

临床研究

基于院前动态生命体征的创伤性脑损伤患者院内死亡相关因素分析：一项单中心回顾性研究

曹俊杰^{1,2}, 张颜果儿^{1,3}, 王兵¹, 申思慧², 徐祥², 叶胜¹

(1. 皖南医学院第二附属医院 急诊医学科, 安徽 芜湖 241000; 2. 皖南医学院 法医学院, 安徽 芜湖 241000; 3. 皖南医学院 临床医学院, 安徽 芜湖 241000)

[摘要] **目的** 基于院前监测的短时动态生命体征数据, 探讨院前短时动态生命体征指标与创伤性脑损伤(TBI)患者院内死亡的关联。**方法** 回顾性纳入2020年1月1日至2024年12月31日由救护车转运至皖南医学院第二附属医院的TBI患者, 提取院前生命体征的初始值、最小值、最大值及短时动态变化趋势指标。采用单因素及多因素Logistic回归分析院前生命体征指标与院内死亡的关系, 并绘制受试者操作特征曲线(ROC), 评价独立相关因素及其联合指标对院内死亡的区分能力。**结果** 研究共纳入TBI患者263例, 其中院内死亡42例(15.97%)。多因素Logistic回归分析显示, 呼吸频率($OR = 1.358, 95\% CI: 1.004 \sim 1.838, P = 0.047$)、 SpO_2 -min($OR = 0.498, 95\% CI: 0.277 \sim 0.895, P = 0.020$)、收缩压变化趋势_Z($OR = 0.028, 95\% CI: 0.004 \sim 0.194, P < 0.001$)、 SpO_2 变化趋势_Z($OR = 0.055, 95\% CI: 0.010 \sim 0.302, P < 0.001$)及格拉斯哥昏迷评分(GCS)变化趋势_Z($OR = 0.364, 95\% CI: 0.138 \sim 0.956, P = 0.040$)为院内死亡的独立相关因素。基于多因素Logistic回归模型预测概率构建的联合指标ROC曲线下面积(AUC)为0.992($95\% CI: 0.979 \sim 1.000, P < 0.001$), 且高于各预测因子, 差异具有统计学意义($P < 0.05$)。校准曲线及决策曲线分析(DCA)均提示预测模型具有较好的校准能力及临床应用价值。**结论** 院前短时动态生命体征变化趋势与TBI患者院内死亡密切相关, 较单一时间点的预测指标可能提供更多病情评估信息。多项院前动态指标联合后对院内死亡具有较好的区分能力, 可为院前高危患者的早期识别提供一定参考。

[关键词] 创伤性脑损伤; 院前急救; 动态生命体征; 院内死亡

[中图分类号] R651.15 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2096-8159(2026)07-0782-08

Analysis of factors associated with in-hospital death of patients with traumatic brain injury based on prehospital dynamic vital signs: a single-center retrospective study

Cao Junjie^{1,2}, Zhang Yanguoer^{1,3}, Wang Bing¹, Shen Sihui², Xu Xiang², Ye Sheng¹

(1. Department of Emergency, The Second Affiliated Hospital of Wannan Medical College, Wuhu Anhui 241000, China; 2. School of Forensic Medicine, Wannan Medical College, Wuhu Anhui 241000, China; 3. School of Clinical Medicine, Wannan Medical College, Wuhu Anhui 241000, China)

[Abstract] **Objective** This study aimed to investigate the association between prehospital short-term dynamic vital-sign indicators and in-hospital mortality in patients with TBI based on prehospital monitored dynamic vital-sign data. **Methods** In this retrospective study, patients with TBI who were transported by ambulance to the Second Affiliated Hospital of Wannan Medical College between January 1, 2020, and December 31, 2024, were included. Initial, minimum, and maximum values of prehospital vital signs, as well as their short-term dynamic trend indicators, were extracted. Univariate and multivariable Logistic regression analyses were performed to examine the associations between prehospital vital-sign indicators and in-hospital mortality. Receiver operating characteristic (ROC) curves were plotted to evaluate the discriminative ability of independent factors and their combined model for in-hospital mortality. **Results** A total of 263 patients with TBI were included, of whom 42 (15.97%)

