

血红蛋白与红细胞分布宽度与院内心脏骤停患者短期预后的相关性研究

刘启嘉^{1,2}, 胡艺丹^{1,2}, 李 权^{2*}, 康 海^{2*}

¹青岛大学医学院, 山东 青岛

²青岛大学附属烟台毓璜顶医院急诊科, 山东 烟台

收稿日期: 2026年3月17日; 录用日期: 2026年4月1日; 发布日期: 2026年4月20日

摘 要

目的: 心脏骤停是一种危及生命的临床急症, 预后严重, 对医疗资源和社会造成了巨大负担。其病理生理特征为心脏泵功能的突然停止, 导致全身缺血缺氧, 尤其是脑部缺氧。这种缺血性损伤进一步激活强烈的全身炎症反应, 加重器官损伤。传统的临床指标往往难以提供同时评估炎症反应和缺血-缺氧风险的多维度评估, 从而限制了高危患者的识别。血红蛋白与红细胞分布宽度比值(HRR)近年来作为一种新型综合生物标志物, 能够反映全身炎症活性及缺血-缺氧状态。尽管其预后价值已在多种疾病中得到验证, 但关于其与院内心脏骤停(IHCA)复苏后患者预后的关联证据仍较少。此外, 现有研究主要集中于30天预后, 其在预测短期预后中的作用仍未得到充分探索。因此, 本研究旨在探讨HRR对心脏骤停患者短期(7天)预后的影响。方法: 本研究回顾性分析了2023年至2025年间在烟台毓璜顶医院接受成功心肺复苏(CPR)并恢复自主循环(ROSC)的成人IHCA患者的数据。收集了ROSC后首次可获得的实验室检查数据。通过单因素和多因素Cox回归分析筛选影响7天死亡率的显著变量。同时, 采用Kaplan-Meier曲线进一步探讨HRR对患者短期死亡率的影响。Cox回归分析显示, HRR (HR: 0.902, P = 0.029, 95% CI: 0.824~0.987)及其他因素与患者短期死亡率相关。经相关因素调整后, Kaplan-Meier曲线显示, HRR下降与患者短期死亡率升高相关(P < 0.05)。结论: 复苏后早期HRR水平低于9.13与心脏骤停患者短期死亡风险显著增加密切相关。

关键词

心脏骤停, 血红蛋白/红细胞分布宽度比值, 死亡率, 预后

A Correlational Study between Hemoglobin-Red Blood Cell Distribution Width Ratio and Short-Term Prognosis in Patients with In-Hospital Cardiac Arrest

*通讯作者。

文章引用: 刘启嘉, 胡艺丹, 李权, 康海. 血红蛋白与红细胞分布宽度与院内心脏骤停患者短期预后的相关性研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 3508-3517. DOI: 10.12677/acm.2026.1641615

QiJia Liu^{1,2}, Yidan Hu^{1,2}, Quan Li^{2*}, Hai Kang^{2*}

¹School of Clinical Medicine, Qingdao University, Qingdao Shandong

²Department of Emergency Medicine, Yantai Yuhuangding Hospital Affiliated to Qingdao University, Yantai Shandong

Received: March 17, 2026; accepted: April 1, 2026; published: April 20, 2026

Abstract

Cardiac arrest is a critical clinical condition with a grave prognosis, imposing a substantial burden on healthcare resources and society. Its underlying pathophysiology is characterized by the abrupt cessation of cardiac pump function, leading to systemic ischemia and hypoxia, particularly in the brain. This ischemic insult, in turn, activates a potent systemic inflammatory response that exacerbates organ injury. Conventional clinical parameters are often insufficient in providing a multidimensional assessment that concurrently addresses both inflammatory and ischemic-hypoxic risks, thereby limiting the identification of high-risk patients. The Hemoglobin-to-Red Cell Distribution Width Ratio (HRR) has recently emerged as a novel and integrated biomarker capable of reflecting systemic inflammatory activity and ischemic-hypoxic status. Although its prognostic value has been validated in various diseases, evidence regarding its association with outcomes following In-Hospital Cardiac Arrest (IHCA) resuscitation remains scarce. Furthermore, existing studies predominantly focus on 30-day outcomes, leaving the role of HRR in predicting short-term prognosis underexplored. Therefore, this study aims to investigate the impact of HRR on the short-term (7-day) prognosis of patients after cardiac arrest. **Method:** This study retrospectively analyzed data from adult IHCA patients who underwent successful Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) and achieved the Return Of Spontaneous Circulation (ROSC) at Yantai Yuhuangding Hospital between 2023 and 2025. The first available laboratory data after ROSC was collected. The inclusion and exclusion criteria were strictly implemented to screen eligible patients. Significant variables affecting 7-day mortality were identified using univariate and multivariable Cox regression analyses, with potential confounding factors adjusted. Additionally, Kaplan-Meier curves combined with Log-rank test were used to further explore the impact of HRR on the short-term mortality of the patients, and the optimal cut-off value of HRR was determined. **Result:** A total of 216 patients who met the inclusion and exclusion criteria were enrolled in this study. The baseline characteristics of the patients (including age, gender, underlying diseases, and cardiac arrest-related features) were collected and analyzed. Cox regression analysis revealed that HRR (HR: 0.902, P = 0.029, 95% CI: 0.824~0.987) and other relevant factors were associated with the short-term mortality of the patients. The optimal cut-off value of HRR was determined to be 9.13. After adjusting for relevant confounding factors, Kaplan-Meier curves combined with Log-rank test demonstrated that a decrease in HRR (HRR < 9.13) was significantly correlated with an increased short-term mortality rate in the patients (P < 0.05). **Conclusion:** The initial post-resuscitation HRR level (cut-off value: 9.13) was significantly associated with the short-term prognosis of cardiac arrest patients. An HRR level lower than 9.13 indicates a significantly increased risk of short-term mortality in patients after IHCA resuscitation. HRR, as a simple and accessible integrated biomarker, can provide valuable reference for early risk stratification and short-term prognostic evaluation of patients after cardiac arrest. Limitations of this study include its retrospective design and single-center data, which need to be verified by large-sample, multi-center prospective studies.

