

# 院内心搏骤停患者心肺复苏期间平均动脉压与预后的关系研究

丁清彧 王金龙 苏成磊 花嵘 燕宪亮

徐州医科大学附属医院急诊医学科, 徐州 221002

通信作者: 燕宪亮, Email: docyxl@163.com

**【摘要】目的** 探讨院内心搏骤停(IHCA)患者心肺复苏(CPR)期间平均动脉压(MAP)与预后的相关性及其预测价值。**方法** 通过急诊病历系统选取2020年1月至2022年12月徐州医科大学附属医院急诊科收治的IHCA患者。根据CPR期间的时间加权平均动脉压(TWA-MAP)水平,将患者分为低水平组(TWA-MAP<65 mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa)、中等水平组(65 mmHg≤TWA-MAP<85 mmHg)和高水平组(TWA-MAP≥85 mmHg)。比较3组患者自主循环恢复(ROSC)成功率、3 d生存率、神经功能恢复良好率。应用多因素二元Logistic回归分析患者ROSC成功率、3 d生存率及神经功能预后的影响因素。采用广义相加模型(GAM)分析并分别绘制TWA-MAP与ROSC率、3 d生存率、神经功能恢复良好率的暴露-效应曲线,应用受试者工作特征曲线(ROC曲线)分析TWA-MAP的预测价值。**结果** 共纳入486例患者,其中TWA-MAP低水平组350例,中等水平组63例,高水平组73例。3组间性别、年龄、既往病史、心搏骤停特征等指标比较差异均无统计学意义。CPR期间中等水平组、高水平组ROSC成功率、3 d生存率、神经功能恢复良好率均高于低水平组(ROSC成功率:82.5%、75.3%比17.1%, 3 d生存率:36.5%、23.3%比5.1%,神经功能恢复良好率:12.7%、12.3%比1.7%,均 $P<0.05$ ),而中等水平组与高水平组间差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。多因素二元Logistic回归分析显示,CPR期间65 mmHg≤TWA-MAP<85 mmHg是患者3 d内生存的保护因素[优势比( $OR$ )=3.040, 95%置信区间(95%CI)为1.436~6.437,  $P=0.004$ ], TWA-MAP≥85 mmHg是患者3 d内死亡的危险因素( $OR=0.390$ , 95%CI为0.153~0.994,  $P=0.049$ )。65 mmHg≤TWA-MAP<85 mmHg对ROSC具有保护作用( $OR=4.421$ , 95%CI为1.013~19.280,  $P=0.048$ )。65 mmHg≤TWA-MAP<85 mmHg和TWA-MAP≥85 mmHg并非患者神经功能恢复良好的独立影响因素(均 $P>0.05$ )。暴露-效应曲线显示,随着TWA-MAP的增加,患者ROSC成功率、3 d生存率均呈增长趋势。TWA-MAP达到60 mmHg时,患者ROSC成功率达60%以上;TWA-MAP达80 mmHg时,ROSC成功率进入平台期,维持在80%左右。TWA-MAP达60 mmHg时,患者3 d生存率达20.3%;TWA-MAP在76 mmHg时生存率达到峰值(37.2%),随后有所下降。虽然神经功能恢复良好率随TWA-MAP增加而升高,但关系不显著。ROC曲线分析显示,TWA-MAP对ROSC成功率有预测价值,曲线下面积(AUC)为0.886, 95%CI为0.852~0.919;当TWA-MAP为60 mmHg时,敏感度为90.7%,特异度为66.2%。TWA-MAP对患者3 d生存率也具有预测价值,AUC为0.843, 95%CI为0.777~0.909;当TWA-MAP为60 mmHg时,敏感度为73.5%,特异度为79.8%。**结论** CPR期间维持较高水平的MAP与IHCA患者较好的生存率相关。

**【关键词】** 院内心搏骤停;心肺复苏;平均动脉压;心搏骤停后综合征;预后

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20251106-00542

## Relationship between prognosis and mean arterial pressure of in-hospital cardiac arrest patients during cardiopulmonary resuscitation

Ding Qingyu, Wang Jinlong, Su Chenglei, Hua Rong, Yan Xianliang

Department of Emergency Medicine, Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Xuzhou 221002, China

Corresponding author: Yan Xianliang, Email: docyxl@163.com

**【Abstract】Objective** To evaluate the association and predictive value of mean arterial pressure (MAP) during cardiopulmonary resuscitation (CPR) regarding prognosis in patients with in-hospital cardiac arrest (IHCA). **Methods** IHCA patients admitted to the emergency department of the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University from January 2020 to December 2022 were enrolled via the emergency medical record system. Based on the time-weighted average mean arterial pressure (TWA-MAP) levels during CPR, patients were divided into a low-level group (TWA-MAP<65 mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa), a mid-level group (65 mmHg≤TWA-MAP<85 mmHg), and a high-level group (TWA-MAP≥85 mmHg). The rates of return of spontaneous circulation (ROSC), 3-day survival, and favorable neurological outcome were compared among the three groups. Multivariable binary Logistic regression analysis was used to explore factors influencing ROSC success rate, 3-day survival rate and favorable neurological outcome rate. Generalized additive model (GAM) was employed to analyze and construct exposure-response curves for TWA-MAP in relation to ROSC success rate, 3-day survival rate and favorable neurological outcome rate, respectively. Receiver operator characteristic curve (ROC curve) analysis was applied to evaluate the predictive value. **Results** A total of 486 patients were included, with 350 in the low-level group, 63 in the medium-level group, and 73 in the high-level

