

• 论著 •

重症预警平台对内科病房转入重症监护病房患者临床结局的影响：一项真实世界研究

吴昌德^{1,2} 陈珊珊² 黄力维² 刘松桥² 张语嫣³ 杨毅^{1,2}¹南京医科大学, 江苏南京 211166; ²江苏省重症医学重点实验室, 东南大学附属中大医院重症医学科, 南京 210009; ³东南大学生物科学与医学工程学院, 江苏南京 211166

通信作者: 杨毅, Email: yiyiyang2004@163.com

【摘要】 目的 基于真实世界数据, 评估重症预警平台(CWP)对内科病房转入重症监护病房(ICU)患者临床结局的影响。**方法** 采用回顾性队列研究方法, 选择2022年1月至2024年10月从东南大学附属中大医院内科病房转入ICU的患者, 根据是否接入CWP分为重症预警组和常规治疗组。重症预警组患者接入CWP, 实时采集生命体征和治疗数据, 平台自动计算重症评分, 生成个体化风险评估并触发预警信号, 临床医生据此调整治疗方案; 常规治疗组患者未接入CWP, 依赖常规临床判断和护理措施进行治疗管理。收集患者的基线特征〔性别、年龄、体质量指数(BMI)、入院类型、病情严重程度评分、基础疾病、入ICU时疾病类型〕、主要临床结局〔住院病死率〕及次要临床结局〔ICU病死率、ICU住院时间、总住院时间及机械通气、连续性肾脏替代治疗(CRRT)情况〕。采用多因素 Logistic 回归法分析 CWP 对住院期间死亡的影响, 并针对不同患者特征进行亚组分析。**结果** 共纳入 1 281 例从内科病房转入 ICU 的患者, 其中重症预警组 768 例, 常规治疗组 513 例。与常规治疗组比较, 重症预警组患者存在糖尿病、恶性肿瘤基础疾病及因脓毒症转入 ICU 的比例更低; 但两组其他基线特征差异无统计学意义。在主要临床结局方面, 重症预警组患者住院病死率显著低于常规治疗组〔17.6% (135/768) 比 25.7% (132/513), $P<0.01$ 〕; 在次要临床结局方面, 与常规治疗组相比, 重症预警组患者 28 d 内机械通气日显著减少〔d: 2 (1, 6) 比 2 (1, 8), $P<0.05$ 〕, ICU 住院时间显著缩短〔d: 3 (2, 8) 比 4 (2, 10), $P<0.01$ 〕, ICU 病死率显著降低〔15.1% (116/768) 比 21.4% (110/513), $P<0.01$ 〕。多因素 Logistic 回归分析显示, 在校正年龄、基础疾病后, CWP 的应用与内科病房转入 ICU 患者住院病死率降低显著相关〔优势比(OR)=0.670, 95% 可信区间(95%CI)为 0.502~0.894, $P=0.006$ 〕。进一步亚组分析显示, 在因脓毒症转入 ICU 患者中, CWP 的应用可显著降低住院病死率(OR=0.514, 95%CI 为 0.367~0.722, $P<0.001$); 在年龄 ≥ 70 岁(OR=0.587, 95%CI 为 0.415~0.831, $P=0.003$)及存在恶性肿瘤基础疾病(OR=0.124, 95%CI 为 0.046~0.330, $P<0.001$)的患者中, CWP 对住院期间预后也显示出显著的保护作用。**结论** CWP 与内科转入 ICU 患者住院病死率下降显著相关, 有助于评估住院患者病情恶化。

【关键词】 重症预警平台; 内科病房; 重症医学科; 临床结局**基金项目:** 江苏省重点研发计划项目(BE2022854)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20241212-00591