Keywords

Cardiac Arrest, Hemoglobin-to-RDW Ratio, Mortality, Prognosis



1. 引言

心脏骤停(CA)被定义为心脏机械活动的突然停止,该病理过程常伴随全身血流灌注急剧下降,导致组织代谢紊乱、乳酸堆积、酸碱失衡及细胞功能障碍[1]。在病理生理机制方面,心脏骤停引起的全身性缺血缺氧可迅速激活复杂的炎症反应级联反应。缺血再灌注过程中,大量炎症介质(如肿瘤坏死因子- α 、白细胞介素-6等)释放,氧化应激水平升高,内皮功能受损,从而进一步加重器官损伤[2]。这种由心脏骤停后全身炎症反应综合征所主导的病理过程,是影响患者预后的关键因素之一。导致全身严重缺血,尤其是脑等重要器官受到影响。这种缺血性损伤会引发一系列有害的炎症反应,如果未能及时治疗,往往会导致致命结局[3]。研究表明,包括 Martijon E.等人在内的学者指出,心脏骤停每年夺走数百万人的生命,其存活率通常低于10%。心脏骤停的管理消耗大量医疗资源,并对家庭和社会造成显著的经济负担[2][4]-[6]。现有的常规生物标志物往往难以全面评估多维度风险,例如炎症反应程度和缺血-缺氧损伤程度[7],从而限制了对高危患者实施个体化干预(如抗炎治疗或针对缺血的策略)[8]。因此,寻找新型、易获得且临床意义显著的预后生物标志物,对于改善风险分层和指导及时治疗至关重要[9]。

血红蛋白/红细胞分布宽度比值(HRR)近年来被提出作为一种新型复合生物标志物,可同时反映全身炎症状态和缺血-缺氧负荷[10]。已有研究报道了其在多种疾病中的预后价值,包括慢性阻塞性肺疾病、急性缺血性脑卒中、硬膜外出血以及多种恶性肿瘤[8][11][12]。然而,目前关于HRR与院内心脏骤停(IHCA)患者预后关联的证据仍有限,而且现有心脏骤停人群研究多集中于30天预后[13]。尽管30天死亡率通常被用作心脏骤停研究的终点,但它可能无法完全反映自主循环恢复后的早期临床过程[1][14]。在IHCA复苏后的早期阶段,死亡发生率较高,主要原因包括严重缺氧-缺血性脑损伤、难治性休克以及早期心脏骤停综合征。值得注意的是,复苏后的前7天是重症管理、预后评估及生命维持治疗决策的关键时期[15][16]。此外,既往研究多关注单一指标与患者预后的相关性,而能够反映急性炎症和缺血-缺氧应激的生物标志物(如HRR)可能与早期预后更为密切相关,而非长期死亡率,因为长期死亡率可能受后续并发症及合并疾病的影响。因此,本研究旨在探讨HRR与IHCA患者7天死亡率之间的关系。

2. 研究对象及方法

2.1. 研究对象

本研究利用了2023年至2025年间在烟台毓璜顶医院发生院内心脏骤停(IHCA)患者的数据。对于所有符合预设纳入和排除标准的患者,我们收集了基线特征以及ROSC后首次获得的实验室检查指标。实验室指标包括心肌肌钙蛋白I(cTnI)、脑钠肽(BNP)、血小板压积(Pct)、尿素、C反应蛋白(CRP)、血红蛋白/红细胞分布宽度比值(HRR)、红细胞计数(RBC)、中性粒细胞计数(Neu)、白蛋白(Alb)、淋巴细胞计数(Lym)、钾、血液pH值及乳酸。

基线临床变量包括年龄、性别、吸烟史、合并疾病(高血压、心律失常、糖尿病、心力衰竭及卒中)、是否存在可电复律的初始心律、心肺复苏(CPR)持续时间(分钟)、肾上腺素总剂量,以及结局(生存 \geq 7天或7天内死亡),所有数据均依据Utstein报告指南进行收集[17][18]。

2.2. 纳排标准

本研究的纳入标准为：发生院内心脏骤停(IHCA)并接受心肺复苏(CPR)的患者，年龄 ≥ 18 岁，且具有完整的临床与实验室数据；排除标准包括因外伤导致的心脏骤停($n = 34$)、因脑疝、恶性肿瘤等终末期疾病导致的心脏骤停($n = 12$)以及既往有血液系统疾病或免疫系统疾病的患者($n = 11$)。根据纳入标准，共收集 273 例心脏骤停患者，排除不符合标准者后最终纳入 216 例。患者根据预后被分为“生存 ≥ 7 天组”($n = 56$)和“7 天内死亡组”($n = 156$) (见图 1)。由于研究为回顾性设计，一些变量存在缺失数据，其中缺失率低于 10% 的变量采用序列均值进行填补，缺失率超过 20% 的变量则被排除在分析之外。