group. There were no significant differences in indicators such as gender, age, medical history, and characteristics of cardiac arrest among the three groups. The ROSC success rate, 3-day survival rate, and favorable neurological outcome rate in the medium and high-level groups were higher than those in the low-level group (ROSC success rate: 82.5%, 75.3% vs. 17.1%; 3-day survival rate: 36.5%, 23.3% vs. 5.1%; favorable neurological outcome rate: 12.7%, 12.3% vs. 1.7%; all  $P < 0.05$ ). There were no significant differences observed between the medium and high-level groups (all  $P > 0.05$ ). Multivariable binary Logistic regression showed that  $65 \text{ mmHg} \leq \text{TWA-MAP} < 85 \text{ mmHg}$  during CPR was a protective factor for 3-day survival [odds ratio (OR)=3.040, 95% confidence interval (95%CI) was 1.436–6.437,  $P=0.004$ ],  $\text{TWA-MAP} \geq 85 \text{ mmHg}$  was identified as a risk factor for mortality within 3 days (OR=0.390, 95%CI was 0.153–0.994,  $P=0.049$ ).  $65 \text{ mmHg} \leq \text{TWA-MAP} < 85 \text{ mmHg}$  served as a protective factor for achieving ROSC (OR=4.421, 95%CI was 1.013–19.280,  $P=0.048$ ). Neither  $65 \text{ mmHg} \leq \text{TWA-MAP} < 85 \text{ mmHg}$  nor  $\text{TWA-MAP} \geq 85 \text{ mmHg}$  were independent predictors of favorable neurological outcome in patients (both  $P > 0.05$ ). Exposure-response curve indicated that ROSC success rate and 3-day survival rate increased with higher TWA-MAP. When TWA-MAP reached 60 mmHg, the ROSC success rate exceeded 60%; when at 80 mmHg, the ROSC success rate reached a plateau of approximately 80%. For 3-day survival, the rate reached 20.3% at a TWA-MAP of 60 mmHg, peaked at 37.2% at 76 mmHg, and declined thereafter. Although the favorable neurological outcome rate trended upward with increasing TWA-MAP, the correlation was not statistically significant. ROC curve analysis demonstrated that TWA-MAP had high predictive value for ROSC [area under the curve (AUC)=0.886, 95%CI was 0.852–0.919]; at a TWA-MAP cut-off of 60 mmHg, sensitivity was 90.7% and specificity was 66.2%. TWA-MAP also had predictive value for 3-day survival, with an AUC of 0.843 (95%CI was 0.777–0.909); at a TWA-MAP cut-off of 60 mmHg, sensitivity was 73.5% and specificity was 79.8%.

**Conclusion** Maintaining a higher level of MAP during CPR is associated with better survival rate in IHCA patients.

**【Key words】** In-hospital cardiac arrest; Cardiopulmonary resuscitation; Mean arterial pressure; Post-cardiac arrest syndrome; Prognosis

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20251106-00542

心搏骤停 (cardiac arrest, CA) 是指心脏突然停止射血, 造成循环停止而产生的一系列症状、体征, 根据 CA 发生地点不同, 可将其分为院外心搏骤停 (out-of-hospital cardiac arrest, OHCA) 和院内心搏骤停 (in-hospital cardiac arrest, IHCA)。若 CA 患者能得到及时有效的心肺复苏 (cardiopulmonary resuscitation, CPR), 部分患者有可能恢复自主循环, 然而一些患者即便恢复自主循环, 其预后仍然不佳<sup>[1-2]</sup>, 主要原因涉及自主循环恢复 (restoration of spontaneous circulation, ROSC) 后的心搏骤停后综合征 (postcardiac arrest syndrome, PCAS), 其主要机制之一与缺血和再灌注损伤导致心肌功能障碍及低氧血症性脑损伤 (hypoxic-ischemic brain injury, HIBI) 有关<sup>[3]</sup>。HIBI 导致大脑血流自动调节受损, 使足够的脑灌注必须依赖于平均动脉压 (mean arterial pressure, MAP)<sup>[4]</sup>。为此, 最新的 CPR 指南提出“高质量心肺复苏的概念”, 其中包括胸部按压时按压深度 5~6 cm, 按压频率 100~120 次/min, 同时应避免低血压<sup>[5-6]</sup>, 但最佳的按压深度与频率尚缺乏大规模、随机对照研究证实, 此外, CPR 期间胸外按压产生的 MAP 与预后的关系也尚缺乏相关研究, 故本研究旨在探讨 CA 患者 CPR 期间 MAP 与预后的关系, 为改善 CA 患者的预后提供理论依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象:** 采用回顾性队列研究, 通过急诊病

历系统选取 2020 年 1 月至 2022 年 12 月在本院急诊科收治的 IHCA 患者为研究对象。

**1.1.1 纳入标准:** ① 在急诊抢救室或急诊重症监护病房 (emergency intensive care unit, EICU) 内发生 CA 的患者; ② 年龄  $\geq 18$  周岁; ③ 接受心肺复苏器 (美国 Weil 研究院, 型号 SCC100) 进行胸外按压, 且符合 CPR 指南推荐的按压频率 (100~120 次/min) 和按压深度 (5~6 cm)。

**1.1.2 排除标准:** ① 创伤导致的 CA 患者; ② 家属或授权人放弃抢救的 CA 患者。

**1.2 伦理学:** 本研究方案经医院医学伦理委员会批准 (审批号: XYFY2024-KL489-01)。

### 1.3 观察指标

**1.3.1 人口统计学资料:** 通过急诊病历系统获取患者性别、年龄、既往病史等资料。

**1.3.2 临床资料:** 获取患者 CA 时间、开始 CPR 时间、ROSC 时间、CA 初始心律、CPR 期间肾上腺素使用量、导致 CA 的病因、实施气管插管及目标体温管理 (targeted-temperature management, TTM) 情况、生存天数等。ROSC 定义为 CA 患者经 CPR 或其他复苏措施后, 恢复可触及的脉搏, 并伴有可测量的血压, 且心电图显示有规律的心电活动<sup>[6]</sup>。

**1.3.3 病情严重程度与神经功能恢复指标:** 获取患者入室 24 h 内急性生理学与慢性健康状况评分 II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II,

APACHE II), 离院时脑功能评分(Cerebral Performance Categories, CPC)。CPC 评分 1~2 分为神经功能恢复良好, 3~5 分为神经功能恢复不良<sup>[7]</sup>。

**1.3.4 血压值:** 获取患者 CPR 期间的 MAP, 计算时间加权平均动脉压(time-weighted average mean arterial pressure, TWA-MAP)。所有患者均使用多功能心电监护仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司, 型号 IMEC10/N12)袖带测量 MAP(奥斯科尔特法), 测量间隔 5~10 min。TWA-MAP 指每个时间点的 MAP 同该时间点持续时间乘积的总和与总时间的比值<sup>[8]</sup>。TWA-MAP=(MAP1×时间 1+MAP2×时间 2+MAP3×时间 3+……)÷(时间 1+时间 2+时间 3+……)。

**1.4 分组:** 根据 CPR 期间 TWA-MAP, 将患者分为低水平组(TWA-MAP<65 mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa)、中等水平组(65 mmHg≤TWA-MAP<85 mmHg)和高水平组(TWA-MAP≥85 mmHg)。