[基金项目] 安徽省卫生健康科研项目(NO:2024Aa10038); 安徽省教育厅自然科学研究项目(NO:2025AHGXZK31460)。

[通信作者] 叶胜, 男, 博士, 主任医师, 研究方向: 脑损伤及心肺脑复苏临床研究, E-mail: yesheng0553@163.com。

died during hospitalization. Multivariable Logistic regression analysis showed that respiratory rate ($OR = 1.358$, 95% $CI: 1.004 - 1.838$, $P = 0.047$), minimum SpO_2 ($OR = 0.498$, 95% $CI: 0.277 - 0.895$, $P = 0.020$), standardized systolic blood pressure trend ($OR = 0.028$, 95% $CI: 0.004 - 0.194$, $P < 0.001$), standardized SpO_2 trend ($OR = 0.055$, 95% $CI: 0.010 - 0.302$, $P < 0.001$), and standardized Glasgow Coma Scale (GCS) trend ($OR = 0.364$, 95% $CI: 0.138 - 0.956$, $P = 0.040$) were independently associated with in-hospital mortality. The area under the receiver operating characteristic curve (AUC) for the combined predictor based on the multivariable Logistic regression model was 0.992 (95% $CI: 0.979 - 1.000$, $P < 0.001$), and was significantly higher than those of individual predictors ($P < 0.05$). Calibration curves and decision curve analysis (DCA) indicated that the prediction model demonstrated good calibration and potential clinical utility. **Conclusion** Short-term dynamic changes in prehospital vital signs were closely associated with in-hospital mortality in patients with TBI and may provide more prognostic information than single time-point indicators. The combination of multiple prehospital dynamic indicators showed good discriminative ability for in-hospital mortality and may help facilitate the early identification of high-risk patients in the prehospital setting.

[Key words] traumatic brain injury; prehospital emergency care; dynamic vital signs; in-hospital mortality

创伤性脑损伤 (traumatic brain injury, TBI) 是指由外力作用导致的脑功能障碍或具有病理学意义的脑部结构损伤,是全球范围内致残率和病死率均较高的重大公共卫生问题之一^[1-3]。流行病学数据显示,全球 TBI 疾病负担较为沉重,并给患者带来较大的经济压力^[2,4]。近年来,中国 TBI 发病率持续上升,患者基数庞大,疾病负担尤为突出^[5]。尽管影像学、神经重症监护及多学科救治策略方面取得了显著进展,但 TBI 患者预后差异显著,其死亡和致残风险仍然较高,影响预后的关键危险因素尚未完全明确^[6]。TBI 患者的预后与院前急救阶段的评估和干预密切相关,30%~50% 的重型 TBI 患者在伤后早期即出现病情迅速恶化,部分患者会在伤后 2 h 内死亡^[7]。

院前阶段由于病情评估不足或干预延迟,患者可能长期处于低血压、低氧或通气障碍状态,从而诱发继发性脑损伤,显著增加死亡风险^[8]。因此,院前急救医护人员能否对病情进行早期、准确的风险评估,并及时实施分诊和干预措施,是改善 TBI 患者预后、降低病死率和致残率的关键环节^[9-10]。目前,分流早期预警评分 (triage early warning score, TEWS)、格拉斯哥昏迷评分 (glasgow coma scale, GCS) 等传统评分体系被广泛用于 TBI 患者的早期评估和风险分层^[11]。此外,团队前期研究发现合并胸部创伤、出现呕吐、初始收缩压、血氧饱和度及心率可以较好地预测 TBI 患者的院内死亡风险^[12]。然而,在实际院前急救过程中,患者的生命

体征会随着时间推移呈现动态波动特征,这种处于动态变化的生命体征是否能预测 TBI 患者的院内死亡风险仍值得探索。

短时动态数据是指在较短时间窗口内连续采集、随时间快速变化、能够反映个体生命体征变化方向和速率的时间序列数据,其核心特征在于时间敏感性和动态性^[13-14]。既往研究表明,短时动态数据已在多种临床场景中显示出显著优势,例如在毛细支气管炎患儿的血氧饱和度连续监测^[15]、糖尿病患者血糖波动评估^[16]以及可穿戴设备用于汗液电解质动态监测^[17]等领域均取得积极进展,相较于静态指标,动态变化特征能够更早、更敏感地反映病情恶化风险。基于此,本研究通过分析院前急救 TBI 患者的短时动态生命体征数据,探讨影响 TBI 患者院内死亡的危险因素及其预测效能,为院前急救和早期临床决策提供更加精准、动态化的风险评估工具,并为个体化救治策略的制定提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 对象 本研究为回顾性观察性研究,纳入 2020 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日期间由救护车转运至皖南医学院第二附属医院的 TBI 患者。研究方案经皖南医学院第二附属医院伦理委员会批准 (NO: WYEFYLS2024147)。鉴于本研究采用回顾性设计,所有数据均来源于既往病历资料,伦理委员会批准豁免患者知情同意。纳入标准:(1)

年龄 ≥ 18 岁;(2)脑损伤明确由外部暴力因素所致,并符合《成人创伤性颅脑损伤院前与急诊诊治中国专家共识》^[1];(3)患者由救护车转运至医院。(4)具备院前连续生命体征监测数据。排除标准:(1)院前短时动态生命体征数据缺失,或连续监测时间点少于3个;(2)二次转运(即患者在转运至医院前已在其他医疗机构接受治疗);(3)院前急救记录(如转运时间、现场处理措施等)不完整;(4)院前死亡患者;(5)合并严重的心脏或肺部等其他危及生命的基础疾病患者。

研究纳入院前 TBI 患者 367 例,排除院前短时动态生命体征数据缺失或连续监测时间点不足者 74 例、二次转运患者 10 例、院前死亡患者 8 例、合并严重基础疾病患者 12 例,最终纳入 263 例患者。