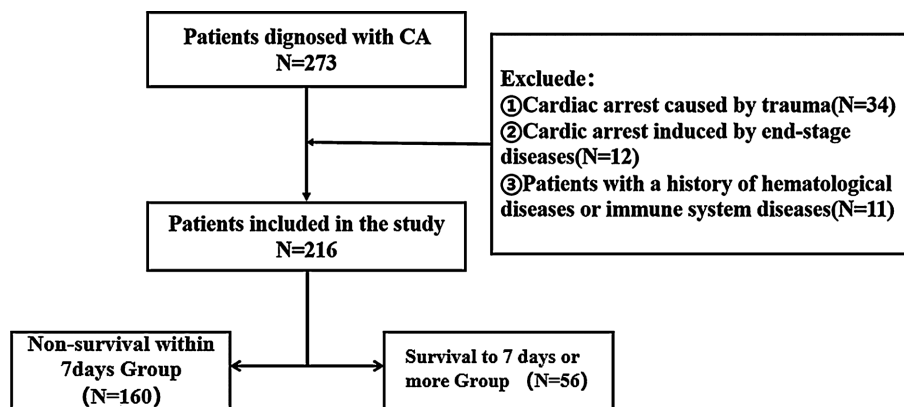


Figure 1. Data inclusion criteria for patients with cardiac arrest
图 1. 心脏骤停患者数据纳排标准

2.3. 数据处理

数据录入 Microsoft Excel 2021 进行管理，并使用 R 统计软件(版本 4.4.1)进行分析。连续变量根据分布情况处理：正态分布数据以均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示，并采用独立样本 t 检验比较；非正态分布数据以中位数(四分位数间距) [M (Q1, Q3)]表示，并采用 Mann-Whitney 检验比较[19]。分类变量以频数和百分比[n (%)]表示，采用 χ^2 检验比较。使用 Cox 比例风险回归(单因素和多因素)评估血红蛋白/红细胞分布宽度比值(HRR)与心脏骤停患者预后的关联($P < 0.05$ 表示显著)。为评估多因素 Cox 回归模型中自变量的多重共线性，计算了每个变量的方差膨胀因子(VIF)，通常 $VIF > 5$ 表示存在显著共线性。最终模型中各变量的 VIF 值介于 1.0 至 1.4，表明多重共线性对分析影响不大。使用 Schoenfeld 残差和 cox.zph 函数评估比例风险假设，每个预测变量均进行了检验，并进行了整体模型的全局检验。若某变量的 p 值 > 0.05 ，说明该变量满足比例风险假设；若 $p \leq 0.05$ ，则进一步分析可能的假设违反情况。研究期间未发生事件(如死亡)的患者视为右删失。生存曲线采用 Kaplan-Meier 法估计[20]，风险因素评估采用 Cox 比例风险模型，两种方法均考虑删失数据。Kaplan-Meier 曲线用于可视化 HRR 对 7 天生存率的影响[21]。HRR 的最佳截断值通过 survival 包的 surv_cutpoint 函数确定，该方法可找出最能区分 7 天死亡率患者生存结局的截断点。HRR 的计算公式为血红蛋白浓度除以红细胞分布宽度(RDW, %)，使用自主循环恢复后的首次实验室测定值。在所有分析中，HRR 均作为无量纲变量处理。

3. 结果

3.1. 基线数据

本研究共纳入 216 例心脏骤停患者(表 1)。其中，160 例患者(74%)在住院 7 天内死亡(非存活组)，56

例患者(26%)存活 ≥ 7 天(存活组)。非存活组男性比例较高(65.8%)相比存活组(51.4%)。非存活组患者年龄中位数为 77.00 (73.00~81.00)岁, 明显高于存活组的 73.00 (69.00~77.00)岁。吸烟史在非存活组更常见(50.5%), 而存活组为 25.7%。相比之下, 可电复律心律在存活组中占 94.3%, 显著高于非存活组的 36.9%。在复苏相关指标方面, 非存活组的心肺复苏中位持续时间较长, 为 16.00 (12.00~21.00)分钟, 而存活组为 7.00 (5.00~10.00)分钟。类似地, 非存活组在 CPR 期间使用的肾上腺素中位剂量为 5.00 (3.00~8.00), 高于存活组的 3.00 (2.00~5.00)。最后, HRR 在存活组明显较高, 为 9.96 (8.98~10.94), 而非存活组为 6.79 (6.16~7.42)。

