

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.03.021

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20231227.1620.006\(2023-12-28\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20231227.1620.006(2023-12-28))

出 ICU 时 RDW 水平对重症患者中长期预后的影响*

张舒¹, 许珊^{2△}, 秦开秀², 罗盛淑¹

(1. 重庆医科大学附属第一医院肝胆外科, 重庆 400016; 2. 重庆医科大学附属第二医院急救部, 重庆 400010)

[摘要] **目的** 分析出 ICU 时不同红细胞分布宽度(RDW)水平是否与重症患者出 ICU 后中长期预后的差异性相关。**方法** 研究对象为重症监护医学信息(MIMIC)数据库中所有符合纳入标准的成年重症患者, 研究变量为患者出 ICU 前 24 h 内最后 1 次 RDW 检测值, 根据 RDW 水平进行分组, 以患者出 ICU 后 90 d 死亡率为主要结局指标, 365 d 死亡率为次要结局指标。**结果** 最终 28 004 例患者纳入研究。RDW<13.8%组、RDW 13.8%~<15.2%组和 RDW≥15.2%组患者出 ICU 后 90 d 死亡率分别为 4.74%、8.67%、20.59%, 差异有统计学意义($P<0.001$); 365 d 死亡率分别为 8.20%、14.92%、32.27%, 差异有统计学意义($P<0.001$)。Cox 比例风险回归模型全因分析发现, 出 ICU 时 RDW 水平是重症患者出 ICU 后 90 d 死亡率的重要预测指标; RDW 13.8%~<15.2%组 $HR=1.86, 95\%CI: 1.65\sim 2.09$; RDW≥15.2%组 $HR=4.73, 95\%CI: 4.25\sim 5.26$ 。经校正混杂因素后发现, 出 ICU 时 RDW 水平仍然是独立预测患者出 ICU 后 90 d 死亡率的临床指标; RDW 13.8%~<15.2%组 $HR=1.28, 95\%CI: 1.14\sim 1.45$; RDW≥15.2%组 $HR=2.51, 95\%CI: 2.24\sim 2.81$; Cox 比例风险回归模型分析 365 d 死亡率也得到相似的结论。受试者工作特征曲线及曲线下面积(AUC)评估发现出 ICU 时 RDW 水平对 90 d 死亡率有较好的预测功效, AUC 为 0.705, 截断值为 15.3%。**结论** 出 ICU 时 RDW 水平可用于预测重症患者中长期预后。

[关键词] 出重症监护室; 红细胞分布宽度; 重症患者; 90 d 死亡率; 365 d 死亡率

[中图法分类号] R604 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)03-0435-07

The medium-term and long-term effect of ICU-discharge RDW level on prognosis of severe patients*

ZHANG Shu¹, XU Shan^{2△}, QIN Kaixiu², LUO Shengshu¹

(1. Department of Hepatological Surgery, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China; 2. Department of Emergency, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the association between different RDW levels at ICU discharge and the medium-term and long-term prognosis of severe patients after ICU discharge. **Methods** The study subjects were all adult severe patients who met the inclusion criteria in the MIMIC database. The study variables were the last RDW test value within 24 hours before the discharge from ICU. The patients were grouped according to RDW level. Mortality in 90 days after ICU discharge was the primary outcome, and mortality in 365 days was the secondary outcome. **Results** A total of 28 004 patients were enrolled in the study. The 90 days mortality rates of RDW<13.8%, RDW 13.8%~<15.2% and RDW≥15.2% groups after ICU discharge were 4.74%, 8.67% and 20.59% respectively, and the difference was statistically significant ($P<0.001$). The 365 days mortality rates were 8.20%, 14.92% and 32.27% respectively, and the difference was statistically significant ($P<0.001$). All-cause analysis of Cox proportional hazard model analysis revealed that RDW level at ICU discharge was a significant predictor of 90 days mortality in severe patients after ICU discharge: RDW 13.8%~<15.2% group ($HR=1.86, 95\%CI: 1.65\sim 2.09$), RDW≥15.2% group ($HR=4.73, 95\%CI: 4.25\sim 5.26$). After adjusting for confounding factors, RDW level at ICU discharge remained a strong independent clinical predictor of mortality after 90 days: RDW 13.8%~<15.2% group ($HR=1.28, 95\%CI: 1.14\sim 1.45$), RDW≥15.2% group ($HR=2.51, 95\%CI: 2.24\sim 2.81$). Cox proportional hazard model analy-

sis of 365 d mortality showed similar results. The ROC curve and area under the curve (AUC) evaluation showed that ICU-discharge RDW level had a good predictive effect on 90 d mortality, with AUC of 0.705 and cut-off value of 15.3%. **Conclusion** RDW level at ICU discharge can be used to predict medium-term and long-term prognosis of severe patients.