1.2 数据收集 收集 TBI 患者的人口学信息(性别、年龄)及院前生命体征指标。院前生命体征包括心率(heart rate,HR)、呼吸频率(respiratory rate,RR)、收缩压(systolic blood pressure,SBP)、舒张压(diastolic blood pressure,DBP)、血氧饱和度(pulse oxygen saturation,SpO₂)、体温及 GCS 评分。在此基础上,进一步提取院前急救期间生命体征的最大值(HR_{max}、RR_{max}、SBP_{max}、DBP_{max}、SpO_{2max}、GCS_{max})和最小值(HR_{min}、RR_{min}、SBP_{min}、DBP_{min}、SpO_{2min}、GCS_{min})。

1.3 生命体征变化趋势 院前急救医护人员自接触患者起,每隔 5 min 记录 1 次生命体征数据,连续监测至患者到达医院,从而获得连续时间序列数据。本研究患者院前连续生命体征记录时间点数中位数为 4(3,5)个;院前监测总时长中位数为 21(16,27)min,最短为 15 min,最长为 31 min。在连续生命体征趋势分析中,时间变量以实际分钟数作为自变量,以对应时间点测得的生命体征值作为因变量,分别对每例患者建立简单线性回归模型,回归系数 β 反映该指标在院前监测窗口内随时间的平均变化速率,由于各次测量时间间隔为 5 min, β 值可直接解释为每分钟的生命体征平均变化量。 β 值反映生命体征在院前观察窗口内随时间变化的方向和速率。 β 值为正表示该指标呈上升趋势, β 值为负表示呈下降趋势^[13,18]。

1.4 TBI 患者预后结局 本研究以院内死亡作为主要结局指标,定义为患者自入院至出院前发生的

死亡,包括急诊室死亡及住院期间死亡(不含放弃治疗及自动出院患者)。根据结局情况,将患者分为死亡组和存活组。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 26.0 及 R 3.6.2 软件进行数据分析,连续变量在符合正态分布时以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,偏态分布资料以中位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。组间比较,正态分布的连续变量采用独立样本 t 检验,非正态分布变量采用相应的非参数检验。分类变量采用 Pearson χ^2 检验或 Fisher 精确检验。采用单因素分析筛选候选变量后,纳入多因素 Logistic 回归模型分析 TBI 患者院内死亡的独立预测因子。为提高回归系数的可比性及模型稳定性,在回归分析前对相关变化趋势变量进行了 Z-score^[19-20] 标准化处理。采用受试者操作特征曲线(receiver operating characteristic,ROC)及曲线下面积(area under the curve,AUC)评价联合指标以及各个预测因子对患者院内死亡的区分能力,并使用 DeLong 检验比较各预测因子区分能力的差异。采用 rms 包绘制诺莫图,并使用 Bootstrap 内部验证生成校准曲线,进一步应用决策曲线分析(decision curve analysis,DCA)评价模型的临床实用价值。所有统计检验均为双侧检验,以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料及院前急救生命体征比较

本研究共纳入 TBI 患者 263 例,其中存活患者 221 例(84.03%),院内死亡患者 42 例(15.97%)。两组患者在性别及年龄构成方面差异均无统计学意义($P > 0.05$)。结果显示:与死亡组相比,存活组患者院前急救阶段的初始呼吸频率及呼吸频率最大值(呼吸频率_{max})水平均显著降低($P < 0.05$)。此外,存活组患者的收缩压最小值(收缩压_{min})及血氧饱和度最小值(SpO_{2min})均显著高于死亡组($P < 0.05$)。进一步比较院前急救阶段生命体征的动态变化特征发现,两组患者收缩压及 SpO₂ 的变化趋势均呈负值,提示整体呈下降趋势。然而,死亡组患者上述指标变化趋势的绝对值显著大于存活组,表明其收缩压及 SpO₂ 在短时间内下降更为迅速($P < 0.05$),见表 1。

表 1 两组患者一般资料及院前急救生命体征比较[$\bar{x} \pm s, n(\%)$, $M(P_{25}, P_{75})$]