Impact of critical care warning platform on the clinical prognosis of patients transferred from internal medical ward to intensive care unit: a real-world cohort studyWu Changde^{1,2}, Chen Shanshan², Huang Livi², Liu Songqiao², Zhang Yuyan³, Yang Yi^{1,2}¹Nanjing Medical University, Nanjing 211166, Jiangsu, China; ²Jiangsu Key Laboratory of Critical Care Medicine, Department of Critical Care Medicine, Zhongda Hospital, Southeast University, Nanjing 210009, Jiangsu, China; ³School of Biological Science and Medical Engineering, Southeast University, Nanjing 211166, Jiangsu, China

Corresponding author: Yang Yi, Email: yiyiyang2004@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the impact of critical care warning platform (CWP) on clinical outcomes of patients transferred from internal medical ward to intensive care unit (ICU) based on real-world data. **Methods** A retrospective cohort study was conducted. The patients transferred from internal medical ward to ICU of Zhongda Hospital, Southeast University, between January 2022 and October 2024, were enrolled. They were divided into critical care warning group and conventional treatment group based on whether they were connected to the CWP. The patients in the critical care warning group were connected to the CWP, which collected real-time vital signs and treatment data. The platform automatically calculated severity scores, generated individualized risk assessments, and triggered warning alerts, allowing clinicians to adjust treatment plans accordingly. The patients in the conventional treatment group were not connected to the CWP and relied on conventional clinical judgment and nursing measures for treatment management. Baseline characteristics [gender, age, body mass index (BMI), admission type, severity score of illness, underlying diseases, and disease type at ICU admission], primary clinical outcome (in-hospital mortality), and secondary clinical outcomes [ICU mortality, length of ICU stay, total length of hospital stay, and mechanical ventilation and continuous renal replacement therapy (CRRT) status] were collected. Multivariate Logistic regression was used to analyze the impact of CWP on

in-hospital death, and subgroup analyses were performed based on different patient characteristics. **Results** A total of 1 281 patients were enrolled, with 768 in the critical care warning group and 513 in the conventional treatment group. Compared with the conventional treatment group, the proportion of patients in the critical care warning group with underlying diseases of diabetes and malignancy and transferred to ICU due to sepsis was lowered, however, there were no statistically significant differences in other baseline characteristics between the two groups. Regarding the primary clinical outcome, the in-hospital mortality in the critical care warning group was significantly lower than that in the conventional treatment group [17.6% (135/768) vs. 25.7% (132/513), $P < 0.01$]. For secondary clinical outcomes, compared with the conventional treatment group, the patients in the critical care warning group had significantly fewer days of mechanical ventilation within 28 days [days: 2 (1, 6) vs. 2 (1, 8), $P < 0.05$], significantly shorter length of ICU stay [days: 3 (2, 8) vs. 4 (2, 10), $P < 0.01$], and significantly lower ICU mortality [15.1% (116/768) vs. 21.4% (110/513), $P < 0.01$]. Multivariate Logistic regression analysis showed that, after adjusting for age and underlying diseases, the use of CWP was significantly associated with a reduction of in-hospital mortality among patients transferred from internal medical ward to ICU [odds ratio (OR) = 0.670, 95% confidence interval (95%CI) was 0.502–0.894, $P = 0.006$]. Further subgroup analysis revealed that, among patients transferred to ICU due to sepsis, the use of CWP significantly reduced in-hospital mortality (OR = 0.514, 95%CI was 0.367–0.722, $P < 0.001$). In patients aged ≥ 70 years old (OR = 0.587, 95%CI was 0.415–0.831, $P = 0.003$) and those with underlying diseases of malignancy (OR = 0.124, 95%CI was 0.046–0.330, $P < 0.001$), CWP also showed significant protective effects on in-hospital prognosis. **Conclusion** The use of CWP is significantly associated with a reduction in in-hospital mortality among patients transferred from internal medical ward to ICU, demonstrating its potential in assessing the deterioration of hospitalized patients.