Table 1. Baseline characteristics of the study group

表 1. 研究组基线特征

Characteristic	All patients (n = 216)	Death (n = 160)	Survival (n = 56)	P value*
Sex (male), n (%)	133 (61.5)	105 (65.8)	28 (51.4)	0.045*
Age (years), median (IQR)	75.00 (71.00~79.00)	77.00 (73.00~81.00)	73.00 (69.00~77.00)	0.039*
Smoking, n (%)	95 (43.9)	81 (50.5)	14 (25.7)	0.042*
Hypertension, n (%)	104 (48.1)	73 (45.9)	31 (56.2)	0.171
Arrhythmia, n (%)	94 (43.5)	74 (46.2)	20 (35.7)	0.225
Diabetes, n (%)	93 (43.0)	73 (45.9)	20 (35.2)	0.144
Heart failure, n (%)	100 (46.3)	75 (46.9)	25 (44.6)	0.894
Stroke, n (%)	78 (36.1)	53 (33.3)	25 (45.7)	0.085
ICU admission (%)	156 (72.2)	120 (74.8)	36 (64.8)	0.146
Shockable rhythm (%)	113 (52.3)	60 (36.9)	53 (94.3)	0.023*
CPR duration, min, median (IQR)	13.00 (9.00~18.00)	16.00 (12.00~21.00)	7.00 (5.00~10.00)	0.036*
AD (mg), median (IQR)	5.00 (3.00~8.00)	8.00 (6.00~10.00)	3.00 (2.00~5.00)	0.034*
cTnI (pg/ml), median (IQR)	66.21 (28.43~102.34)	93.21 (45.61~138.49)	30.2 (18.94~45.36)	0.081
BNP (pg/ml), median (IQR)	274.58 (210.31~356.82)	334.75 (260.41~412.71)	388.05 (320.21~455.61)	0.501
Pct (ng/L), median (IQR)	0.53 (0.30~0.82)	0.51 (0.28~0.75)	0.56 (0.34~0.90)	0.221
UREA (mmol/L), median (IQR)	5.98 (4.91~7.30)	6.60 (5.32~8.21)	5.46 (4.43~6.32)	0.127
CREA (umol/L)	63.21 \pm 10.79	68.09 \pm 14.78	50.87 \pm 9.81	0.254
Alb (g/L)	39.19 \pm 3.27	38.13 \pm 2.13	40.05 \pm 1.87	0.059
CRP (mg/L), median (IQR)	9.50 (5.21~14.61)	13.50 (8.41~18.71)	10.64 (6.18~15.23)	0.582
HRR median (IQR)	9.10 (8.56~9.64)	6.79 (6.16~7.42)	9.96 (8.98~10.94)	0.019*
RBC (g/L)	3.98 \pm 0.45	3.96 \pm 0.98	4.01 \pm 1.01	0.809
Neu ($10^9/L$)	7.34 \pm 2.21	7.60 \pm 2.30	7.33 \pm 1.51	0.107
Lym ($10^9/L$)	1.36 \pm 0.61	1.61 \pm 0.51	1.05 \pm 0.46	0.568
K (mmol/L)	5.10 \pm 0.45	5.21 \pm 1.26	4.10 \pm 1.56	0.229
pH median (IQR)	7.33 (7.28~7.39)	7.19 (7.16~7.22)	7.32 (7.28~7.36)	0.054
Lac (mmol/L), median (IQR)	2.20 (1.51~3.19)	2.85 (2.08~3.89)	2.25 (1.59~3.02)	0.012*

*死亡组与存活组对比; AD: 肾上腺素剂量; Lym: 淋巴细胞; Neu: 中性粒细胞; HRR: 血红蛋白与 RDW 比值; PCT: 降钙素原; K: 钾离子; Lac: 乳酸; Alb: 白蛋白。

3.2. Cox 回归数据分析

在对上述数据进行单因素 Cox 回归分析后(表 2), 我们发现若干变量与心脏骤停患者的 7 天死亡率显著相关, 包括性别(男性) ($P = 0.041$, HR = 1.642, 95% CI = 1.192~2.273)、可电复律心律($P = 0.037$, HR = 0.821, 95% CI = 0.887~0.981)、肾上腺素剂量(AD) ($P = 0.028$, HR = 1.053, 95% CI = 1.022~1.113)、血红蛋白/红细胞分布宽度比值(HRR) ($P = 0.029$, HR = 0.861, 95% CI = 0.825~0.898)以及乳酸(LAC) ($P = 0.026$, HR = 0.882, 95% CI = 0.851~0.939)。在多因素 Cox 回归分析中(表 3), 性别(男性) ($P = 0.035$, HR = 1.718,

Table 2. Univariate cox regression analysis of 7-day mortality after cardiac arrest

表 2. 心脏骤停后 7 天死亡率的单因素 Cox 回归分析

Variable	β	HR	95% CI	P value*
Age	0.071	1.073	1.002~1.149	0.567
Sex (Male)	0.497	1.642	1.192~2.273	0.041*
Shockable rhythm	-0.197	0.821	0.887~0.981	0.037*
AD	0.051	1.053	1.022~1.113	0.028*
BNP	-0.132	0.876	0.813~0.944	0.796
Pct	-0.053	0.948	0.894~1.102	0.075
UREA	-0.009	0.991	0.971~1.019	0.359
CRP	-0.003	0.997	0.989~1.006	0.705
HRR	-0.150	0.861	0.825~0.898	0.029*
RBC	0.033	1.033	0.887~1.213	0.668
Neu	-0.042	0.958	0.934~1.021	0.102
Alb	-0.016	0.984	0.986~0.997	0.054
Lym	0.017	1.017	0.999~1.036	0.741
K	0.126	1.134	0.859~1.553	0.375
Lac	-0.126	0.882	0.851~0.939	0.026*
pH	-0.236	0.790	0.893~0.997	0.053

*死亡组与存活组之间的比较具有统计学显著性。CI: 置信区间; HR: 风险比; AD: 肾上腺素剂量; Lym: 淋巴细胞; Neu: 中性粒细胞; HRR: 血红蛋白与 RDW 比值; PCT: 降钙素原; K: 钾离子; Lac: 乳酸; Alb: 白蛋白; K: 钾离子。