项目	存活组($n=221$)	死亡组($n=42$)	$\chi^2/t/Z$	P
性别(男性)	118(53.40)	24(57.10)	0.200	0.655
年龄/岁	57.44 ± 14.89	61.43 ± 15.13	-1.586	0.114
院前生命体征				
心率/(次/min)	90.00(81.00, 100.00)	92.00(86.00, 97.00)	-0.444	0.657
呼吸频率/(次/min)	18.00(16.00, 20.00)	20.00(18.00, 22.00)	-3.587	<0.001
收缩压/mmHg	114.00(102.00, 127.00)	115.00(104.00, 129.00)	-0.035	0.972
舒张压/mmHg	68.00(62.00, 75.00)	68.00(61.00, 79.00)	-0.010	0.992
SpO ₂ /%	94.00(92.00, 96.00)	94.00(92.00, 96.00)	-0.561	0.575
体温/℃	36.70(36.40, 37.00)	36.70(36.40, 37.00)	-0.179	0.858
GCS/分	10.00(9.00, 13.00)	10.00(8.00, 13.00)	-0.548	0.584
院前生命体征				
心率_max/(次/min)	98.00(90.00, 107.00)	101.00(92.00, 109.00)	-0.864	0.387
呼吸频率_max/(次/min)	20.00(18.00, 23.00)	23.00(20.00, 24.00)	-2.390	0.017
收缩压_max/mmHg	118.00(106.00, 130.00)	117.00(105.00, 130.00)	-0.478	0.633
舒张压_max/mmHg	69.00(63.00, 76.00)	69.00(62.00, 79.00)	-0.158	0.874
SpO ₂ _max/%	95.00(94.00, 97.00)	95.00(93.00, 96.00)	-1.496	0.135
GCS_max/分	10.00(9.00, 13.00)	10.00(8.00, 12.00)	-0.533	0.594
院前生命体征				
心率_min/(次/min)	87.00(79.00, 95.00)	89.00(81.00, 95.00)	-0.763	0.446
呼吸频率_min/(次/min)	15.00(13.00, 17.00)	16.00(13.00, 19.00)	-1.590	0.112
收缩压_min/mmHg	101.00(88.00, 112.00)	88.00(78.00, 102.00)	-3.636	<0.001
舒张压_min/mmHg	59.00(52.00, 66.00)	58.00(53.00, 67.00)	-0.141	0.888
SpO ₂ _min/%	91.00(89.00, 92.00)	86.00(85.00, 89.00)	-7.408	<0.001
GCS_min/分	9.00(7.00, 11.00)	8.00(6.00, 10.00)	-1.249	0.212
生命体征变化趋势				
心率变化趋势/(次·min ⁻¹ /5 min)	0.19(0.08, 0.29)	0.22(0.14, 0.31)	-1.622	0.105
呼吸频率变化趋势/(次·min ⁻¹ /5 min)	0.01(-0.04, 0.04)	-0.01(-0.07, 0.03)	-1.299	0.194
收缩压变化趋势/(mmHg/5 min)	-0.37(-0.48, -0.25)	-0.79(-0.95, -0.66)	-8.946	<0.001
舒张压变化趋势/(mmHg/5 min)	-0.30(-0.35, -0.25)	-0.30(-0.36, -0.26)	-0.306	0.760
SpO ₂ 变化趋势/(%/5 min)	-0.05(-0.09, -0.01)	-0.24(-0.26, -0.15)	-9.211	<0.001
GCS变化趋势/(分/5 min)	-0.05(-0.06, -0.04)	-0.06(-0.07, -0.04)	-1.933	0.053

2.2 TBI 患者院内死亡的多因素 Logistic 回归分析 以患者是否发生院内死亡为因变量(死亡 = 1, 存活 = 2), 将单因素分析中 $P < 0.10$ 的变量纳入多因素 Logistic 回归模型。鉴于生命体征变化趋势指标数值范围较小, 为提高回归系数的可比性及模型稳定性, 对相关变化趋势变量在回归分析前进

行了 Z -score 标准化处理。多因素 Logistic 回归分析结果显示, 呼吸频率、SpO₂_min 以及标准化后的收缩压变化趋势、SpO₂ 变化趋势和 GCS 变化趋势仍与 TBI 患者院内死亡结局显著相关($P < 0.05$, 表 2)。