【Key words】 Critical care warning platform; Internal medical ward; Intensive care unit; Clinical outcome

Fund program: Jiangsu Provincial Key Research and Development Planning Program (BE2022854)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20241212-00591

重症患者的早期识别和干预是改善预后的关键。内科病房转入重症监护病房(intensive care unit, ICU)的患者通常病情复杂且进展迅速,延误治疗可能导致病死率显著增加^[1]。及时识别潜在的重症患者并采取适当的干预措施,对于降低病死率和改善结局至关重要。随着医疗大数据和人工智能技术的快速发展,基于实时生理指标的临床预警系统逐渐应用于临床实践^[2-3]。这些系统可通过持续监测患者的生命体征和实验室数据,在病情恶化前发出预警^[4],为医务人员提供早期干预的决策支持^[5]。

重症预警系统在降低院内病死率、缩短住院时间和优化医疗资源分配方面具有潜在优势^[6-7],但在不同患者群体中的实际临床效果尚存争议。研究表明,重症预警系统可显著改善患者预后,尤其在急诊和普通病房的早期干预中显示出积极效果^[8-9];但也有研究者指出,预警系统的临床效果可能受到医务人员依从性、系统的敏感度和特异度等因素的限制,在实际应用中效果可能低于预期^[10-11]。此外,目前针对特定患者群体的研究相对较少,特别是在真实世界环境中内科病房转入 ICU 患者,关于重症预警系统长期临床效果的高质量数据仍不足,为进一步评估其广泛应用价值带来挑战。因此,东南大学附属中大医院于 2020 年在国内自主开发并应用了一套基于床旁监护的全院重症预警平台(critical care warning platform, CWP),为临床风险管理提供了新工具。本研究基于真实世界数据,旨在评估该

CWP 在内科病房患者中的临床应用效果,并比较接入 CWP 与未接入 CWP 对患者预后的影响。

1 资料与方法

1.1 研究设计: 本研究为回顾性队列研究,基于本团队前期开发的 CWP,选择 2020 年 1 月至 2024 年 10 月内科病房转入 ICU 的住院患者。根据是否接入 CWP,将患者分为重症预警组和常规治疗组。

1.2 研究对象的选择: 纳入年龄 ≥ 18 岁且由内科病房转入 ICU 治疗的患者;排除关键数据缺失的患者,如生命体征、实验室检查或主要治疗信息不完整。

1.3 CWP 的应用及干预措施: 使用 CWP 实时采集患者的心率、血压、脉搏血氧饱和度、呼吸频率、心电波形等生理指标,这些参数从患者监护仪中实时连续提取并整合到 CWP。基于这些生理参数,根据改良早期预警评分和心电波形报警对患者危险程度进行分层。将高风险患者按照不同风险类别分层:危急(红色)、危重(橙色)、高危(黄色)、低危(绿色)。根据危险程度,红色立即预警并启动快速反应小组;橙色从预警平台发出预警;黄色仅在预警平台高亮;绿色继续观察。这种实时分层的风险管理方法确保了根据患者状况最优化地分配医疗资源。

为确保项目的有效性,专职人员负责监控中央预警平台的数据,并为临床各病区的医护人员提供全方位的项目培训。在干预措施方面,重症预警组患者接入 CWP,实时采集生命体征和治疗数据,平台自动计算重症评分,生成个体化风险评估并触发

预警信号,临床医生据此调整治疗方案;常规治疗组患者未接入 CWP,依赖常规临床判断和护理措施进行治疗管理。

1.4 数据来源及伦理:本研究数据来源于东南大学附属中大医院的医院信息系统(hospital information system, HIS)、ICU 临床信息数据库(clinical information system, CIS)及临床预警数据库。所有患者数据均经过严格的匿名化处理,以保护个人隐私。本研究已获得东南大学附属中大医院临床研究伦理委员会的批准(审批号:2024ZDSYLL288-P01),研究过程严格遵循《赫尔辛基宣言》及相关法律法规的要求。