Table 3. Multivariate cox regression analysis of 7-day mortality after cardiac arrest

表 3. 心脏骤停后 7 天死亡率的多因素 Cox 回归分析

Variable	coef	HR	95% CI	P value*
Age	-0.002	0.998	0.963~1.024	0.864
Sex (Male)	0.545	1.718	1.159~2.403	0.035*
HRR	-0.120	0.887	0.882~0.960	0.005*
Lac	-0.118	0.888	0.869~0.945	0.029*
AD	0.033	1.034	0.977~1.094	0.247
Shockable rhythm	-0.650	0.522	0.350~0.787	0.001*

*死亡组与存活组之间的比较具有统计学显著性; CI 为置信区间; HR 为风险比; AD 为肾上腺素剂量; HRR 为血红蛋白与 RDW 比值。

95% CI = 1.159~2.403)、HRR ($P = 0.005$, HR = 0.887, 95% CI = 0.882~0.960)、乳酸($P = 0.029$, HR = 0.888, 95% CI = 0.869~0.945)以及可电复律心律($P = 0.001$, HR = 0.522, 95% CI = 0.350~0.787)仍与 7 天死亡率显著相关, 而肾上腺素剂量(AD) ($P > 0.05$, HR = 1.034, 95% CI = 0.977~1.094)和年龄($P > 0.05$, HR = 1.073, 95% CI = 1.002~1.149)未见显著关联。多因素模型中各变量的方差膨胀因子(VIF)范围为 1.01~1.41 (HRR: 1.028, LAC: 1.413, 年龄: 1.091, 性别: 1.326, AD: 1.223), 提示多重共线性影响很小, 保证了模型的稳定性和可靠性。使用 Schoenfeld 残差检验比例风险假设发现, HRR 的假设被违反($P = 0.01$), 提示其对生存的影响可能随时间变化, 但考虑其临床重要性, 仍保留在模型中; 其他变量(乳酸、年龄、性别、AD)未违反假设, 且全局检验 $P = 0.126$ 表明整体比例风险假设成立。

3.3. 生存曲线分析

本研究共纳入 216 例患者, 其中 160 例(74%)在 7 天随访期内死亡, 56 例(26%)存活 ≥ 7 天。这些数据被纳入 Kaplan-Meier 生存分析。通过构建 Kaplan-Meier 生存曲线比较不同分组的生存率预测能力, 并采用 log-rank 检验作为主要统计方法评估组间生存结局差异。双侧 P 值 < 0.05 被认为具有统计学意义, 表明比较组之间的生存率存在显著差异。通过前述单因素和多因素 Cox 回归分析发现, HRR 是心脏骤停患者 7 天住院死亡的保护因素。此外, 还绘制了 Kaplan-Meier 生存曲线(图 2)进一步探讨 HRR 的预后价值, 结果显示, HRR 高组(>9.13)与低组(<9.13)患者在短期院内生存率上存在统计学显著差异。

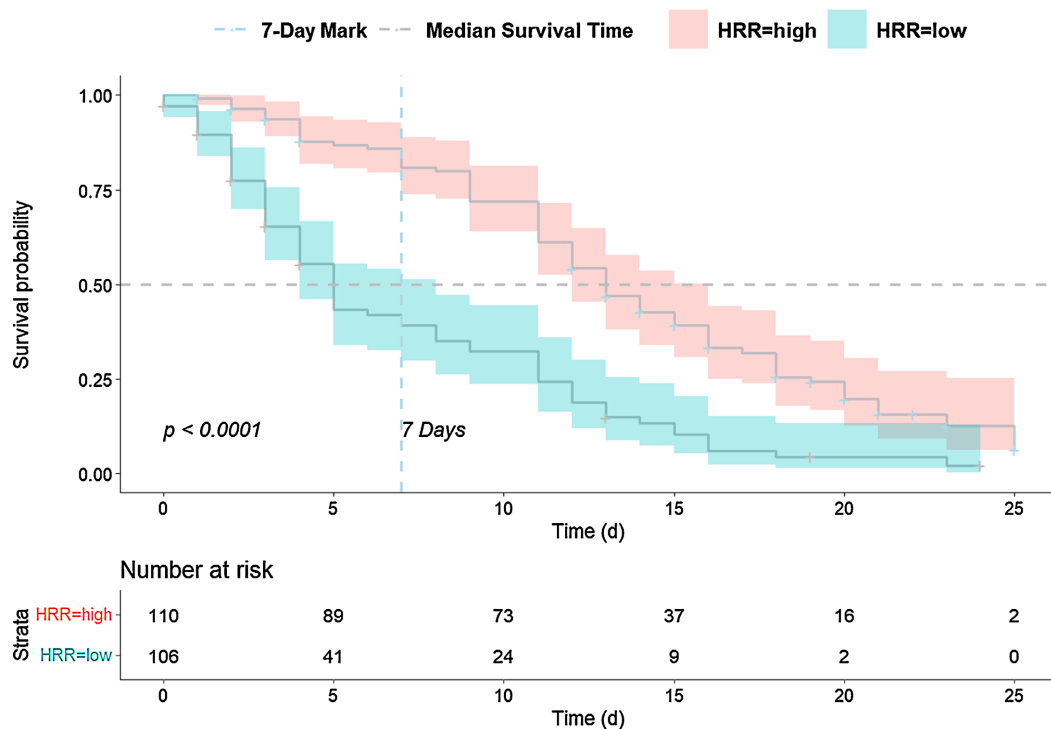


Figure 2. Kaplan-Meier Survival Curve for HRR-High versus HRR-Low Groups. The HRR-High group included patients with a HRR > 9.13 , while the HRR-Low group included patients with a HRR < 9.13 . HRR: hemoglobin-to-RDW ratio. Shaded areas represent 95% confidence. The grey line marking the median survival time intervals. The lightblue line indicates the 7-day survival rate for the two groups