**1.5 统计学方法:** 应用 SPSS 26.0 和 R 4.5.1 软件进行统计学分析。计量资料均为非正态分布, 以中

位数(四分位数)[ $M(Q_1, Q_3)$ ]表示, 采用 Wilcoxon Kruskal-Wallis  $H$  检验, 两两比较采用 Dunn 检验, 并采用 Bonferroni 法校正。计数资料以频数(率)表示, 采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法, 事后比较用 Bonferroni 法进行分析。绘制 Kaplan-Meier 生存曲线, 并用单因素 Cox 回归分析组间生存率差异。应用多因素二元 Logistic 回归分析患者 3 d 生存率、神经功能预后、ROSC 成功率的影响因素。采用广义相加模型(generalized additive model, GAM)分析 TWA-MAP 与 ROSC 成功率、3 d 生存率、神经功能恢复良好率的关系, 基于模型绘制暴露-效应曲线图, 并应用受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)分析 TWA-MAP 的预测价值。检验水准  $\alpha$  值取双侧 0.05。

**2 结果**

**2.1 患者一般临床资料:** 共纳入 486 例 IHCA 患者, 其中 TWA-MAP 低水平组 350 例, 中等水平组 63 例, 高水平组 73 例。各组患者年龄、性别、既往病史、CA 特征等指标差异无统计学意义(均  $P>0.05$ ; 表 1)。

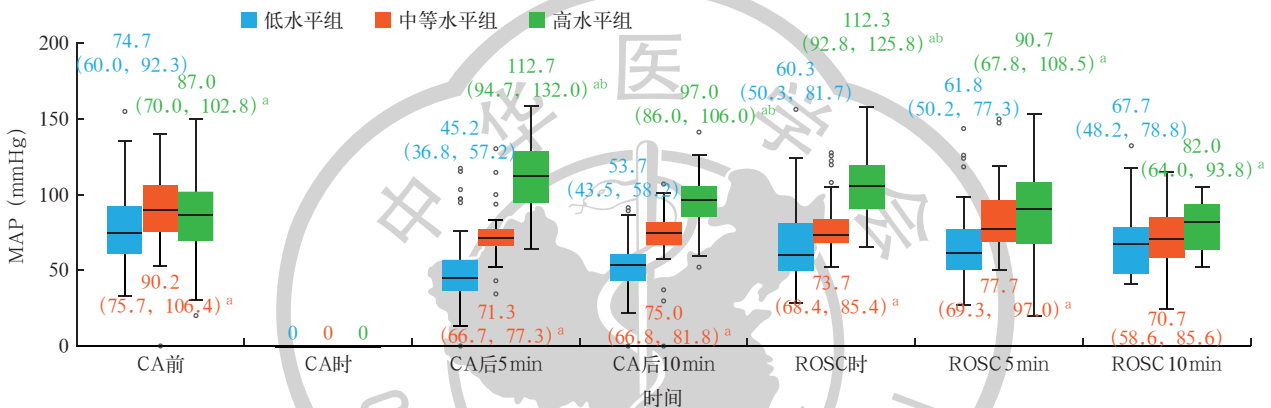
表 1 不同 TWA-MAP 水平组院内心搏骤停患者基线资料比较

指标	低水平组(350 例)	中等水平组(63 例)	高水平组(73 例)	统计量值	P 值
人口学特征					
年龄[岁, $M(Q_1, Q_3)$ ]	67.0(55.0, 79.0)	68.0(58.5, 77.0)	67.0(61.0, 77.0)	$H=0.088$	0.984
男性[例(%)]	227(64.9)	43(68.3)	45(61.6)	$\chi^2=0.649$	0.740
既往病史[例(%)]					
高血压	110(31.4)	23(36.5)	26(35.6)	$\chi^2=0.954$	0.621
糖尿病	77(22.0)	19(30.2)	19(26.0)	$\chi^2=2.233$	0.327
冠心病	55(15.7)	13(20.6)	12(16.4)	$\chi^2=0.940$	0.625
经皮冠状动脉介入治疗	26(7.4)	3(4.8)	3(4.1)	$\chi^2=1.473$	0.479
慢性阻塞性肺疾病	21(6.0)	2(3.2)	3(4.1)	$\chi^2=1.103$	0.576
脑梗死	13(3.7)	3(4.8)	4(5.5)	$\chi^2=0.554$	0.758
肝炎	16(4.6)	1(1.6)	2(2.7)	$\chi^2=1.578$	0.454
手术	30(8.6)	2(3.2)	3(4.1)	$\chi^2=3.556$	0.169
入室指标[ $M(Q_1, Q_3)$ ]					
血糖(mmol/L)	8.9(6.3, 13.0)	10.1(7.4, 15.0)	9.7(6.4, 13.2)	$H=1.472$	0.479
pH 值	7.28(7.06, 7.39)	7.27(7.20, 7.33)	7.29(7.11, 7.38)	$H=0.385$	0.824
PaO <sub>2</sub> (mmol/L)	89.0(63.0, 149.0)	64.0(54.0, 94.5)	110.0(77.5, 190.5)	$H=3.396$	0.203
PaCO <sub>2</sub> (mmol/L)	31.6(24.9, 38.0)	31.2(26.3, 38.0)	36.3(30.1, 53.9)	$H=2.393$	0.303
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	18.9(10.7, 24.4)	19.6(13.4, 23.5)	20.2(13.1, 24.8)	$H=2.254$	0.324
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	136.9(133.4, 140.0)	138.1(131.6, 142.5)	137.1(132.7, 141.3)	$H=2.754$	0.252
K <sup>+</sup> (mmol/L)	4.14(3.57, 5.05)	4.53(4.09, 5.29)	4.23(3.76, 4.98)	$H=4.143$	0.126
Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	2.10(1.95, 2.21)	2.10(2.00, 2.45)	2.11(1.98, 2.27)	$H=1.606$	0.448
APACHE II 评分(分)	24.0(19.0, 31.0)	22.0(19.0, 24.0)	22.0(15.0, 29.0)	$H=1.278$	0.528
CA 病因[例(%)]					
冠状动脉栓塞	94(26.9)	16(25.4)	21(28.8)	$\chi^2=5.859$	0.923
低氧血症	98(28.0)	15(23.8)	20(27.4)		
低血容量	84(24.0)	16(25.4)	15(20.5)		
代谢紊乱	34(9.7)	9(14.3)	11(15.1)		
肺栓塞	10(2.8)	2(3.2)	2(2.7)		
其他	30(8.6)	5(7.9)	4(5.5)		