1.5 临床指标的收集:① 基线特征:性别、年龄、体质质量指数(body mass index, BMI)、入院类型(急诊入院、非急诊入院)、病情严重程度评分〔急性生理学及慢性健康状况评分Ⅱ(acute physiology and chronic health evaluation Ⅱ, APACHE Ⅱ)、序贯器官衰竭评分(sequential organ failure assessment, SOFA)〕、基础疾病〔高血压、糖尿病、冠心病、心房颤动、慢性肾功能不全、慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)、脑梗死、恶性肿瘤、免疫抑制状态〕、入 ICU 时疾病类型〔脓毒症、急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)〕。② 临床结局:主要临床结局为住院病死率;次要临床结局包括 ICU 病死率、ICU 住院时间、总住院时间及机械通气、连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)情况。

1.6 统计学分析:数值型变量以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)或中位数(四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示,组间比较采用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验;分类变量以频数和百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。为评估 CWP 对主要临床结局的独立影响,使用 Logistic 回归模型对住院病死率进行分析,调整可能的混杂因素(如性别、年龄、基础疾病等)。针对不同患者特征(如性别、年龄是否 ≥ 70 岁、是否因脓毒症转入 ICU、是否合并基础疾病)进行分层分析,探讨 CWP 在不同亚组人群中的效果差异。所有统计测试均为双侧, $P < 0.05$ 被认为差异具有统计学意义。所有统计分析均采用 R 软件(版本 4.2)完成。

2 结果

2.1 基线特征(表 1):最终共 1 281 例患者纳入分析,其中重症预警组 768 例,常规治疗组 513 例。与常规治疗组相比,重症预警组患者存在糖尿病、恶性肿瘤基础疾病及因脓毒症转入 ICU 的比例更低(均 $P < 0.05$);两组患者性别、年龄、BMI、入院类型、

病情严重程度评分、其他基础疾病及因 AKI 转入 ICU 的比例差异均无统计学意义。

表 1 是否接入 CWP 两组内科病房转入 ICU 患者基线特征比较					
指标	全体 (<i>n</i> =1 281)	常规治疗组 (<i>n</i> =513)	重症预警组 (<i>n</i> =768)	$\chi^2/Z/t$ 值	<i>P</i> 值
女性〔例(%)〕	426(33.3)	162(31.6)	264(34.4)	0.961	0.327
年龄〔岁, <i>M</i> (<i>Q_L</i> , <i>Q_U</i>)〕	71(61, 79)	72(62, 79)	71(60, 79)	-1.657	0.097
BMI〔kg/m ² , <i>M</i> (<i>Q_L</i> , <i>Q_U</i>)〕	23.4 (20.8, 25.4)	23.4 (20.8, 25.4)	23.3 (20.8, 25.5)	-0.347	0.729
入院类型〔例(%)〕				3.062	0.080
急诊入院	493(38.5)	182(35.5)	311(40.5)		
非急诊入院	788(61.5)	331(64.5)	457(59.5)		
病情严重程度评分 (分, $\bar{x} \pm s$)					
APACHE Ⅱ 评分	18 ± 7	19 ± 8	17 ± 7	1.308	0.194
SOFA 评分	7 ± 4	7 ± 4	7 ± 4	1.029	0.306
基础疾病〔例(%)〕					
高血压	817(63.8)	324(63.2)	493(64.2)	0.101	0.750
糖尿病	479(37.4)	229(44.6)	250(32.6)	18.682	<0.001
冠心病	467(36.5)	173(33.7)	294(38.3)	2.565	0.109
心房颤动	199(15.5)	67(13.1)	132(17.2)	3.684	0.055
慢性肾功能不全	328(25.6)	144(28.1)	184(24.0)	2.518	0.113
COPD	102(8.0)	43(8.4)	59(7.7)	0.121	0.728
脑梗死	457(35.7)	190(37.0)	267(34.8)	0.596	0.440
恶性肿瘤	116(9.1)	63(12.3)	53(6.9)	10.165	0.001
免疫抑制状态	96(7.5)	44(8.6)	52(6.8)	1.198	0.274
入 ICU 时疾病类型 〔例(%)〕					
脓毒症	679(53.0)	295(57.5)	384(50.0)	6.656	0.010
AKI	151(11.8)	65(12.7)	86(11.2)	0.508	0.476