[**Key words**] ICU-discharge; red blood cell distribution width; severe patients; 90 d mortality; 365 d mortality

重症患者出院后中长期死亡率高, 出院后 180 d 死亡率约为 14%, 365 d 死亡率高达 21%^[1], 如何改善重症患者中长期预后是值得关注的临床问题。有学者报道了出 ICU 时不同指标对患者结局的影响, 如疾病严重程度评分、器官衰竭指数、出 ICU 时机等^[2-4]。但有研究发现, 根据已有的出 ICU 实践经验, 不同 ICU 患者预后存在较大差异^[5]。因此, 需要积极寻找更多可预测 ICU 患者预后的临床指标, 以期通过监测和干预这些指标来达到改善重症患者中长期预后的目的。

研究发现红细胞分布宽度 (red blood cell distribution width, RDW) 可以作为独立预测重症患者不良结果的指标。众所周知, RDW 是反映红细胞体积变化的指标, 通常用于贫血患者的鉴别^[6], 现证实 RDW 还与多种类型的危重症患者预后有关, 如糖尿病酮症酸中毒^[7]、心源性休克^[8]、急性肾损伤等^[9]。但这些研究均选择患者入 ICU 时 RDW 检测值作为统计指标, 并未纳入患者出 ICU 时的 RDW 检测值及讨论其对重症患者预后的影响。对 ICU 患者预后结局指标的影响因素研究, 选择患者出 ICU 时的检测值可能更具临床指导意义。因此, 本研究选取重症监护医学信息 (MIMIC) 数据库中的成年重症患者作为研究对象, 研究出 ICU 时 RDW 水平与预后的关系。

1 资料与方法

1.1 数据来源

所有相关数据均来自 MIMIC (MIMIC-III 1.4 版) 数据库^[10]。该数据库为公开、免费的公共数据库, 作者参加美国国立卫生研究院基于该数据库使用相关的培训课程并取得认证后进行数据库的访问及数据提取 (认证编号: 36743986)。

1.2 研究对象

选择 MIMIC 数据库中满足纳入标准的患者作为研究对象, 纳入标准: (1) 年龄 ≥ 18 岁且 ICU 停留时间超过 24 h 的重症患者; (2) 出 ICU 前 24 h 有 RDW 检测记录。排除标准: (1) 出 ICU 前死亡的患者; (2) 合并血液系统疾病 (急性及慢性白血病、淋巴瘤及骨髓增生异常综合征) 的患者; (3) 记录缺失值 $> 5\%$ 的参数予以排除。对于多次入住 ICU 的患者, 本研究只纳入第 1 次入住 ICU 时的患者信息进行分析。

1.3 数据提取

本研究中所有数据通过结构化查询语言 (structured query language, SQL) 提取, 提取内容包括一般

资料 (性别、年龄、出院时间、死亡时间等)、合并症 (高血压、糖尿病、慢性阻塞性肺疾病等)、实验室检查指标 (血红蛋白、白细胞、血小板、肌酐、活化部分凝血活酶时间等)、危重度评分、结局指标等。

本研究的主要结局指标为 90 d 死亡率, 次要结局指标为 365 d 死亡率。主要研究变量为出 ICU 前 24 h 内最后 1 次 RDW 检测值。

1.4 统计学处理

所有数据利用 STATA15.0 软件进行统计学分析。连续性变量以 $\bar{x} \pm s$ 或 $M(IQR)$ 表示, 根据是否为正态分布采用单因素方差分析或秩和检验。分类变量以例数或百分比表示, 采用 χ^2 检验。采用 Cox 比例风险回归模型评估出 ICU 时 RDW 水平对 90 d 及 365 d 死亡的预测价值。采用局部加权回归拟合 90 d 整体死亡率趋势曲线。受试者工作特征 (ROC) 曲线及曲线下面积 (AUC) 评估出 ICU 时 RDW 水平对 90 d 死亡率的预测功效。根据其最佳截断值 (cut-off 值) 将重症患者进行倾向性评分匹配 (PSM) 分析, Kaplan-Meier 生存曲线评估累积生存率, Log-rank 检验比较两组的生存情况, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