续表 1

指标	低水平组 (350 例)	中等水平组 (63 例)	高水平组 (73 例)	统计量值	P 值
初始心律 [例 (%)]				$\chi^2=1.798$	0.180
停搏 / 无脉电活动	260 (74.3)	52 (82.5)	50 (68.5)		
室颤 / 室速	90 (25.7)	11 (17.5)	23 (31.5)		
除颤次数 [次, $M(Q_1, Q_3)$ ]	1 (1, 2)	1 (1, 2)	1 (1, 2)	$H=1.113$	0.573
实施气管插管 [例 (%)]	311 (88.9)	57 (90.5)	69 (94.5)	$\chi^2=2.162$	0.358
实施 TTM [例 (%)]	16 (4.6)	7 (11.1)	6 (8.2)	$\chi^2=4.979$	0.082
肾上腺素使用量 [mg, $M(Q_1, Q_3)$ ]	5.0 (3.0, 10.0)	5.0 (3.0, 8.0)	5.0 (2.0, 10.0)	$H=1.385$	0.500
CA 至 CPR < 1 min [例 (%)]	350 (100.0)	63 (100.0)	73 (100.0)		
CPR 至 ROSC 时间 [min, $M(Q_1, Q_3)$ ]	10.0 (5.0, 20.0)	15.0 (10.0, 21.0)	15.0 (10.0, 26.0)	$H=4.990$	0.083

注: 低水平组为时间加权平均动脉压 (TWA-MAP) < 65 mmHg, 中等水平组为 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg, 高水平组为 TWA-MAP ≥ 85 mmHg; PaO<sub>2</sub> 为动脉血氧分压, PaCO<sub>2</sub> 为动脉血二氧化碳分压, APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II, CA 为心搏骤停, TTM 为目标体温管理, CPR 为心肺复苏, ROSC 为自主循环恢复; 1 mmHg=0.133 kPa; 空白代表未测



注: 低水平组为时间加权平均动脉压 (TWA-MAP) < 65 mmHg, 中等水平组 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg, 高水平组 TWA-MAP ≥ 85 mmHg; MAP 为平均动脉压, CA 为心搏骤停, ROSC 为自主循环恢复; 1 mmHg=0.133 kPa; ○代表离散值; <sup>a</sup> 与低水平组比较,  $P < 0.05$ ; <sup>b</sup> 与中等水平组比较,  $P < 0.05$

图 1 不同 TWA-MAP 水平组院内心搏骤停患者 MAP 变化趋势

**2.2 各组患者 MAP 变化趋势:** 图 1 显示, 在 CA 发生前, 低水平组 MAP 低于中等水平组和高水平组 (均  $P < 0.05$ )。CA 发生时, 各组 MAP 均骤降至零。随着 CPR 的进行, 各组 MAP 逐渐上升。高水平组 MAP 中位数恢复至高位, 中等水平组回升至中等水平, 而低水平组始终处于较低水平, 3 组在 CA 后 5 min 及 CA 后 10 min 时的差异均具有统计学意义 (均  $P < 0.05$ )。ROSC 后, 高水平组 MAP 中位数开始回落, 中等水平组维持相对平稳, 而低水平组逐渐恢复并趋近于 CA 前水平。至 ROSC 后 10 min 时, 低水平组与高水平组之间差异仍然存在统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 但低水平组与中等水平组、中等水平组与高水平组组间差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ )。

**2.3 各组患者预后指标比较:** 表 2 显示, 中等水平组和高水平组 ROSC 成功率、3 d 生存率、神经功能恢复良好率均高于低水平组 (均  $P < 0.05$ ), 而中等水平组与高水平组各指标差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ )。

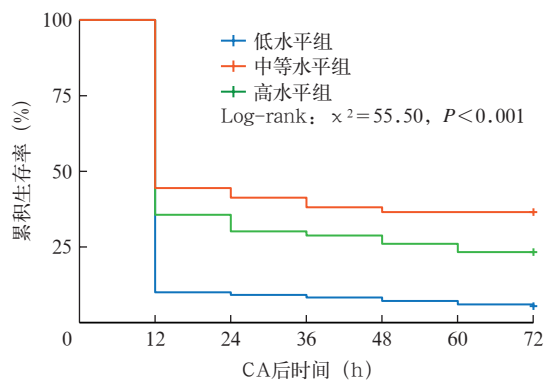
**2.4 各组患者生存状况:** CA 后 12 h, 各组生存

表 2 不同 TWA-MAP 水平组院内心搏骤停患者预后指标比较

指标	低水平组 (350 例)	中等水平组 (63 例)	高水平组 (73 例)	$\chi^2$ 值	P 值
ROSC 成功 [例 (%)]	60 (17.1)	52 (82.5) <sup>a</sup>	55 (75.3) <sup>a</sup>	165.199	<0.001
3 d 生存 [例 (%)]	18 (5.1)	23 (36.5) <sup>a</sup>	17 (23.3) <sup>a</sup>	60.511	<0.001
神经功能恢复良好 [例 (%)]	6 (1.7)	8 (12.7) <sup>a</sup>	9 (12.3) <sup>a</sup>	25.282	<0.001

注: 低水平组为时间加权平均动脉压 (TWA-MAP) < 65 mmHg, 中等水平组为 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg, 高水平组为 TWA-MAP ≥ 85 mmHg; ROSC 为自主循环恢复; 1 mmHg=0.133 kPa; <sup>a</sup> 与低水平组比较,  $P < 0.05$

率均迅速下降, 低水平组生存率下降最为明显, 仅为 10.0%, 低于中等水平组的 44.4% 及高水平组的 35.6%。随后, 各组生存率趋于平稳, CA 后 72 h, 低水平组生存率为 5.1%, 低于中等水平组的 36.5% 和高水平组的 23.3% (图 2)。Cox 单因素回归分析显示 (表 3), 以低水平组为参照, 中等水平组和高水平组的死亡风险均降低 (均  $P < 0.05$ ); 而中等水平组与高水平组死亡风险差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。



注：低水平组为时间加权平均动脉压(TWA-MAP) < 65 mmHg, 中等水平组为 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg, 高水平组为 TWA-MAP ≥ 85 mmHg; CA 为心搏骤停; 1 mmHg = 0.133 kPa

图 2 不同 TWA-MAP 水平组院内心搏骤停患者 CA 后 72 h Kaplan-Meier 生存曲线

参数	HR 值	95%CI	P 值
中等水平组(参照低水平组)	0.390	0.280 ~ 0.543	< 0.001
高水平组(参照低水平组)	0.535	0.402 ~ 0.712	< 0.001
高水平组(参照中等水平组)	1.351	0.900 ~ 2.028	0.147

注：低水平组为时间加权平均动脉压(TWA-MAP) < 65 mmHg, 中等水平组为 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg, 高水平组为 TWA-MAP ≥ 85 mmHg; CA 为心搏骤停, HR 为风险比, 95%CI 为 95% 置信区间