图 2. HRR 高组与低组的 Kaplan-Meier 生存曲线。HRR 高组包括 HRR > 9.13 的患者, HRR 低组包括 HRR < 9.13 的患者。HRR: 血红蛋白/红细胞分布宽度比值。阴影区域表示 95%置信区间, 灰色虚线标示中位生存时间, 浅蓝色曲线表示两组的 7 天生存率

我们绘制了心脏骤停患者三种关于炎症和代谢指标的 ROC 曲线(图 3), 用于比较其与单一指标的预测能力。结果显示, HRR (血红蛋白/红细胞分布宽度比值)的 ROC 曲线表现最佳, AUC 为 0.833。乳酸的 ROC 曲线次之, AUC 为 0.728, 也具有一定的预测能力。而 C 反应蛋白(CRP)的 AUC 为 0.538, 接近 0.5, 表明其单独作为预测指标的价值有限。这提示在临床实践中, HRR 可能比传统炎症指标(如 CRP)更适合作为心脏骤停患者预后的评估工具。

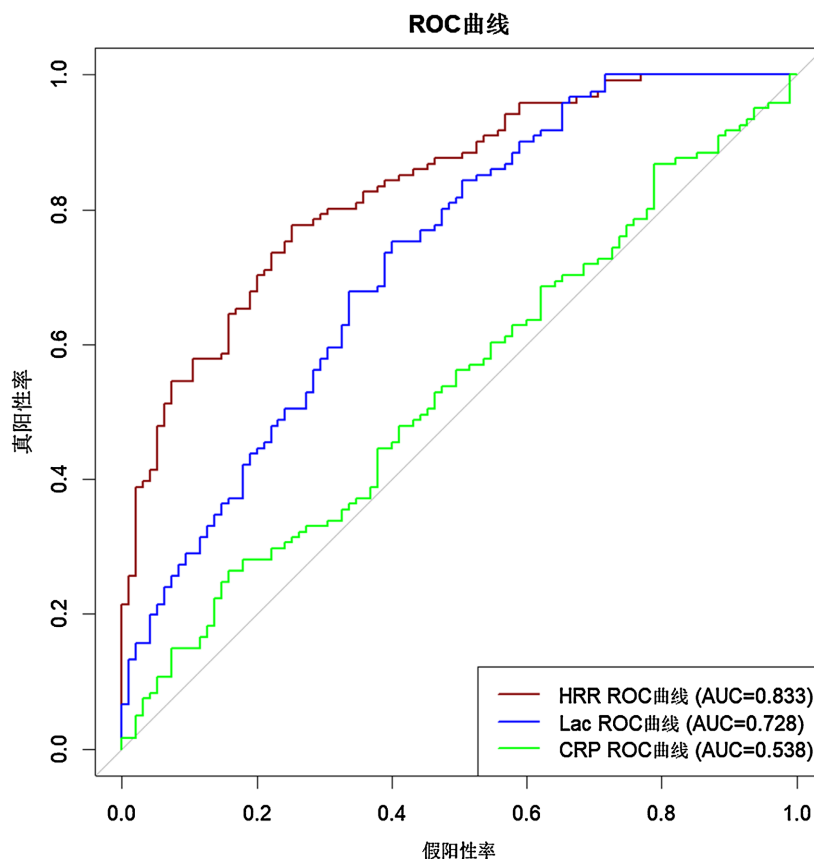


Figure 3. ROC curve plot of HRR versus other single indicators
图 3. HRR 与其他单一指标 ROC 曲线图

4. 讨论

在这项回顾性院内心脏骤停(IHCA)复苏患者队列研究中, 我们发现血红蛋白/红细胞分布宽度比值(HRR)与 7 天死亡率呈独立相关。具体而言, HRR 值较低的患者在复苏后的早期阶段死亡风险显著增加, 这提示 HRR 可能作为一个简单、易获得且具有临床意义的早期风险分层标志物[22]。在以往针对心脏骤停患者的血液学指标研究中, 多数研究仅关注红细胞分布宽度(RDW)这一单一参数, 并通常采用较长期的结局指标, 如 30 天死亡率或住院期间死亡率[23] [24]。虽然 RDW 已被证明与不良预后相关, 但由于其未纳入血红蛋白浓度, 因此无法直接反映血液的氧气携带能力或组织灌注状态的变化。相比之下, HRR 将血红蛋白浓度与 RDW 整合为一个复合指标, 从而能够更全面地反映氧气运输受损与全身应激负担的综合情况[12]。因此, HRR 不仅可以提示血液学异常, 还可能作为早期预测心脏骤停患者短期死亡的有效生物标志物。目前, 针对 IHCA 尤其是早期(7 天内)结局的 HRR 研究仍然有限, 本研究通过分析 HRR 与短期死亡率的关系, 为现有文献提供了新的补充证据, 并强调了其潜在的临床应用价值。