经过逐步筛选, 最终纳入 28 004 例患者进行分析, 具体筛选流程见图 1。根据出 ICU 时的 RDW 水平将患者分成 3 组, 其中 $RDW < 13.8\%$ 组 8 593 例, $RDW 13.8\% \sim < 15.2\%$ 组 9 394 例, $RDW \geq 15.2\%$ 组 10 017 例。各组患者的一般特征、实验室检查情况、ICU 类型、合并症、疾病严重程度评分比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 1。

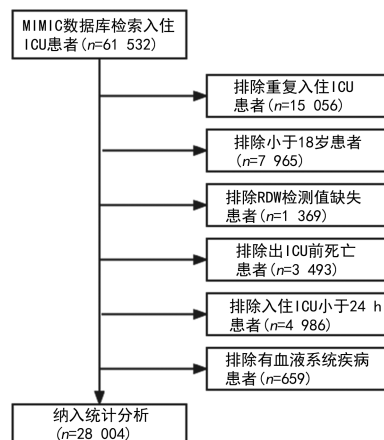


图 1 MIMIC 数据库筛选流程

表 1 纳入患者一般资料统计

项目	总体 (<i>n</i> =28 004)	RDW<13.8%组 (<i>n</i> =8 593)	RDW 13.8%~<15.2%组 (<i>n</i> =9 394)	RDW≥15.2%组 (<i>n</i> =10 017)	χ^2	<i>P</i>
一般情况						
年龄[M(IQR),岁]	65.48(25.03)	59.12(26.16)	67.82(23.11)	68.74(23.65)	1 292.062	<0.001
男[<i>n</i> (%)]	15 986(57.08)	5 545(64.53)	5 329(56.73)	5 112(51.03)		<0.001
体重($\bar{x}\pm s$,kg)	81.12±23.16	81.41±21.31	81.86±23.55	80.18±24.26	161.838	<0.001
实验室检查						
血红蛋白($\bar{x}\pm s$,g/dL)	10.57±1.67	11.30±1.73	10.59±1.59	9.93±1.43	352.648	<0.001
白细胞[M(IQR),×10 ¹² /L]	9.90(5.10)	10.00(4.80)	10.10(5.00)	9.50(5.70)	111.124	<0.001
血小板($\bar{x}\pm s$,×10 ⁹ /L)	231.83±130.44	229.19±107.06	234.41±132.18	231.68±146.09	871.218	<0.001
尿素氮[M(IQR),mg/dL]	17.00(15.00)	14.00(9.00)	17.00(14.00)	22.00(23.00)	2 443.665	<0.001
肌酐[M(IQR),mg/dL]	0.80(0.50)	0.80(0.40)	0.90(0.40)	1.00(0.80)	916.049	<0.001
凝血酶原时间[M(IQR),s]	13.50(1.90)	13.30(1.40)	13.50(1.80)	13.90(2.50)	940.000	<0.001
APTT[M(IQR),s]	29.30(8.00)	28.70(6.90)	29.30(7.60)	30.20(9.40)	436.480	<0.001
国际标准化比值[M(IQR)]	1.20(0.30)	1.20(0.20)	1.20(0.20)	1.20(0.30)	556.831	<0.001
钠($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	138.73±3.93	138.57±3.52	138.76±3.84	138.85±4.33	404.176	<0.001
钾($\bar{x}\pm s$,mmol/L)	4.02±0.47	4.01±0.43	4.03±0.46	4.03±0.50	210.357	<0.001
ICU 类型[<i>n</i> (%)]						<0.001
CCU	3 990(14.25)	1 351(15.72)	1 348(14.35)	1 291(12.89)		
MICU	9 276(33.12)	2 169(25.24)	2 700(28.74)	4 407(44.00)		
RICU	6 408(22.88)	2 080(24.21)	2 582(27.49)	1 746(17.43)		
SICU	4 614(16.48)	1 497(17.42)	1 511(16.08)	1 606(16.03)		
TSICU	3 716(13.27)	1 496(17.41)	1 253(13.34)	967(9.65)		
合并症[<i>n</i> (%)]						
慢性阻塞性肺疾病	767(2.74)	137(1.59)	259(2.76)	371(3.70)	77.274	<0.001
冠心病	9 091(32.46)	2 695(31.36)	3 380(35.98)	3 016(30.11)	83.077	<0.001
糖尿病	13 381(47.78)	4 040(47.02)	4 998(53.20)	4 343(43.36)	191.352	<0.001
高血压	7 769(27.74)	1 700(19.78)	2 736(29.12)	3 333(33.27)	433.358	<0.001
疾病严重程度评分[M(IQR),分]						
SAPS II	33.39(12.98)	27.90(11.57)	33.56(12.17)	37.93(13.06)	138.162	<0.001
SOFA	3(3)	3(3)	3(3)	4(5)	2 127.390	<0.001
死亡[<i>n</i> (%)]						
90 d 死亡	3 284(11.73)	407(4.74)	814(8.67)	2 063(20.59)	130.030	<0.001
365 d 死亡	5 339(19.07)	705(8.20)	1 402(14.92)	3 232(32.27)	190.030	<0.001