**2.5 患者 3 d 生存率、神经功能预后及 ROSC 的影响因素：**将 CPR 期间的 TWA-MAP 进行分段赋值, 多变量 Logistic 回归分析显示(表 4~6), CPR 复苏期间 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg 是患者 3 d 内生存的保护因素 ( $P < 0.05$ ), TWA-MAP ≥ 85 mmHg、肾上腺素使用量、年龄、APACHE II 评分是患者 3 d 内死亡的危险因素(均  $P < 0.05$ )。65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg 及 TWA-MAP ≥ 85 mmHg 并非患者神经功能恢复良好的独立影响因素(均  $P > 0.05$ ), 而男性是患者神经功能恢复不良的危险因素 ( $P < 0.05$ )。65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg 对 ROSC 具有保护作用 ( $P < 0.05$ )。

**2.6 TWA-MAP 与 ROSC 成功率、3 d 生存率、神经功能恢复良好率的相关性分析及预测价值**

**2.6.1 TWA-MAP 与 ROSC 成功率：**暴露-效应曲线显示(图 3A), 随着 TWA-MAP 的增加, 患者 ROSC 成功率呈增长趋势, TWA-MAP 达到 60 mmHg 时, ROSC 成功率可达 60% 以上; TWA-MAP 在 80 mmHg 时, ROSC 成功率进入平台期, 维持在 80% 左右。ROC 曲线显示(图 3B), TWA-MAP 对 ROSC 成功率有预测价值, 曲线下面积 (area under the curve, AUC)

表 4 院内心搏骤停患者 3 d 生存率影响因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	OR 值	95%CI	P 值
65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg <sup>a</sup>	3.040	1.436 ~ 6.437	0.004
年龄	0.973	0.952 ~ 0.996	0.020
男性	0.646	0.312 ~ 1.335	0.238
APACHE II 评分	0.928	0.880 ~ 0.978	0.005
肾上腺素使用量	0.868	0.778 ~ 0.968	0.011
CPR 至 ROSC 时间	0.971	0.938 ~ 1.005	0.091
TWA-MAP ≥ 85 mmHg <sup>b</sup>	0.390	0.153 ~ 0.994	0.049
年龄	0.961	0.929 ~ 0.994	0.019
男性	0.899	0.352 ~ 2.295	0.823
APACHE II 评分	0.885	0.818 ~ 0.958	0.002
肾上腺素使用量	0.863	0.751 ~ 0.991	0.002
CPR 至 ROSC 时间	0.966	0.922 ~ 1.012	0.148

注：a 为以 65 mmHg ≤ 时间加权平均动脉压(TWA-MAP) < 85 mmHg 定义为 1, TWA-MAP < 65 mmHg 和 TWA-MAP ≥ 85 mmHg 定义为 0; b 为以 TWA-MAP ≥ 85 mmHg 定义为 1, 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg 定义为 0; APACHE II 评分为急性生理学及慢性健康状况评分 II, CPR 为心肺复苏, ROSC 为自主循环恢复, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间; 1 mmHg = 0.133 kPa

表 5 院内心搏骤停患者神经功能预后影响因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	OR 值	95%CI	P 值
65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg <sup>a</sup>	2.162	0.770 ~ 6.068	0.143
年龄	0.989	0.959 ~ 1.020	0.508
男性	0.212	0.074 ~ 0.612	0.004
APACHE II 评分	0.933	0.870 ~ 1.002	0.057
肾上腺素使用量	0.919	0.787 ~ 1.073	0.286
CPR 至 ROSC 时间	0.987	0.943 ~ 1.033	0.572
TWA-MAP ≥ 85 mmHg <sup>b</sup>	1.292	0.416 ~ 4.009	0.657
年龄	0.993	0.957 ~ 1.029	0.691
男性	0.251	0.080 ~ 0.788	0.018
APACHE II 评分	0.928	0.851 ~ 1.012	0.089
肾上腺素使用量	0.923	0.773 ~ 1.102	0.374
CPR 至 ROSC 时间	0.992	0.941 ~ 1.046	0.769

注：a 为以 65 mmHg ≤ 时间加权平均动脉压(TWA-MAP) < 85 mmHg 定义为 1, TWA-MAP < 65 mmHg 和 TWA-MAP ≥ 85 mmHg 定义为 0; b 为以 TWA-MAP ≥ 85 mmHg 定义为 1, 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg 定义为 0; APACHE II 评分为急性生理学及慢性健康状况评分 II, CPR 为心肺复苏, ROSC 为自主循环恢复, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间; 1 mmHg = 0.133 kPa

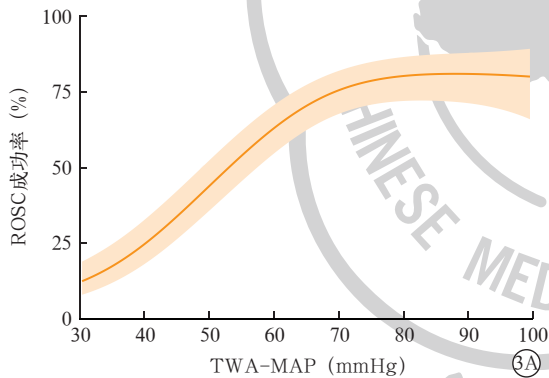
为 0.886, 95% 置信区间 (95% confidence interval, 95%CI) 为 0.852 ~ 0.919,  $P < 0.001$ ; 当 TWA-MAP 为 60 mmHg 时, 敏感度为 90.7%, 特异度为 66.2%, 约登指数为 0.569。

**2.6.2 TWA-MAP 与 3 d 生存率：**暴露-效应曲线显示(图 4A), 随着 TWA-MAP 的增加, 患者 3 d 生存率呈增长趋势, TWA-MAP 达到 60 mmHg 时, 3 d 生存率可达 20.3%; TWA-MAP 在 76 mmHg 时生存率达到峰值, 为 37.2%; 随后 3 d 生存率逐渐下降。ROC 曲线显示(图 4B), TWA-MAP 对 3 d 生存率具