从生物学机制角度来看,这一相关性具有一定合理性,但仍需谨慎解读。已有研究显示, RDW 与全身炎症反应、氧化应激水平以及红细胞生成紊乱密切相关,并且与组织氧合受损存在关联。在心脏骤停后的早期阶段,缺血-缺氧损伤和全身炎症激活可能导致红细胞大小不均,表现为 RDW 增高;而血红蛋白浓度则直接反映了血液的氧气携带能力,对复苏早期的组织灌注和器官氧供具有直接影响。因此, HRR 值偏低可能意味着氧气运输能力下降,同时伴随全身应激增强,这种“双重负荷”可能导致早期死亡风险增加。以往研究也表明, RDW 与血氧饱和度呈负相关,血氧饱和度下降会破坏红细胞膜的完整性,降低红细胞的可变形性,这不仅削弱了氧气输送效率,还会刺激骨髓释放未成熟红细胞,从而进一步升高 RDW [23]。此外,心脏骤停后的即时缺血-缺氧损伤能够破坏红细胞膜结构并诱导炎症相关的氧化应激,进一步增加 RDW。这些病理生理过程的共同作用,最终会导致 HRR 降低[25]。虽然这些机制为 HRR 与早期死亡风险相关提供了合理解释,但现有证据仍主要基于观察性研究,因此需通过进一步的机制研究来明确其因果关系,并验证 HRR 在临床风险评估中的实用性。

5. 局限性

本研究存在若干局限性,这些局限性主要源于其单中心、观察性设计。研究结果的普适性可能受限,即使在统计学调整后,也无法完全排除残余混杂因素的影响。样本量有限,也限制了对较弱关联的统计检出能力,同时回顾性设计可能带来信息偏倚,例如数据缺失或随访不足,另本研究仅使用了院内心脏骤停患者自主循环恢复后的首次检测值。然而,复苏后患者的 HRR 很可能是动态变化的,其变化趋势(如持续下降、先降后升)可能比单一次的静态值包含更丰富的预后信息。在未来的研究中也进一步探讨动态变化的 HRR 值与患者预后的关系。

本研究的若干排除标准可能进一步影响结果的普适性。创伤相关心脏骤停、终末期疾病及既往血液或免疫系统疾病患者被排除在外,这可能限制研究结果对某些重症患者人群的适用性。这些排除是为了减少临床异质性和潜在混杂因素,因为创伤性心脏骤停及终末期疾病的发病机制和预后与院内医学性心脏骤停存在显著差异。此外,血液系统或免疫系统疾病可直接影响血红蛋白水平和红细胞分布宽度,可能混淆 HRR 作为急性缺血-缺氧和炎症应激标志物的解释。

因此,本研究的结果主要适用于无显著影响红细胞指标的既往疾病的成人医学性院内心脏骤停患者。未来需要开展多中心研究,纳入更广泛的患者群体,以验证 HRR 的预后价值是否可以推广至其他重症患者亚群。

声明

本研究获得烟台毓璜顶医院伦理委员会批准(审批号: K2026-063),患者均签署知情同意书。

参考文献

- [1] Andersen, L.W., Holmberg, M.J., Berg, K.M., Donnino, M.W. and Granfeldt, A. (2019) In-Hospital Cardiac Arrest. *JAMA*, **321**, 1200-1210. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.1696>
- [2] Perman, S.M., Elmer, J., Maciel, C.B., Uzendu, A., May, T., Mumma, B.E., *et al.* (2024) 2023 American Heart Association Focused Update on Adult Advanced Cardiovascular Life Support: An Update to the American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*, **149**, e254-e273. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000001194>
- [3] Stecker, E.C. and Nazer, B. (2021) The Shadows of Sudden Cardiac Death. *Journal of the American College of Cardiology*, **77**, 2363-2365. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.03.321>
- [4] Marijon, E., Narayanan, K., Smith, K., Barra, S., Basso, C., Blom, M.T., *et al.* (2023) The Lancet Commission to Reduce the Global Burden of Sudden Cardiac Death: A Call for Multidisciplinary Action. *The Lancet*, **402**, 883-936. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)00875-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)00875-9)