APTT:活化部分凝血酶原时间;CCU:冠心病监护室;MICU:内科监护室;RICU:呼吸重症监护室;SICU:外科监护室;TSICU:创伤外科监护室;SAPS II:简化急性生理学评分;SOFA:序贯器官衰竭评分。

死亡率分析结果发现,RDW<13.8%组、RDW 13.8%~<15.2%组、RDW≥15.2%组 90 d 死亡率分别为 4.74%、8.67%、20.59%,差异有统计学意义($P<0.001$)。RDW<13.8%组、RDW 13.8%~<15.2%组、RDW≥15.2%组 365 d 死亡率分别为 8.20%、14.92%、32.27%,差异有统计学意义($P<0.001$)。Lowess 平滑曲线也得到了类似的结果,出 ICU 时 RDW 水平与重症患者出 ICU 后 90 d 和 365 d 死亡率呈线性正相关,见图 2。

2.2 出 ICU 时 RDW 水平与重症患者预后的关系

Cox 比例风险回归模型用于确定出 ICU 时 RDW 水平与 90 d 死亡率、365 d 死亡率的关系。在未进行任何因素校正时,出 ICU 时 RDW 水平与 90 d 及 365 d 死亡风险增加有关。在模型 I 中,调整年龄和性别因素后,高 RDW 水平与 90 d 和 365 d 死亡率风险增加相关。在模型 II 中,经校正所有混杂因素(年龄、性别、体重、血红蛋白、白细胞、血小板等)后,高 RDW 水平同样与 90 d 及 365 d 死亡率风险增加相关。RDW