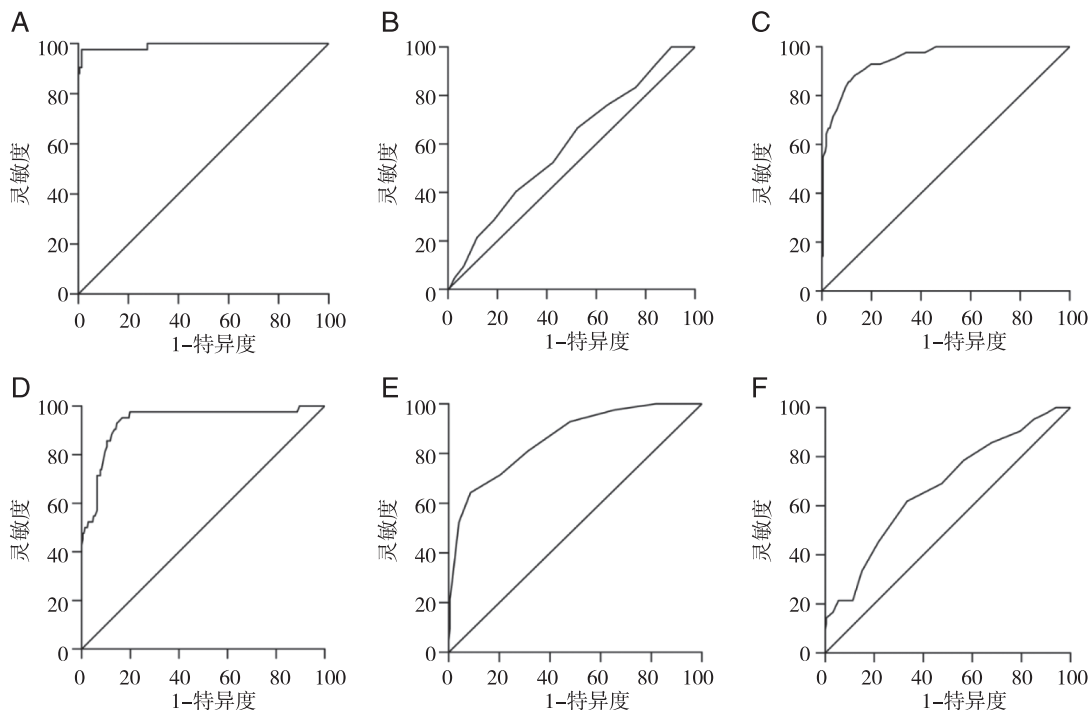
表 2 TBI 患者院内死亡的多因素 Logistic 回归分析

变量	偏回归系数	标准误	Wald χ^2	P	OR	95% CI	VIF
呼吸频率	0.306	0.154	3.933	0.047	1.358	1.004 ~ 1.838	1.050
SpO ₂ _Min	-0.697	0.299	5.438	0.020	0.498	0.277 ~ 0.895	1.326
收缩压变化趋势_Z	-3.573	0.986	13.128	<0.001	0.028	0.004 ~ 0.194	1.191
SpO ₂ 变化趋势_Z	-2.906	0.871	11.122	<0.001	0.055	0.010 ~ 0.302	1.405
GCS变化趋势_Z	-1.011	0.493	4.209	0.040	0.364	0.138 ~ 0.956	1.019

收缩压变化趋势_Z: 每增加一个标准差收缩压的变化趋势; SpO₂变化趋势_Z: 每增加一个标准差 spO₂ 的变化趋势; GCS变化趋势_Z: 每增加一个标准差 GCS 的变化趋势。

2.3 多因素 Logistic 回归模型及各预测因子对院内死亡的区分能力 基于上述指标构建多因素 Logistic 回归模型,并采用模型预测概率绘制 ROC 曲线,以评价其联合区分院内死亡结局的能力。结果显示:多因素 Logistic 回归模型的 AUC 为 0.992 (95% CI:0.979 ~ 1.000, $P < 0.001$),呼吸频率的 AUC 为 0.674 (95% CI:0.584 ~ 0.764, $P < 0.001$), SpO_2 _min 的 AUC 为 0.858 (95% CI: 0.796 ~ 0.920, $P < 0.001$),收缩压变化趋势_Z 的 AUC 为

0.935 (95% CI:0.890 ~ 0.981, $P < 0.001$), SpO_2 变化趋势_Z 的 AUC 为 0.948 (95% CI:0.917 ~ 0.980, $P < 0.001$), GCS 变化趋势_Z 的 AUC 为 0.594 (95% CI:0.502 ~ 0.685, $P = 0.045$),见图 1。为进一步验证各个指标及模型的区分能力,采用 De-Long 检验对不同 AUC 之间进行比较。结果表明,多因素 Logistic 回归模型的 AUC 均高于各预测因子,差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。



A:联合预测;B:GCS 变化趋势_Z;C: SpO_2 变化趋势_Z;D:收缩压变化趋势_Z;E: SpO_2 _min;F:呼吸频率。

图 1 多因素 Logistic 回归模型及各预测因子 ROC 分析

2.4 诺莫图构建及校准曲线、DCA 分析 研究基于多因素 Logistic 回归预测模型绘制诺莫图以实现个体化风险评估(图 2)。校准曲线分析结果表明,模型预测 TBI 患者的院内死亡风险与实际观察结