- [5] Myerburg, R.J. and Goldberger, J.J. (2017) Sudden Cardiac Arrest Risk Assessment: Population Science and the Individual Risk Mandate. *JAMA Cardiology*, **2**, 689-694. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2017.0266>
- [6] Wang, C., Zheng, W., Zheng, J., Shao, F., Zhu, Y., Li, C., *et al.* (2022) A National Effort to Improve Outcomes for In-Hospital Cardiac Arrest in China: The Baseline Investigation of Cardiac Arrest (Basic-IHCA). *Resuscitation Plus*, **11**, Article 100259. <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2022.100259>
- [7] Tang, J. and Zeng, H. (2025) Electrolyte Affecting In-Hospital Cause Mortality in Patients with Cardiac Arrest within 30 Days: A Retrospective Study Based on the MIMIC-IV Database. *Emergency and Critical Care Medicine*, **5**, 131-137. <https://doi.org/10.1097/ec9.0000000000000143>
- [8] Huang, L., Li, L., Ouyang, Q., Chen, P., Yu, M. and Xu, L. (2025) Association between the Hemoglobin-to-Red Cell Distribution Width Ratio and Three-Month Unfavorable Outcome in Older Acute Ischemic Stroke Patients: A Prospective Study. *Frontiers in Neurology*, **16**, Article 1534564. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1534564>
- [9] Penketh, J. and Nolan, J.P. (2022) In-Hospital Cardiac Arrest: The State of the Art. *Critical Care*, **26**, Article No. 376. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04247-y>
- [10] Lau, N.C., Hu, C.C., Huang, Y.Y., *et al.* (2024) Hemoglobin-to-RDW Ratio, Hemoglobin-to-Monocyte Ratio, and Hemoglobin-to-Leukocyte Ratio Are Predictive of 14-Day Readmission after Primary Total Knee Arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **19**, Article No. 688. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05116-w>
- [11] Eyiol, A., Eyiol, H. and Sahin, A. (2024) Evaluation of HRR (Hemoglobin/Red Blood Cell Distribution Width Ratio) and RAR (Red Blood Cell Distribution Width/Albumin Ratio) in Myocarditis Patients: Associations with Various Clinical Parameters. *International Journal of General Medicine*, **17**, 5085-5093. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s490203>
- [12] Eyiol, H., Eyiol, A. and Sahin, A.T. (2025) Clinical Relevance of HRR (Hemoglobin to RDW) and RAR (RDW to Albumin) in Pericarditis. *Biomarkers in Medicine*, **19**, 197-204. <https://doi.org/10.1080/17520363.2025.2471743>
- [13] Zhang, W. and Gu, W. (2025) Modified Early-Warning Score Combined with Early-Warning Symptoms and Electrocardiographic Findings in Predicting In-Hospital Cardiac Arrest in Critically Ill Patients: A Retrospective Cohort Study. *Emergency and Critical Care Medicine*, **5**, 83-89. <https://doi.org/10.1097/ec9.0000000000000135>
- [14] Pound, G.M., Grimwood, C., Rix, A., Wickham, K., Jones, D., Eastwood, G.M., *et al.* (2025) Long-term Functional Outcomes and Health-Related Quality of Life Following In-Hospital Cardiac Arrest (IHCA): A Systematic Review. *Resuscitation*, **214**, Article 110673. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2025.110673>
- [15] Tonna, J.E., Selzman, C.H., Girotra, S., Presson, A.P., Thiagarajan, R.R., Becker, L.B., *et al.* (2022) Resuscitation Using ECPR during In-Hospital Cardiac Arrest (RESCUE-IHCA) Mortality Prediction Score and External Validation. *JACC: Cardiovascular Interventions*, **15**, 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2021.09.032>
- [16] Andrea, L., Herman, N.S., Vine, J., Berg, K.M., Choudhury, S., Vaena, M., *et al.* (2024) The Discover In-Hospital Cardiac Arrest (Discover IHCA) Study: An Investigation of Hospital Practices after In-Hospital Cardiac Arrest. *Critical Care Explorations*, **6**, e1149. <https://doi.org/10.1097/ccc.0000000000001149>
- [17] Bray, J.E., Grasner, J., Nolan, J.P., Iwami, T., Ong, M.E.H., Finn, J., *et al.* (2024) Cardiac Arrest and Cardiopulmonary Resuscitation Outcome Reports: 2024 Update of the Utstein Out-of-Hospital Cardiac Arrest Registry Template. *Circulation*, **150**, e203-e223. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000001243>
- [18] Allen, M.R. (1991) The Utstein Guidelines. *Medical Journal of Australia*, **155**, 430-431. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1991.tb93834.x>
- [19] Xie, J. and Li, L. (2021) Comments on the Utilization of Mann-Whitney U Test and Kaplan-Meier Method. *Journal of Gynecologic Oncology*, **32**, e46. <https://doi.org/10.3802/jgo.2021.32.e46>
- [20] Gomes, A.P., Costa, B., Marques, R., Nunes, V. and Coelho, C. (2024) Kaplan-Meier Survival Analysis: Practical Insights for Clinicians. *Acta Médica Portuguesa*, **37**, 280-285. <https://doi.org/10.20344/amp.21080>
- [21] Andrade, C. (2023) Survival Analysis, Kaplan-Meier Curves, and Cox Regression: Basic Concepts. *Indian Journal of Psychological Medicine*, **45**, 434-435. <https://doi.org/10.1177/02537176231176986>
- [22] Zhou, J., Du, W., Huang, H., Chen, Y., Li, H., Chen, L., *et al.* (2025) HRR as a Predictor of Lung Health: Insights from the NHANES Database. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1503142. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1503142>
- [23] Hu, L., Liu, Z., Yu, J., Yang, Z. and Feng, D. (2025) The Correlation between NLR, RDW, and Pulmonary Hypertension in Patients with Bronchiectasis and Chronic Obstructive Pulmonary Disease Overlap Syndrome. *The Clinical Respiratory Journal*, **19**, e70128. <https://doi.org/10.1111/crj.70128>
- [24] Ho, Y.J., Su, P.I., Chi, C.Y., *et al.* (2024) External Validation of the RESCUE-IHCA Score as a Predictor for In-Hospital Cardiac Arrest Patients Receiving Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation. *Western Journal of Emergency Medicine*, **25**, 894-902. <https://doi.org/10.5811/westjem.18601>
- [25] Soar, J. (2023) In-Hospital Cardiac Arrest. *Current Opinion in Critical Care*, **29**, 181-185. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000001035>