注:CWP 为重症预警平台,ICU 为重症监护病房,BMI 为体质质量指数,APACHE Ⅱ 为急性生理学及慢性健康状况评分Ⅱ,SOFA 为序贯器官衰竭评分,COPD 为慢性阻塞性肺疾病,AKI 为急性肾损伤

2.2 临床结局:重症预警组患者主要临床结局住院病死率较常规治疗组显著降低($P < 0.01$;表 2)。Kaplan-Meier 生存曲线显示,重症预警组患者 60 d 累积生存率显著高于常规治疗组(Log-Rank 检验: $\chi^2 = 11.534, P < 0.001$;图 1)。在次要临床结局方面,与常规治疗组比较,重症预警组患者 28 d 内机械通气日显著减少,ICU 住院时间显著缩短,ICU 病死率显著降低(均 $P < 0.05$;表 2)。

2.3 多因素 Logistic 回归分析(表 3):校正年龄、基础疾病后,接入 CWP 仍与内科病房转入 ICU 患者住院病死率降低相关〔优势比(odds ratio, OR)=0.670, 95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI)为 0.502 ~ 0.894, $P = 0.006$ 〕;年龄、基础疾病(冠心病、心房颤动、慢性肾功能不全、恶性肿瘤、免疫抑制状态)和因脓毒症转入 ICU 是内科病房转入 ICU 患者住院期间死亡的独立危险因素(均 $P < 0.05$)。

表 2 是否接入 CWP 两组内科病房转入 ICU 患者临床结局比较

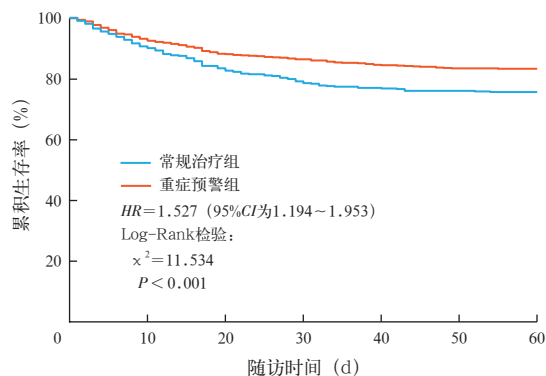
指标	全体 (n=1 281)	常规治疗组 (n=513)	重症预警组 (n=768)	χ^2/Z 值	P 值
主要临床结局					
住院病死率 [% (例)]	20.8 (267)	25.7 (132)	17.6 (135)	11.902	<0.001
次要临床结局					
CRRT 使用率 [% (例)]	17.5 (224)	16.4 (84)	18.2 (140)	0.610	0.435
28 d 内 CRRT 日 [d, M(Q _L , Q _U)]	4 (2, 10)	4 (2, 10)	5 (3, 10)	0.868	0.383
28 d 内机械通气日 [d, M(Q _L , Q _U)]	2 (1, 7)	2 (1, 8)	2 (1, 6)	-2.076	0.032
总住院时间 [d, M(Q _L , Q _U)]	18 (11, 28)	18 (11, 28)	18 (11, 28)	0.050	0.960
ICU 住院时间 [d, M(Q _L , Q _U)]	4 (2, 8)	4 (2, 10)	3 (2, 8)	-3.067	0.002
ICU 病死率 [% (例)]	17.6 (226)	21.4 (110)	15.1 (116)	8.073	0.004