$\geq 15.2\%$ 组的 90 d 及 365 d 死亡率风险分别是 RDW $<13.8\%$ 组的 2.51 及 2.72 倍。

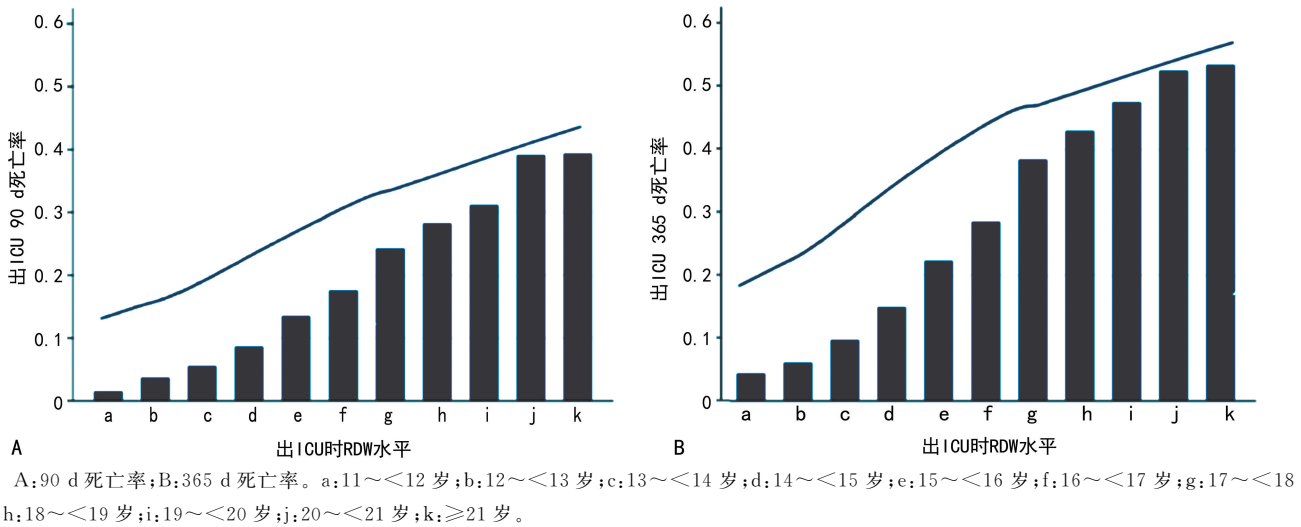


图 2 出 ICU 时 RDW 水平与重症患者死亡率之间的 Lowess 曲线

表 2 不同回归模型中出 ICU 时 RDW 水平对患者死亡率的影响

变量	粗率模型		模型 I		模型 II	
	HR(95%CI)	P	HR(95%CI)	P	HR(95%CI)	P
90 d 死亡率						
RDW(%)	1.29(1.28~1.31)	<0.001	1.29(1.28~1.31)	<0.001	1.23(1.21~1.24)	<0.001
RDW(三分位数)						
RDW<13.8	1.00		1.00		1.00	
RDW 13.8%~<15.2%	1.86(1.65~2.09)	<0.001	1.46(1.29~1.64)	<0.001	1.28(1.14~1.45)	<0.001
RDW $\geq 15.2\%$	4.73(4.25~5.26)	<0.001	3.61(3.24~4.02)	<0.001	2.51(2.24~2.81)	<0.001
365 d 死亡率						
RDW(%)	1.28(1.27~1.30)	<0.001	1.28(1.27~1.30)	<0.001	1.24(1.22~1.25)	<0.001
RDW(三分位数)						
RDW<13.8%	1.00		1.00		1.00	
RDW 13.8%~<15.2%	1.88(1.72~2.06)	<0.001	1.49(1.36~1.63)	<0.001	1.37(1.25~1.51)	0.006
RDW $\geq 15.2\%$	4.55(4.19~4.93)	<0.001	3.52(3.24~3.83)	<0.001	2.72(2.49~2.97)	<0.001

粗率模型:未进行任何相关因素校正;模型 I:仅校正年龄和性别;模型 II:校正年龄、性别、体重、血红蛋白、白细胞、血小板、肌酐、凝血酶原时间、活化部分凝血酶原时间、国际标准化比值、冠心病、高血压、糖尿病、序贯器官衰竭评分及简化急性生理学评分。

2.3 高、低 RDW 组死亡率的比较

为了进一步研究出 ICU 时 RDW 水平对重症患者远期预后的影响,本文通过 ROC 曲线及 AUC 评估出 ICU 时 RDW 水平对 90 d 死亡率的预测作用。结果发现出 ICU 时 RDW 水平对重症患者有较好的预测作用,其 AUC 为 0.705, cut-off 值为 15.3%, 见图 3。

根据其 cut-off 值将患者分为高 RDW 组 (RDW $\geq 15.3\%$, $n=9\ 500$) 及低 RDW 组 (RDW $< 15.3\%$, $n=18\ 504$), 为减少其异质性, 采用 PSM 后最终纳入 7 766 对患者, 分析其 90 d 及 365 d 死亡率。结果发现低 RDW 组 90 d 及 365 d 死亡率分别为 10.17%、16.66%; 高 RDW 组 90 d 及 365 d 死亡率分别为 18.46%、30.16%。绘制 90 d Kaplan-Meier 生

存曲线评估累积生存率, 结果发现高 RDW 组 90 d 及 365 d 死亡率均高于低 RDW 组, Log-rank 检测发现差异有统计学意义 ($P<0.001$), 见图 4。

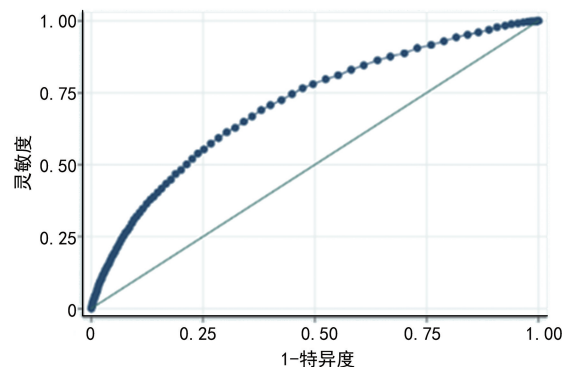
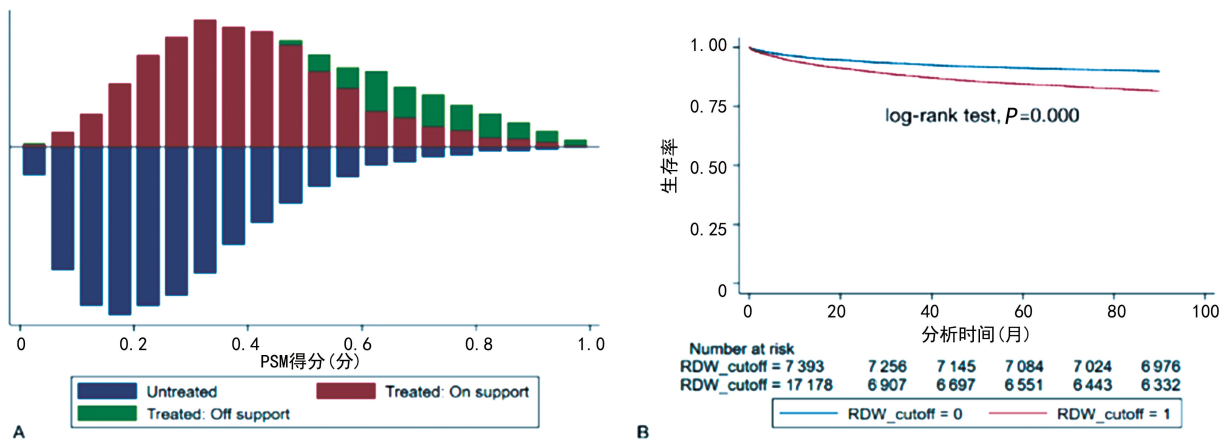