局之间具有较好一致性,说明诺莫图具有较好的校准能力(图 3A)。DCA 结果显示,在大部分阈值概率范围内,预测模型具备良好的临床应用价值(图 3B)。

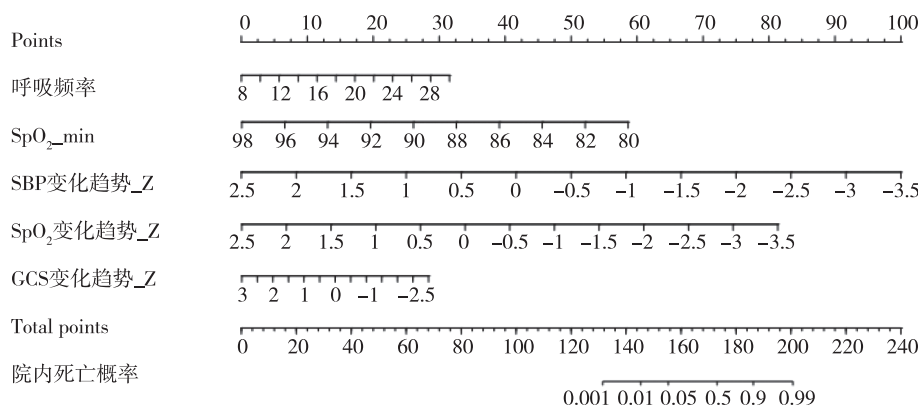
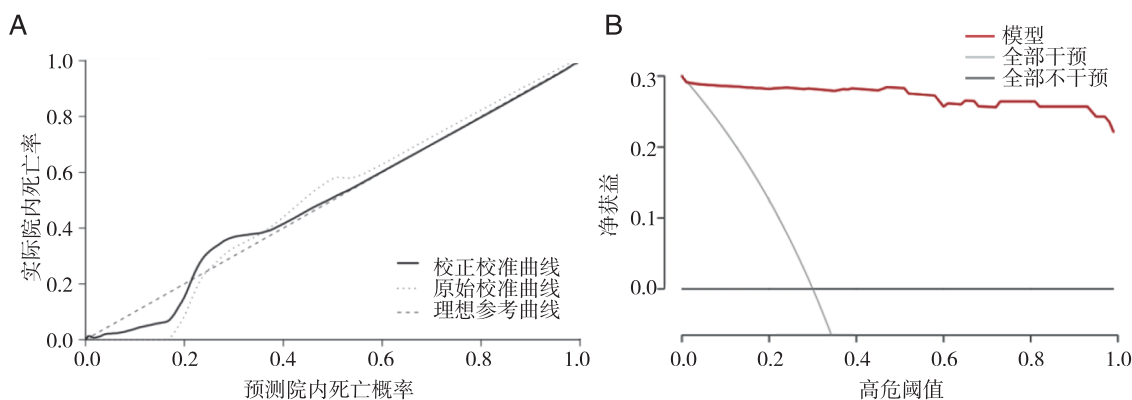


图 2 诺莫图预测模型



A:校准曲线;B 决策曲线分析。

图3 校准曲线及决策曲线分析

3 讨论

TBI 具有起病急、病情进展快和死亡风险高等特点,院前阶段是影响患者预后的关键窗口期。既往研究多聚焦于入院时或单一时间点的生命体征指标,而忽视了院前急救过程中生命体征的动态演变过程。事实上,院前急救不仅是患者“病情评估”的过程,更是“干预-反应-再评估”的连续动态过程,短时间内生命体征的变化轨迹可能更真实地反映患者的生理代偿能力与病情演变趋势^[21]。本研究基于院前动态监测数据,提取并量化了生命体征的短时动态变化趋势指标,评估其对 TBI 患者院内死亡结局的影响^[13-14, 22]。研究结果表明,相较于传统单一时间点指标,生命体征的动态变化趋势在预后评估中具有更为突出的价值。

3.1 收缩压变化趋势与 TBI 患者院内死亡风险
收缩压一直是 TBI 患者预后研究中的核心生命体征之一,低血压已被明确证实与不良预后密切相关^[23]。本研究在验证既往结论的基础上,进一步发现收缩压变化趋势较单一收缩压数值更能反映患者的预后风险。多因素 Logistic 回归结果显示,在控制其他变量后,院前急救过程中收缩压呈上升趋势的患者,其院内死亡风险显著降低,提示积极纠正低血压并维持血流动力学稳定对改善 TBI 患者的预后具有重要意义。这一发现与 Rice 等^[24]关于院前及院内低血压与 TBI 不良结局相关的研究结论基本一致。值得注意的是,与既往研究多采用“最低收缩压”或“是否发生低血压事件”不同,本研究强调了收缩压随时间变化的方向和速率,死亡组患者收缩压下降更为迅速,提示其代偿能力受

损或对院前干预反应不足^[25]。这种动态变化可为院前医护人员提供更直观的风险信号,有助于更早识别高危患者并调整救治策略。

3.2 SpO₂ 变化趋势与 TBI 患者院内死亡风险
低氧血症是影响 TBI 患者预后的重要可干预因素,既往研究多集中于 SpO₂ 的阈值效应,如 SpO₂ < 90% 与死亡风险升高相关,但对其变化过程本身的关注有限^[22, 26]。本研究发现,SpO₂ 变化趋势可以较好的区分 TBI 患者的院内死亡。具体而言,SpO₂ 下降更快的患者,其死亡风险显著升高,而 SpO₂ 随院前急救干预逐步改善的患者预后更佳。该结果与既往关于低氧血症机制的研究相一致:持续或加重的低氧状态可导致脑组织能量代谢障碍、脑水肿加重等继发性脑损伤,最终影响患者生存结局^[22, 27]。更为重要的是,本研究突破了单一时间点 SpO₂ 的研究范式,证实 SpO₂ 动态变化趋势本身即为独立相关因素。因此,院前急救阶段对气道管理、通气支持效果的连续评估,可能比单次 SpO₂ 测量更具临床意义。