注: CWP 为重症预警平台, ICU 为重症监护病房, CRRT 为连续性肾脏替代治疗

2.4 CWP 对结局影响的亚组分析(图 2): 在不同性别、年龄 ≥ 70 岁、因脓毒症转入 ICU、有无心房颤动、是否处于免疫抑制状态、无冠心病或慢性肾功能不全基础疾病及存在恶性肿瘤基础疾病的亚群人群中, CWP 均可显著降低内科病房转入 ICU 患者住院期间死亡风险(均 $P < 0.05$)。

3 讨论

本研究显示,与常规治疗相比,接入 CWP 能够降低患者住院病死率和 ICU 病死率,与国外相关研究结果基本一致^[7,12]。然而, Bassin 等^[6]实施了基于 Logistic 回归的恶化指数预警,与常规治疗进行前后对照研究发现并未降低病死率,但降低了非预期转入 ICU 及主要不良事件发生率。Bedoya 等^[13]使用国家早期预警评分预警后,患者 ICU 转入率及病死率并无显著变化。本研究与国外部分研究结果不同,可能与我国 ICU 患者基线疾病谱有差异相关。此外,本研究显示 CWP 能够显著降低内科病房转入 ICU 患者 ICU 病死率和住院病死率,可能与 CWP 实现的早期识别和及时干预有关。CWP 通过整合实时临床数据,对住院患者进行风险分



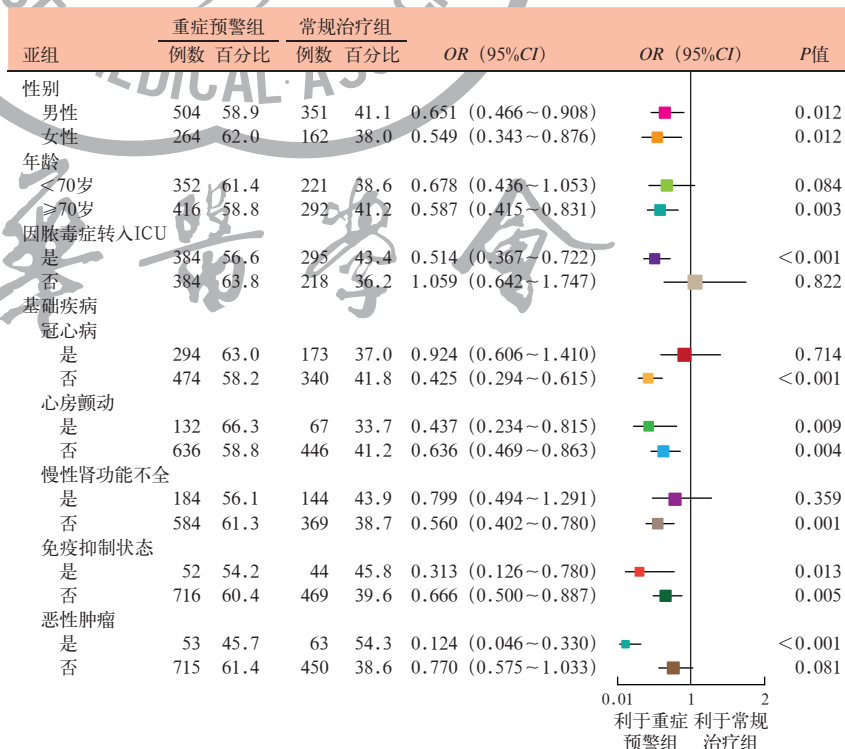
注: CWP 为重症预警平台, ICU 为重症监护病房, HR 为风险比, 95%CI 为 95% 可信区间