图 3 出 ICU 时 RDW 水平预测危重症患者 90 d 死亡率的 ROC 曲线



A:PSM 结果;B:Kaplan-Meier 生存曲线;B 中 0 为 RDW<15.3%,1 为 RDW≥15.3%。

图 4 PSM 分布图与 90 d Kaplan-Meier 生存曲线

表 3 低 RDW 组和高 RDW 组中患者出 ICU 后 90 d 和 365 d 死亡情况[n(%)]

变量	总体(n=15 532)	低 RDW 组(n=7 766)	高 RDW 组(n=7 766)	χ ²	P
90 d 死亡	2 224(14.32)	790(10.17)	1 434(18.46)	217.646	<0.001
365 d 死亡	3 636(23.41)	1 294(16.66)	2 342(30.16)	394.389	<0.001

3 讨 论

目前已有较多研究发现入 ICU 时及入院时高 RDW 水平与重症患者不良预后相关^[9,11]。本研究发现出 ICU 时仍有较高比例(35.77%,10 017/28 004)的患者 RDW 处于高水平(RDW≥15.2%)。因此,临床上需要关注出 ICU 时 RDW 水平是否与预后相关,以指导后续监测及治疗。本研究发现出 ICU 时 RDW 水平可用于预测重症患者中长期预后。ROC 曲线显示预测 90 d 死亡率的 AUC 为 0.705, cut-off 值为 15.3%, PSM 分析后发现,高 RDW 患者 90 d 及 365 d 死亡率均高于低 RDW 患者。Cox 比例风险回归模型分析发现出 ICU 时 RDW 水平可作为预测重症患者中长期预后的独立危险因素。

RDW 在临床上容易获得,价格低廉,重复性好,已被广泛用于评估重症及非重症患者的预后。ZHANG 等^[12]研究发现入 ICU 时 RDW 对重症急性胰腺炎(SAP)患者的预后价值高于急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II)和序贯器官衰竭评分,可方便临床医生用于指导 SAP 患者的治疗。WANG 等^[13]发现 RDW 与慢性乙型病毒性肝炎患者的严重程度呈正相关,可独立预测乙型肝炎后肝硬化患者的长期预后。YAO 等^[14]研究发现在乳腺癌患者中高 RDW 水平(RDW>13.82%)组肿瘤大小、淋巴转移比例均高于低 RDW 水平组(RDW≤13.82%)。WANG 等^[15]发现在新型冠状病毒感染患者中 RDW 是预测重症患者预后最重要的单项参数,其 AUC 为 0.870(95%CI:0.796~0.943)。还有研究发现 RDW 是一项独立预测急性呼吸窘迫综合征(ARDS)危重患者死亡率的指标^[16]。一项同样利用 MIMIC 数据库的回顾性研究发现,RDW 水平与重症患者全因死亡

率呈正相关^[17]。

目前大部分研究均聚焦于入院前或者入 ICU 时 RDW 水平,但重症患者出院后中长期死亡率高^[18],出 ICU 或者出院时 RDW 水平升高可能有助于识别出患者在出院后发生不良结局的高风险。已有研究发现在血管外科重症患者中,出院时 RDW 可以预测院外死亡率和再入院率^[19]。另外一项包含 43 212 例重症患者的大型回顾性研究分析发现,出院时 RDW 升高可用于识别 ICU 幸存者在出院后不良结局的发生风险^[20]。本研究选择出 ICU 时 RDW 这一指标,研究结果与之类似,可用于预测重症患者中长期预后。