3.3 GCS 评分变化趋势与 TBI 患者院内死亡风险
GCS 评分作为评估 TBI 患者意识状态及神经功能受损程度最常用的工具之一,在院前分诊和早期风险分层中具有重要价值。国内的相关研究比较了多种常用评分系统对颅脑外伤近期预后的预测效能,提示 GCS 是早期 TBI 病情评估的重要指标^[11, 28]。与既往多数研究主要关注某一时间节点的 GCS 评分不同,本研究从动态角度评估了院前短时观察窗口内 GCS 的变化趋势。结果提示,标准化后的 GCS 变化趋势仍可作为院内死亡的独立相关因素,院前急救过程中 GCS 评分呈改善趋势的患者,院内死亡

风险相对较低,而 GCS 评分持续下降或改善不明显的患者,则提示其院内死亡风险上升。TBI 后的意识状态并非静止不变,而是持续受到原发性脑损伤、继发性低氧低血压^[22-23]、脑水肿进展、颅内压升高以及早期复苏效果等多种因素的共同影响^[29]。因此,GCS 的变化趋势相较于单次测量值更能反映病情演变趋势^[30]。2023 年美国发布的 TBI 院前管理第 3 版指南强调,在院前转运和交接过程中,应持续记录并传递 GCS 变化情况^[7],进一步说明了其动态监测的临床价值。因此,GCS 不仅是院前 TBI 评估的重要基础指标,其短时动态变化趋势更能反映患者神经功能演变及早期救治反应。将 GCS 变化趋势纳入院前风险识别,有助于提高对高危患者的早期判断能力,并为院前干预优化和院内救治衔接提供更有价值的依据。

3.4 研究局限性 本研究仍存在一定局限性。首先,本研究为单中心回顾性研究,样本量相对有限,研究结果的代表性和外推性可能受到一定影响。其次,部分院前动态监测数据缺失,以及纳入与排除标准的限制,可能导致一定程度的选择偏倚。此外,不同患者院前监测总时长存在差异,尽管本研究采用单位时间变化率表征生命体征动态趋势,但不同观察时间下斜率估计的稳定性可能并不完全一致,亦可能对结果产生一定影响。再次,本研究纳入的变量主要集中于院前生命体征及其动态变化特征,部分潜在的重要临床信息,如瞳孔反应、损伤机制、创伤严重程度评分及影像学特征等未能纳入分析,因而尚不能全面反映影响 TBI 患者院内死亡的全部因素。未来仍需开展多中心、大样本、前瞻性研究,对上述院前动态生命体征指标与院内死亡的关联及其识别价值进行进一步验证,以增强研究结论的稳健性和推广应用价值。

综上所述,本研究基于院前动态监测数据,提示生命体征短时动态变化趋势在 TBI 患者院内死亡风险评估中的重要价值,其在院前阶段对 TBI 患者死亡风险进行一定的预测,为院前高危患者识别提供了初步依据。

【参考文献】

- [1] 杨阳,田小溪,史正华,等.成人创伤性颅脑损伤院前与急诊诊治中国专家共识[J].解放军医学杂志,2025,50(2):123-133.
- [2] Zhong H, Feng Y, Shen J, et al. Global burden of traumatic brain injury in 204 countries and territories from 1990 to 2021[J]. Am J Prev Med, 2025, 68(4): 754-763.
- [3] 何君梅,李思宇,唐志红.创伤性颅脑损伤的临床治疗进展[J].中国临床医生杂志,2025,53(1):19-23.
- [4] Miller G F, DePadilla L, Xu L. Costs of nonfatal traumatic brain injury in the United States, 2016[J]. Med Care, 2021, 59(5): 451-455.
- [5] Feng J F, Huang X J, Yang X F, et al. Traumatic brain injury in China: an update on epidemiology, care pathways, and clinical research[J]. Lancet Neurol, 2026, 25(4): 396-405.
- [6] 陈琳,葛红飞,喻安永.红景天苷改善创伤性脑损伤后继发性神经损伤的作用机制研究进展[J].遵义医科大学学报,2024,47(4):416-423.
- [7] Lulla A, Lumba-Brown A, Totten A M, et al. Prehospital guidelines for the management of traumatic brain injury - 3rd edition [J]. Prehosp Emerg Care, 2023, 27(5): 507-538.
- [8] Butterfield M, Bodnar D, Williamson F, et al. Prevalence of secondary insults and outcomes of patients with traumatic brain injury intubated in the prehospital setting: a retrospective cohort study[J]. Emerg Med J, 2023, 40(3): 167-174.
- [9] 陈天喜,姜岱山,沈艳,等.基于决策树的急性创伤性脑损伤患者早期死亡风险分诊模型的构建及验证[J].军事护理,2023,40(10):34-38.
- [10] Afshari A, Torabi M, Khazaei A, et al. Unveiling the performance of the prehospital rapid emergency medicine score (pREMS): how the predictive score impacts in-hospital outcomes in traumatic brain injury (TBI): a retrospective observational cohort study [J]. BMC Emerg Med, 2024, 24(1): 139.
- [11] 苏观,陈延茹,杨涛,等.不同评分系统对颅脑外伤患者近期预后预测效能的对比分析[J].中华全科医学,2021,19(1):27-30.
- [12] Wang B, Liu Y, Xing J, et al. Development and validation of a clinical nomogram for predicting in-hospital mortality in patients with traumatic brain injury prehospital: a retrospective study[J]. Heliyon, 2024, 10(17): e37295.
- [13] Tanii R, Hayashi K, Naito T, et al. Impact of dynamic parameter of trends in vital signs on the prediction of serious events in hospitalized patients -a retrospective observational study[J]. Resusc Plus, 2024, 18: 100628.
- [14] Placido D, Thorsen-Meyer H C, Kaas-Hansen B S, et al. Development of a dynamic prediction model for unplanned ICU admission and mortality in hospitalized patients[J]. PLoS Digit Health, 2023, 2(6): e0000116.
- [15] Salada K, Ehrmann J, Saylor K M, et al. Intermittent vs continuous pulse oximetry for bronchiolitis hospitalizations: a systematic review[J]. Hosp Pediatr, 2025, 15