图 1 是否接入 CWP 两组内科病房转入 ICU 患者 60 d Kaplan-Meier 生存曲线

表 3 内科病房转入 ICU 患者住院期间死亡危险因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	OR 值	95%CI	P 值
CWP	0.670	0.502 ~ 0.894	0.006
年龄	1.019	1.008 ~ 1.031	<0.001
冠心病	1.850	1.347 ~ 2.542	<0.001
心功能不全	0.850	0.574 ~ 1.249	0.414
心房颤动	1.689	1.164 ~ 2.433	0.004
慢性肾功能不全	1.531	1.106 ~ 2.111	0.001
恶性肿瘤	1.944	1.236 ~ 3.019	0.003
免疫抑制状态	1.690	1.014 ~ 2.762	0.039
脓毒症	2.591	1.910 ~ 3.543	<0.001

注: ICU 为重症监护病房, CWP 为重症预警平台, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 可信区间



注: CWP 为重症预警平台, ICU 为重症监护病房, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 可信区间

图 2 不同亚组中是否接入 CWP 两组内科病房转入 ICU 患者住院病死率比较的森林图

层,实施分级预警、分级管理,有助于对病情恶化的早期识别,进而实施早期干预。

本研究显示,重症预警组患者 28 d 内机械通气日显著减少,ICU 住院时间显著缩短,可能反映了早期干预可减轻病情进展的严重程度,从而降低患者依赖性医疗需求。

本研究亚组分析显示,CWP 可显著降低因脓毒症转入 ICU、年龄 ≥ 70 岁和存在恶性肿瘤基础疾病患者的住院病死率。说明脓毒症和年龄较大的患者可能从早期重症预警管理中获益更大;恶性肿瘤患者常伴随免疫抑制状态,而 CWP 对这类患者的保护作用也显示出其在特殊高危群体中的优势。此外,CWP 在不同性别、是否合并心房颤动及免疫抑制状态,以及无冠心病或慢性肾功能不全的亚组患者中,也显示出一定疗效,但临床意义不大,可能与这些变量在研究人群中的分布、治疗干预时机或基础病情的复杂性有关。

CWP 不仅可实时监测患者生命体征等关键指标,还能自动触发预警信号。尽管 Escobar 等^[14]的研究显示 CWP 降低了患者住院病死率,但该预警系统需要额外的护理人员远程监控并手动审查被识别为高风险患者的记录,并非每家医院都能实际或可行地由专门人员来监控记录;而本研究中 CWP 可实现无人值守,自动识别、自动预警。与以往依赖人工监测和干预的预警系统不同,本研究中 CWP 能通过自动化技术实现实时数据采集和预警,极大降低了人力依赖性。同时,本研究是基于真实世界的大样本研究,与传统临床试验相比^[7],能更好地反映 CWP 在日常医疗实践中的实际应用效果,提高研究结果的外部效度和普适性^[15-16]。此外,本研究采用多因素 Logistic 回归分析控制了混杂因素,并结合亚组分析验证了结果的稳健性,提高了研究结果的外部效度,能更好地反映 CWP 在日常医疗实践中的实际应用效果。

本研究的局限性:首先,本研究为单中心回顾性研究,结果的外推性可能受限;其次,尽管已通过多因素 Logistic 回归控制了潜在混杂因素,但无法完全排除未知混杂因素的影响。未来需要通过多中心前瞻性研究进一步验证本研究结果。

综上所述,本研究通过真实世界数据分析发现,CWP 可显著降低内科病房转入 ICU 患者住院病死率及 ICU 病死率;接入 CWP 是降低内科病房转入 ICU 患者住院病死率的独立保护因素。因此,CWP 可作