RDW 的升高与重症患者的不良预后相关,其可能的机制如下:首先 RDW 的升高与机体炎症反应增加有关^[21];其次,RDW 与出院后死亡率的相关性也可能与氧化应激水平增加有关^[22]。高氧化应激降低红细胞存活数量,促进应激红细胞生成,从而促进网织红细胞向外周循环的释放,最终导致 RDW 增加^[23];此外,休克时动脉充盈不足的反应也可能引起 RDW 升高。动脉充盈不足,导致肾素-血管紧张素-醛固酮系统上调,血管紧张素 II 作为红细胞前体生长因子和促红细胞生成素分泌因子,可能导致 RDW 增多^[24-25]。另外,营养不良、高龄、贫血等均是引起 RDW 升高的常见原因^[26-28]。研究证实机体存在肝肾功能不全、心脏疾病、脓毒症、肿瘤、贫血等多种疾病时 RDW 明显升高,且 RDW 与患者不良预后密切相关^[29-31]。以上均为重症患者常见的病理基础。出 ICU 时的高 RDW 水平反映了机体可能仍然处于上述部分病理过程中,与重症患者出院后的不良预后相关。因此,出 ICU 时 RDW 水平仍然值得临床医师

关注。

本研究存在一定局限性:(1)这是一项基于 MIM-IC 数据库的回顾性研究,因此存在选择偏倚。(2)患者的营养状况尚不清楚,营养缺乏可能导致 RDW 升高,所以这可能是一个混杂因素;由于 RDW 检测仪器和测量技术不同,本研究的 cut-off 值不能直接应用于其他医疗机构。(3)数据库包含一些不准确的数据元素。

综上所述,患者出 ICU 时 RDW 水平与其出院后 90 d 和 365 d 死亡率呈正相关,是可用于预测重症患者中长期预后的独立危险因素。作者认为临床医生应对患者出 ICU 时 RDW 水平给予关注,将其纳入判断患者是否可以转出 ICU 的临床指标之一。但出 ICU 时 RDW 水平对患者预后的确切影响,还需更多前瞻性多中心临床试验来证实。

参考文献

- [1] PRABU R N. Long-term survival after critical illness; are we there yet? [J]. *Indian J Crit Care Med*, 2022, 26(10): 1065-1066.
- [2] FROST S A, ALEXANDROU E, BOGDANOVSKI T, et al. Severity of illness and risk of readmission to intensive care; a meta-analysis [J]. *Resuscitation*, 2009, 80(5): 505-510.
- [3] YIN Y, CHOU C A. A novel switching state-space model for post-ICU mortality prediction and survival analysis [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2021, 25(9): 3587-3595.
- [4] THIETART S, BOUMENDIL A, PATERON D, et al. Impact on 6-month outcomes of hospital trajectory in critically ill older patients: a analysis of the ICE-CUB2 clinical trial [J]. *Ann Intensive Care*, 2022, 12(1): 65.
- [5] VAN SLUISVELD N, BAKHSHI-RAIEZ F, DE KEIZER N, et al. Variation in rates of ICU readmissions and post-ICU in-hospital mortality and their association with ICU discharge practices [J]. *BMC Health Serv Res*, 2017, 17(1): 281.
- [6] WANG Z, KORANTZOPOULOS P, ROEVER L, et al. Red blood cell distribution width and atrial fibrillation [J]. *Biomark Med*, 2020, 14(13): 1289-1298.
- [7] HUANG S, ZHOU Q, GUO N, et al. Association between red blood cell distribution width and in-hospital mortality in acute myocardial infarction [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(15): e25404.
- [8] WANG B, AIHEMAITI G, CHENG B, et al. Distribution width is associated with all-cause mortality in critically ill patients with cardiogenic shock [J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25: 7005-7015.
- [9] JIA L, CUI S, YANG J, et al. Red blood cell distribution width predicts long-term mortality in critically ill patients with acute kidney injury: a retrospective database study [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 4563.
- [10] ALISTAIR E W, TOM J P, LU S, et al. MIM-IC-III, a freely accessible critical care database [J]. *Sci Data*, 2016, 3: 160035.
- [11] WANG R R, HE M, OU X F, et al. The predictive value of RDW in AKI and mortality in patients with traumatic brain injury [J]. *J Clin Lab Anal*, 2020, 34(9): e23373.
- [12] ZHANG F X, LI Z L, ZHANG Z D, et al. Prognostic value of red blood cell distribution width for severe acute pancreatitis [J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(32): 4739-4748.
- [13] WANG J, HUANG R, YAN X, et al. Red blood cell distribution width: a promising index for evaluating the severity and long-term prognosis of hepatitis B virus-related diseases [J]. *Dig Liver Dis*, 2020, 52(4): 440-446.
- [14] YAO D, WANG Z, CAI H, et al. Relationship between red cell distribution width and prognosis in patients with breast cancer after operation: a retrospective cohort study [J]. *Biosci Rep*, 2019, 39(7): BSR20190740.
- [15] WANG C, ZHANG H, CAO X, et al. Red cell distribution width (RDW): a prognostic indicator of severe COVID-19 [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(19): 1230.
- [16] WANG B, GONG Y, YING B, et al. Relation between red cell distribution width and mortality in critically ill patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019: 1942078.
- [17] PENG S, LI W, KE W. Association between red blood cell distribution width and all-cause mortality in unselected critically ill patients: analysis of the MIMIC-III database [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2023, 10: 1152058.
- [18] MARTIN G L, ATRAMONT A, MAZARS M, et al. Days spent at home and mortality after