- (9): e460-e473.
- [16] Rasmussen L, Christensen M L, Poulsen C W, et al. Effect of high versus low carbohydrate intake in the morning on glycemic variability and glycemic control measured by continuous blood glucose monitoring in women with gestational diabetes mellitus-a randomized crossover study [J]. *Nutrients*, 2020, 12(2): 475.
- [17] Alizadeh A, Burns A, Lenigk R, et al. A wearable patch for continuous monitoring of sweat electrolytes during exertion[J]. *Lab Chip*, 2018, 18(17): 2632-2641.
- [18] Churpek M M, Adhikari R, Edelson D P. The value of vital sign trends for detecting clinical deterioration on the wards[J]. *Resuscitation*, 2016, 102: 1-5.
- [19] Efthimiou O, Seo M, Chalkou K, et al. Developing clinical prediction models: a step-by-step guide [J]. *BMJ*, 2024, 386: e078276.
- [20] Ma J, Dhiman P, Qi C, et al. Poor handling of continuous predictors in clinical prediction models using logistic regression: a systematic review [J]. *J Clin Epidemiol*, 2023, 161: 140-151.
- [21] 孙成智, 肖遥, 乔光念, 等. 时间因素在颅脑损伤过程中的研究进展分析 [J]. *生物医学转化*, 2024, 5(3): 84-90.
- [22] Maiga A W, Lin H S, Wisniewski S R, et al. Adverse prehospital events and outcomes after traumatic brain injury[J]. *JAMA Netw Open*, 2025, 8(1): e2457506.
- [23] Lee J W, Wang W, Rezk A, et al. Hypotension and adverse outcomes in moderate to severe traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA Netw Open*, 2024, 7(11): e2444465.
- [24] Rice A D, Hu C, Spaite D W, et al. Correlation between prehospital and in-hospital hypotension and outcomes after traumatic brain injury[J]. *Am J Emerg Med*, 2023, 65: 95-103.
- [25] Spaite D W, Hu C, Bobrow B J, et al. Optimal out-of-hospital blood pressure in major traumatic brain injury: a challenge to the current understanding of hypotension [J]. *Ann Emerg Med*, 2022, 80(1): 46-59.
- [26] Thirawattanasoot N, Chantanakomes J, Pansiritanachot W, et al. Association between prehospital oxygen saturation and outcomes in hypotensive traumatic brain injury patients in Asia (Pan-Asian Trauma Outcomes Study (PATOS)) [J]. *Int J Emerg Med*, 2025, 18(1): 104.
- [27] Atkin-Jones T, Solorzano-Aldana M C, Rezk A, et al. Impact of oxygen and carbon dioxide levels on mortality in moderate to severe traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis [J]. *Crit Care*, 2025, 29(1): 357.
- [28] 练皎, 刘文科. 中重度颅脑损伤患者 28d 死亡影响因素分析及 NLR 联合 GCS 评分对其 28d 死亡预测价值 [J]. *临床误诊误治*, 2021, 34(3): 101-107.
- [29] Robba C, Graziano F, Rebora P, et al. Intracranial pressure monitoring in patients with acute brain injury in the intensive care unit (synapse-icu): an international, prospective observational cohort study [J]. *Lancet Neurol*, 2021, 20(7): 548-558.
- [30] Zhang Y, Chen F, Ma N, et al. Association between glasgow coma scale trajectory and in-hospital mortality in traumatic brain injury in the ICU: a retrospective cohort study [J]. *Nurs Crit Care*, 2025, 30(5): e70139.
- [收稿 2026-01-18;修回 2026-04-30]
(编辑:王先恒)