表 6 院内心搏骤停患者 ROSC 影响因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	OR 值	95%CI	P 值
65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg <sup>a</sup>	4.421	1.013 ~ 19.280	0.048
年龄	0.998	0.973 ~ 1.026	0.996
男性	0.706	0.279 ~ 1.787	0.462
APACHE II 评分	0.975	0.917 ~ 1.036	0.409
肾上腺素使用量	0.992	0.898 ~ 1.097	0.969
CPR 至 ROSC 时间	0.971	0.938 ~ 1.005	0.091
TWA-MAP ≥ 85 mmHg <sup>b</sup>	1.578	0.247 ~ 10.094	0.630
年龄	0.974	0.910 ~ 1.042	0.445
男性	0.719	0.109 ~ 4.761	0.733
APACHE II 评分	0.895	0.788 ~ 1.017	0.088
肾上腺素使用量	1.054	0.880 ~ 1.262	0.570
CPR 至 ROSC 时间	0.992	0.941 ~ 1.046	0.769

注：a 为以 65 mmHg ≤ 时间加权平均动脉压 (TWA-MAP) < 85 mmHg 定义为 1, TWA-MAP < 65 mmHg 和 TWA-MAP ≥ 85 mmHg 定义为 0; b 为以 TWA-MAP ≥ 85 mmHg 定义为 1, 65 mmHg ≤ TWA-MAP < 85 mmHg 定义为 0; ROSC 为自主循环恢复, APACHE II 评分为急性生理学及慢性健康状况评分 II, CPR 为心肺复苏, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间; 1 mmHg = 0.133 kPa



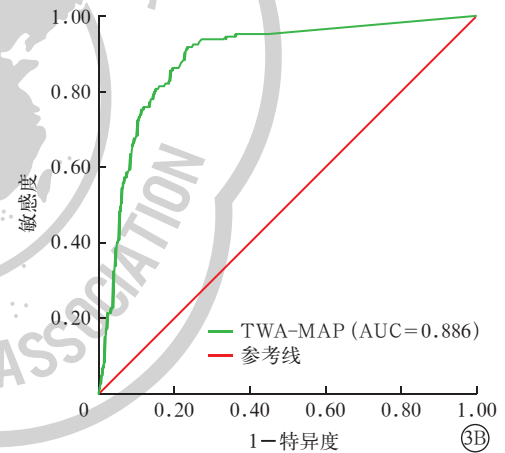
有预测价值, AUC 为 0.843, 95%CI 为 0.777 ~ 0.909,  $P < 0.001$ ; 当 TWA-MAP 为 60 mmHg 时, 敏感度为 73.5%, 特异度为 79.8%, 约登指数为 0.533。

**2.6.3 TWA-MAP 与神经功能恢复良好率:** 虽然神经功能恢复良好率随 TWA-MAP 增加而升高, 但关系不显著 ( $P = 0.086$ ; 图 5)。

### 3 讨论

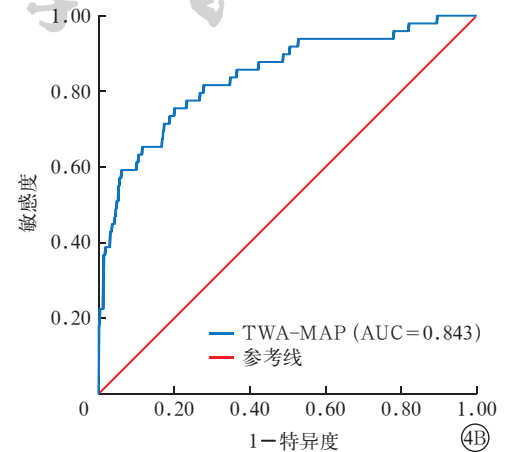
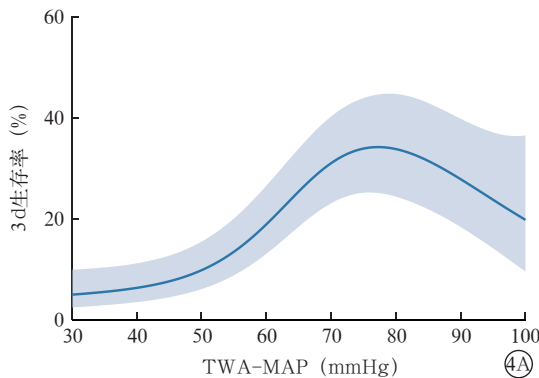
CA 是一种致死率、致残率极高的急危重症, 尽管近年来 CPR 技术和复苏后管理取得了显著进展, 但患者的预后总体不佳。高质量的胸外按压是改善 CA 患者预后的重要环节, 稳定的血流动力学有助于改善患者预后, 其中 MAP 可以反映器官灌注情况, 然而目前 CPR 指南推荐的按压深度和频率所产生的 MAP 与患者预后的关系尚缺乏相关研究。

本研究中, IHCA 患者总体复苏成功率为 34.4% (167/486), 出院时神经功能恢复良好率为 4.7%



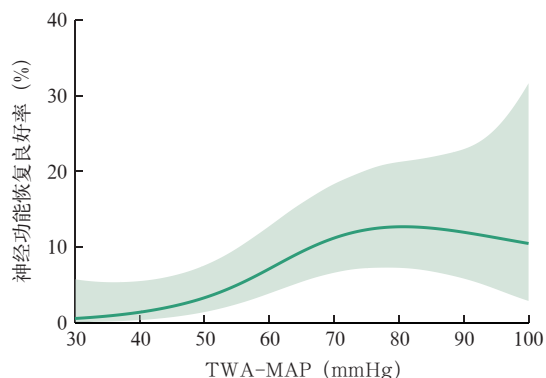
注: TWA-MAP 为时间加权平均动脉压, ROSC 为自主循环恢复, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, AUC 为曲线下面积; 1 mmHg = 0.133 kPa

图 3 TWA-MAP 与院内心搏骤停患者 ROSC 成功率的暴露-效应曲线 (A) 及 ROC 曲线 (B)



注: TWA-MAP 为时间加权平均动脉压, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, AUC 为曲线下面积; 1 mmHg = 0.133 kPa

图 4 TWA-MAP 与院内心搏骤停患者 3 d 生存率的暴露-效应曲线 (A) 及 ROC 曲线 (B)



