, Levitov A, Young A, et al. The use of bioimpedance and carotid Doppler to determine volume responsiveness and blood flow redistribution following passive leg raising in hemodynamically unstable patients[J]. Chest, 2013, 143(2): 364-370. DOI:10.1378/chest.12-1274.
- [6] Marino PL. The ICU Book[M]. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014: 129-156.
- [7] Seymour CW, Kennedy JN, Wang S, et al. Derivation, validation, and potential treatment implications of novel clinical phenotypes for sepsis[J]. JAMA, 2019, 321(20): 2003. DOI:10.1001/jama.2019.5791.
- [8] Sinha P, Delucchi KL, McAuley DF, et al. Development and validation of parsimonious algorithms to classify acute respiratory distress syndrome phenotypes: a secondary analysis of randomised controlled trials[J]. Lancet Respir Med, 2020, 8(3): 247-257. DOI:10.1016/s2213-2600(19)30369-8.
- [9] Harrison NE, Meram S, Li XR, et al. Hemodynamic profiles by non-invasive monitoring of cardiac index and vascular tone in acute heart failure patients in the emergency department: External validation and clinical outcomes[J]. PLoS One, 2022, 17(3): e0265895. DOI:10.1371/journal.pone.0265895.
- [10] Weil MH, Shubin H. Proposed reclassification of shock states with special reference to distributive defects[M]//The Fundamental Mechanisms of Shock: Proceedings of a Symposium Held in Oklahoma City, Oklahoma, October 1-2, 1971. Boston, MA: Springer US, 1972: 13-23. DOI:10.1007/978-1-4615-9014-9_3.
- [11] Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine[J]. Intensive Care Med, 2014, 40(12): 1795-1815. DOI:10.1007/s00134-014-3525-z.
- [12] Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC[J]. Eur Heart J, 2016, 37(27): 2129-2200. DOI:10.1093/eurheartj/ehw128.
- [13] 田朝伟,陈晓辉.急性心力衰竭的诊治进展:2016 ESC 急性心力衰竭诊断和治疗指南[J].中华急诊医学杂志,2016,25(7): 854-857. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2016.07.002
- [14] 生物电阻抗法无创血流动力学监测在急危重症应用的急诊专家共识组.生物电阻抗法无创血流动力学监测在急危重症应用的急诊专家共识[J].中华急诊医学杂志,2024,33(4): 456-463. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.04.005.
- [15] 中华医学会心血管病学分会心力衰竭学组.中国心力衰竭诊断和治疗指南 2018[J].中华心血管病杂志,2018,46(10): 760-789. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.10.004.
- [16] Adams KF Jr, Fonarow GC, Emerman CL, et al. Characteristics and outcomes of patients hospitalized for heart failure in the United States: Rationale, design, and preliminary observations from the first 100,000 cases in the Acute Decompensated Heart Failure National Registry (ADHERE)[J]. Am Heart J, 2005, 149(2): 209-216. DOI:10.1016/j.ahj.2004.08.005.

(收稿日期:2026-05-13)

(本文编辑:何小军)