- critical illness; a cluster analysis using nationwide data[J]. *Chest*, 2023, 163(4):826-842.
- [19] VON MEIJENFELDT G C I, VAN DER LAAN M J, ZEEBREGTS C, et al. Red cell distribution width at hospital discharge and out-of-hospital outcomes in critically ill non-cardiac vascular surgery patients[J]. *PLoS One*, 2018, 13(9):e0199654.
- [20] PURTLE S W, MOROMIZATO T, MCKANE C K, et al. The association of red cell distribution width at hospital discharge and out-of-hospital mortality following critical illness[J]. *Crit Care Med*, 2014, 42(4):918-929.
- [21] SALVAGNO G L, SANCHIS-GOMAR F, PICANZA A, et al. Red blood cell distribution width: a simple parameter with multiple clinical applications [J]. *Crit Rev Clin Lab Sci*, 2015, 52(2):86-105.
- [22] PAVLAKOU P, LIAKOPOULOS V, ELEFTHERIADIS T, et al. Oxidative stress and acute kidney injury in critical illness: pathophysiologic mechanisms-biomarkers-interventions, and future perspectives[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2017, 2017:6193694.
- [23] YANG Y, WANG Q, GAO L, et al. Promising applications of red cell distribution width in diagnosis and prognosis of diseases with or without disordered iron metabolism [J]. *Cell Biol Int*, 2023, 47(7):1161-1169.
- [24] KATO H, ISHIDA J, IMAGAWA S, et al. Enhanced erythropoiesis mediated by activation of the renin-angiotensin system via angiotensin II type 1a receptor [J]. *FASEB J*, 2005, 19(14):2023-2025.
- [25] VLAHAKOS D V, MARATHIAS K P, MADIAS N E. The role of the renin-angiotensin system in the regulation of erythropoiesis [J]. *Am J Kidney Dis*, 2010, 56(3):558-565.
- [26] KIM K M, NERLEKAR R, TRANAH G J, et al. Higher red cell distribution width and poorer hospitalization-related outcomes in elderly patients [J]. *J Am Geriatr Soc*, 2022, 70(8):2354-2362.
- [27] PILLING L C, ATKINS J L, KUCHEL G A, et al. Red cell distribution width and common disease onsets in 240 477 healthy volunteers followed for up to 9 years [J]. *PLoS One*, 2018, 13(9):e0203504.
- [28] KIM K M, LUI L Y, BROWNER W S, et al. Association between variation in red cell size and multiple aging-related outcomes [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2021, 76(7):1288-1294.
- [29] ZHANG X, WANG Y, CHEN N, et al. Red cell distribution width is associated with short-term mortality in critically ill patients with heart failure [J]. *ESC Heart Fail*, 2022, 9(5):3210-3220.
- [30] RAMIRES M L V, LEITE M F B, LO D Z Y, et al. Relation between red blood cell distribution width and acute kidney injury in patients with sepsis [J]. *Einstein (Sao Paulo)*, 2022, 20:eAO6828.
- [31] ZHOU J, FENG L, ZHANG Y, et al. High red blood cell distribution width is associated with the mortality of critically ill cancer patients: a propensity-matching study [J]. *Adv Clin Exp Med*, 2023, 32(1):31-41.

(收稿日期:2023-10-20 修回日期:2023-12-21)

(编辑:石芸)