注: TWA-MAP 为时间加权平均动脉压; 1 mmHg=0.133 kPa

图 5 TWA-MAP 与院内心搏骤停患者神经功能恢复良好率的暴露-效应曲线

(23/486), 与国内既往研究结果基本一致<sup>[9-10]</sup>。我国大样本多中心研究显示, IHCA 患者 ROSC 成功率普遍介于 25.0%~45.5%, 而出院神经功能良好率约为 6.4%<sup>[10]</sup>。本研究显示, TWA-MAP 中等水平组和高水平组 ROSC 成功率、3 d 生存率、神经功能恢复良好率均高于低水平组, 说明 CPR 期间 TWA-MAP $\geq$ 65 mmHg 患者的预后优于 TWA-MAP $<$ 65 mmHg 患者, 提示 CPR 期间的 MAP 能够直接反映 CPR 的质量。较高的 MAP 水平意味着胸外按压的机械效率更佳, 通过胸泵机制与心泵机制的协同作用能够改善心室舒张期的冠状动脉和脑灌注<sup>[11]</sup>, 从而提高 ROSC 率及器官功能恢复的可能性。较高的 MAP 还可通过自主神经调节作用, 改善血管过度收缩导致的微循环障碍, 同时稳定血流动力学, 降低患者发生心律失常、再发 CA 的风险<sup>[12]</sup>, 从而改善患者总体预后。在本研究中, TWA-MAP 中等水平组和高水平组患者 3 d 生存率分别为 36.5% 和 23.3%, 两组间差异无统计学意义; 进一步分析发现, 当 TWA-MAP 在 76 mmHg 时, 患者的 3 d 生存率达高峰 (37.2%); 多因素 Logistic 回归分析显示, 65 mmHg $\leq$ TWA-MAP $<$ 85 mmHg 对于患者 3 d 内生存具有保护作用, 而当 TWA-MAP $\geq$ 85 mmHg 时, 患者 3 d 生存率并未显著增加, 甚至是 3 d 内死亡的危险因素。同样, TWA-MAP 中等水平组和高水平组神经功能恢复良好率分别为 12.7% 和 12.3%, 两者间差异无统计学意义, 也未表现出 MAP 越高神经功能恢复越好的趋势。总之, CPR 期间过高的 MAP 并未进一步改善患者短期生存情况, 也并未在神经功能恢复方面带来额外获益, 这可能是过高的 MAP 引起血流动力学负荷加重、心肌再灌注损伤及脑血管过度灌注, 进而导致预后不佳<sup>[13-15]</sup>。同时, CPR

期间 MAP 的差异并非单纯反映按压质量不同, 而可能与多因素共同参与的作用有关, 其中患者个体差异是关键因素, 如心功能、血管反应性、胸腔压力变化、微循环灌注障碍以及患者的体型、体位等, 均可能造成 MAP 的变化<sup>[16-18]</sup>, 这可能是本研究中部分高水平组患者并未对应更好的生存率和神经功能恢复的主要原因。本研究中, 3 组患者 CPR 期间肾上腺素使用量差异无统计学意义, 多元 Logistic 回归分析显示肾上腺素的使用并未改善患者预后, 甚至对患者短期生存有负面影响, 这与既往研究结果一致<sup>[19]</sup>。

此外, CPR 期间准确监测生命体征非常重要。受场地的限制, 在抢救急危重症患者时, 难以及时实施有创血压监测来观察 MAP 的变化, 故目前在急诊实施 CPR 期间仍多采用无创血压监测。研究表明, 无创血压监测设备虽然较有创血压监测可能低估收缩压, 但对于 MAP 的测量未显示出异质性<sup>[20-21]</sup>, 因而, 无创血压测量技术在临床实践中仍是普遍使用且较为准确的<sup>[22]</sup>。研究者指出, 应用 MAP 极值会忽略患者血压的变异性, 无法反映某一时间段内 MAP 整体水平; 而 TWA-MAP 可以更准确、全面地反映患者在 CPR 期间的灌注状态, 从而减少单次测量或极值测量带来的评估误差。故本研究中采用 TWA-MAP 综合考量血压和持续时间的因素, 以减少系统误差对研究的干扰, 从而全面地评估血压状态对预后的影响。

有研究表明, CA 患者的预后与 CPR 质量密切相关<sup>[23]</sup>, CPR 时的胸外按压可产生 60~80 mmHg 的峰值脉压<sup>[24]</sup>。目前, 高质量 CPR 要求胸部按压时按压深度为 5~6 cm, 按压频率为 100~120 次/min, 而对于 CPR 期间的最低 MAP 值并未提出明确要求<sup>[5-6]</sup>; 并且在实际操作中人工按压的深度难以保障每次都达到推荐的 5~6 cm, 指南推荐的按压深度也主要基于欧美人群的流行病学数据<sup>[25-26]</sup>, 这一标准是否适合我国人群也尚缺乏相关数据的支持; 同时, 对于特殊体型患者, 单纯追求固定按压深度可能导致灌注不足或医源性损伤, 如老年骨质疏松患者或慢性阻塞性肺疾病患者, 即使 5 cm 的按压深度也可能导致肋骨骨折或气胸等并发症<sup>[26-27]</sup>。此外, 对于 IHCA 患者, 目前的复苏指南推荐, 如果 60 min 内实施体外心肺复苏 (extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, ECPR), 对生存率及神经功能恢复可能存在潜在获益<sup>[28]</sup>。结合本研究中

的发现, CPR 期间 TWA-MAP < 65 mmHg 的患者复苏成功率及预后均较差, 故以 MAP ≥ 65 mmHg 为目标导向进行个体化复苏, 或许将在实现器官灌注的基础上减少按压损伤, 从而对改善 CA 患者的预后有帮助; 同时, 对于 CPR 期间 MAP 持续低于 65 mmHg 的患者, 应尽早开展 ECPR, 或许可以提高 CA 患者的 ROSC 成功率, 进而改善预后。

综上所述, CPR 期间 TWA-MAP 水平较低的 IHCA 患者短期生存率不佳, 维持高水平的 MAP (≥ 85 mmHg) 相比中等水平 MAP (65 ~ < 85 mmHg) 未显示出额外益处, 故复苏期间维持中等水平 MAP 对于改善患者复苏成功率及生存率具有重要意义。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 丁清或: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章、统计分析; 王金龙: 采集数据、分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析; 苏成磊: 酝酿和设计实验、分析/解释数据、对文章的知识性内容作批评性审阅、指导、支持性贡献; 花嵘: 酝酿和设计实验、实施研究、分析/解释数据; 燕宪亮: 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, 行政、技术或材料支持, 指导, 支持性贡献

参考文献

[ 1 ] Zhou G, Wang Y, Sun ZH, et al. Survival outcome among patients with out-of-hospital cardiac arrest who received cardiopulmonary resuscitation in China: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Med Res*, 2023, 28(1): 8. DOI: 10.1186/s40001-022-00955-x.

[ 2 ] BASIC-OHCA Coordinators and Investigators. Incidence, process of care, and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest in China: a prospective study of the BASIC-OHCA registry[J]. *Lancet Public Health*, 2023, 8(12): e923-e932. DOI: 10.1016/S2468-2667(23)00173-1.