为一种有效的干预手段,优化病情管理、改善预后,特别是在高危患者中具有重要的临床价值。未来可在多中心范围内开展前瞻性队列设计,进一步验证 CWP 的有效性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] ICON investigators. Assessment of the worldwide burden of critical illness: the intensive care over nations (ICON) audit [J]. *Lancet Respir Med*, 2014, 2 (5): 380-386. DOI: 10.1016/S2213-2600(14)70061-X.
- [2] 王迪芬,刘岷.人工智能促进医疗大数据助力人民健康保障[J]. *中华危重病急救医学*, 2020, 32 (10): 1155-1159. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200719-00567.
- [3] 郑西川,孙宇,陈霆,等.基于医疗大数据分析的临床电子病历智能化研究[J]. *中国数字医学*, 2016, 11 (11): 61-64, 103. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7571.2016.11.021.
- [4] Peelen RV, Eddahchouri Y, Koene M, et al. Comparing continuous with periodic vital sign scoring for clinical deterioration using a patient data model [J]. *J Med Syst*, 2023, 47 (1): 60. DOI: 10.1007/s10916-023-01954-z.
- [5] Lauritsen SM, Kristensen M, Olsen MV, et al. Explainable artificial intelligence model to predict acute critical illness from electronic health records [J]. *Nat Commun*, 2020, 11 (1): 3852. DOI: 10.1038/s41467-020-17431-x.
- [6] Bassin L, Raubenheimer J, Bell D. The implementation of a real time early warning system using machine learning in an Australian hospital to improve patient outcomes [J]. *Resuscitation*, 2023, 188: 109821. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2023.109821.
- [7] McGaughey J, Fergusson DA, Van Bogaert P, et al. Early warning systems and rapid response systems for the prevention of patient deterioration on acute adult hospital wards [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 11 (11): CD005529. DOI: 10.1002/14651858.CD005529.pub3.
- [8] Komorowski M, Celi LA, Badawi O, et al. The artificial intelligence clinician learns optimal treatment strategies for sepsis in intensive care [J]. *Nat Med*, 2018, 24 (11): 1716-1720. DOI: 10.1038/s41591-018-0213-5.
- [9] Martinez VA, Betts RK, Scruth EA, et al. The Kaiser Permanente Northern California Advance Alert Monitor Program: an automated early warning system for adults at risk for in-hospital clinical deterioration [J]. *Jt Comm J Qual Patient Saf*, 2022, 48 (8): 370-375. DOI: 10.1016/j.jcjq.2022.05.005.
- [10] Smith GB, Prytherch DR, Meredith P, et al. The ability of the national early warning score (NEWS) to discriminate patients at risk of early cardiac arrest, unanticipated intensive care unit admission, and death [J]. *Resuscitation*, 2013, 84 (4): 465-470. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2012.12.016.
- [11] Smith ME, Chiovaro JC, O'Neil M, et al. Early warning system scores for clinical deterioration in hospitalized patients: a systematic review [J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2014, 11 (9): 1454-1465. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201403-1020C.
- [12] Shickel B, Loftus TJ, Adhikari L, et al. DeepSOFA: a continuous acuity score for critically ill patients using clinically interpretable deep learning [J]. *Sci Rep*, 2019, 9 (1): 1879. DOI: 10.1038/s41598-019-38491-0.
- [13] Bedoya AD, Clement ME, Phelan M, et al. Minimal impact of implemented early warning score and best practice alert for patient deterioration [J]. *Crit Care Med*, 2019, 47 (1): 49-55. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003439.
- [14] Escobar GJ, Liu VX, Schuler A, et al. Automated identification of adults at risk for in-hospital clinical deterioration [J]. *N Engl J Med*, 2020, 383 (20): 1951-1960. DOI: 10.1056/NEJMs2001090.
- [15] Guan G, Lee CMY, Begg S, et al. The use of early warning system scores in prehospital and emergency department settings to predict clinical deterioration: a systematic review and meta-analysis [J]. *PLoS One*, 2022, 17 (3): e0265559. DOI: 10.1371/journal.pone.0265559.
- [16] Fu LH, Schwartz J, Moy A, et al. Development and validation of early warning score system: a systematic literature review [J]. *J Biomed Inform*, 2020, 105: 103410. DOI: 10.1016/j.jbi.2020.103410.

(收稿日期: 2024-12-12)
(责任编辑: 孙茜 李银平)