[ 3 ] Allen CP, Bird JD, Sekhon MS. The dynamic pathophysiology of post cardiac arrest brain injury: "time is brain"[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2025, 31(2): 123-130. DOI: 10.1097/MCC.0000000000001246.

[ 4 ] International Liaison Committee on Resuscitation. Improving outcomes after post-cardiac arrest brain injury: a scientific statement from the International Liaison Committee on Resuscitation[J/OL]. *Circulation*, 2024 (2024-06-27) [2025-03-15]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38934122/>. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001219. [published online ahead of print].

[ 5 ] Kleinman ME, Buick JE, Huber N, et al. Part 7: adult basic life support: 2025 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care[J]. *Circulation*, 2025, 152(16\_suppl\_2): S448-S478. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001369.

[ 6 ] ERC Adult Basic Life Support Collaborators. European Resuscitation Council guidelines 2025 adult basic life support[J]. *Resuscitation*, 2025, 215 Suppl 1: 110771. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2025.110771.

[ 7 ] 马旭, 王云, 潘彤洁, 等. 心肺复苏后脑功能临床评价指标研究进展[J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36(12): 1329-1333. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240318-00245.

[ 8 ] 陈其然, 潘畅, 常泽龙, 等. 复苏成功后平均动脉压水平与神经功能预后[J]. *中华急诊医学杂志*, 2023, 32(7): 853-858. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.07.001.

[ 9 ] 任艳, 叶利, 黄霞, 等. 验证复苏后良好结局评分预测中国人群中院内心肺骤停预后的临床价值研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2022, 34(12): 1238-1242. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220317-00256.

[ 10 ] 中国心脏骤停与心肺复苏报告编写组. 中国心脏骤停与心肺复苏报告(2022年版)概要[J]. *中国循环杂志*, 2023, 38(10): 1005-1017. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2023.10.002.

[ 11 ] Lee DY, Kang SM, Choi SW. Utility of CPR machine power and change in right atrial pressure for estimating CPR quality[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 9250. DOI: 10.1038/s41598-019-45749-0.

[ 12 ] Merdji H, Levy B, Jung C, et al. Microcirculatory dysfunction in cardiogenic shock[J]. *Ann Intensive Care*, 2023, 13(1): 38. DOI: 10.1186/s13613-023-01130-z.

[ 13 ] Kilgannon JH, Roberts BW, Jones AE, et al. Arterial blood pressure and neurologic outcome after resuscitation from cardiac arrest[J]. *Crit Care Med*, 2014, 42(9): 2083-2091. DOI: 10.1097/CCM.0000000000000406.

[ 14 ] Levy Y, Hutin A, Lidouren F, et al. Targeted high mean arterial pressure aggravates cerebral hemodynamics after extracorporeal resuscitation in swine[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1): 369. DOI: 10.1186/s13054-021-03783-3.

[ 15 ] Kjaergaard J, Møller JE, Schmidt H, et al. Blood-pressure targets in comatose survivors of cardiac arrest[J]. *N Engl J Med*, 2022, 387(16): 1456-1466. DOI: 10.1056/NEJMoa2208687.

[ 16 ] CPR Quality Summit Investigators, American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee, Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. Cardiopulmonary resuscitation quality: [corrected] improving cardiac resuscitation outcomes both inside and outside the hospital: a consensus statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2013, 128(4): 417-435. DOI: 10.1161/CIR.0b013e31829d8654. Erratum in: *Circulation*, 2013, 128(8): e120. Erratum in: *Circulation*, 2013, 128(20): e408.

[ 17 ] Niles DE, Sutton RM, Nadkarni VM, et al. Prevalence and hemodynamic effects of leaning during CPR[J]. *Resuscitation*, 2011, 82 Suppl 2 (2): S23-S26. DOI: 10.1016/S0300-9572(11)70147-2.

[ 18 ] Krupíková P, Mlček M, Hupčych M, et al. Microcirculatory blood flow during cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation does not correlate with global hemodynamics: an experimental study[J]. *J Transl Med*, 2016, 14(1): 163. DOI: 10.1186/s12967-016-0934-5.

[ 19 ] Williams CA, Fairley HE, Tran QK, et al. Use of epinephrine in cardiac arrest: advances and future challenges[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2024, 60(14): 1904. DOI: 10.3390/medicina60111904.

[ 20 ] Lakhil K, Ehrmann S, Boulain T. Noninvasive BP monitoring in the critically ill: time to abandon the arterial catheter?[J]. *Chest*, 2018, 153(4): 1023-1039. DOI: 10.1016/j.chest.2017.10.030.

[ 21 ] Becker L, Bzhilyanskaya V, Sharman A, et al. Intra-arterial versus noninvasive blood pressure monitoring: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Am J Crit Care*, 2025, 34(4): e6-e23. DOI: 10.4037/ajcc2025348.

[ 22 ] Roberts BW, Kilgannon JH, Hunter BR, et al. Association between elevated mean arterial blood pressure and neurologic outcome after resuscitation from cardiac arrest: results from a multicenter prospective cohort study[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(1): 93-100. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003474.

[ 23 ] Ng QX, Han MX, Lim YL, et al. A systematic review and meta-analysis of the implementation of high-performance cardiopulmonary resuscitation on out-of-hospital cardiac arrest outcomes[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(10): 2098. DOI: 10.3390/jcm10102098.

[ 24 ] Han J, Ahn KJ, Cha KC, et al. Prediction of blood pressure using chest compression waveform during cardiopulmonary resuscitation[J]. *Resuscitation*, 2024, 202: 110331. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2024.110331.

[ 25 ] Sainio M, Hoppu S, Huhtala H, et al. Simultaneous beat-to-beat assessment of arterial blood pressure and quality of cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital and in-hospital settings[J]. *Resuscitation*, 2015, 96: 163-169. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.08.004.

[ 26 ] Resuscitation Outcomes Consortium Investigators. What is the optimal chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation of adult patients?[J]. *Circulation*, 2014, 130(22): 1962-1970. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.008671.

[ 27 ] Van Wijck SFM, Prins JTH, Verhofstad MHJ, et al. Rib fractures and other injuries after cardiopulmonary resuscitation for non-traumatic cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2024, 50(4): 1331-1346. DOI: 10.1007/s00068-023-02421-7.

[ 28 ] 中华医学会急诊医学分会复苏学组, 中国医药教育协会急诊专业委员会. 成人体外心肺复苏专家共识更新(2023版)[J]. *中华急诊医学杂志*, 2023, 32(3): 298-304. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.03.005.

(收稿日期: 2025-11-06)  
(本文编辑: 保健媛 张耘菲)