

B/A 比值、S100 β 和 cTnI 与中重度急性一氧化碳中毒患者病情及预后的相关性

朱保月¹ 朱倩倩¹ 杜月茹² 肖青勉¹ 王维展¹ 齐洪娜¹

¹ 河北医科大学哈励逊国际和平医院急救医学部, 衡水 053000; ² 河北医科大学哈励逊国际和平医院康复医学科, 衡水 053000

通信作者: 齐洪娜, Email: qihongna0825@163.com

【摘要】 目的 探讨血尿素氮/白蛋白(B/A)比值、中枢神经特异蛋白 S100(S100 β)和心肌肌钙蛋白 I(cTnI)与中重度急性一氧化碳中毒(ACMP)患者病情及预后的相关性。**方法** 采用回顾性队列研究方法,纳入 2023 年 3 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日在哈励逊国际和平医院住院的中重度 ACMP 患者作为研究对象。记录患者入院时的基本资料,包括昏迷时间、中毒至就诊时间等;收集患者入院时血常规、电解质、肝功能、血糖、C-反应蛋白(CRP)、血乳酸(Lac)、血尿素氮(BUN)、白蛋白(Alb)、cTnI、S100 β 及入院 3 d BUN、Alb、cTnI、S100 β 等,并计算 B/A 比值;随访 60 d 观察患者预后情况。根据患者病情严重程度分为中度中毒组和重度中毒组;再根据随访 60 d 一氧化碳中毒迟发性脑病(DEACMP)发生情况分为预后良好组和预后不良组。采用 Pearson 相关性分析 B/A 比值、S100 β 和 cTnI 与 ACMP 患者病情严重程度及 DEACMP 发生的相关性;采用逐步 Logistic 回归分析 ACMP 患者发生 DEACMP 的影响因素;绘制受试者工作特征曲线(ROC 曲线)评估 B/A 比值、S100 β 、cTnI 单独及三者联合检测对 ACMP 患者发生 DEACMP 的预测价值。**结果** 共纳入 178 例中重度 ACMP 患者,其中,中度中毒组 91 例,重度中毒组 87 例;预后良好组 157 例,预后不良组 21 例。病情严重程度方面,与中度中毒组相比,重度中毒组入院时脉搏、呼吸频率更快,昏迷时间、中毒至就诊时间更长,血糖、CRP、Lac、BUN 水平更高,Alb 水平更低(均 $P < 0.05$);此外,重度中毒组入院时和入院 3 d 的 B/A 比值、S100 β 、cTnI 均高于中度中毒组(均 $P < 0.05$)。与入院时相比,中度中毒组入院 3 d B/A 比值升高, cTnI 水平降低(均 $P < 0.05$), S100 β 无明显变化;重度中毒组入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 水平较入院时差异无统计学意义。预后方面,与预后良好组相比,预后不良组入院时昏迷时间、中毒至就诊时间更长,重度中毒患者比例、血糖、CRP、Lac、BUN 水平更高,Alb 水平更低(均 $P < 0.05$);此外,预后不良组入院时和入院 3 d 的 B/A 比值、S100 β 、cTnI 均高于预后良好组(均 $P < 0.05$)。相关性分析显示,入院时和入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 与 ACMP 患者病情严重程度和发生 DEACMP 存在相关性(均 $P < 0.05$)。逐步 Logistic 回归分析显示,入院时和入院 3 d B/A 比值[入院时:优势比(OR)=1.272, 95% 置信区间(95%CI)为 1.028~1.573;入院 3 d: OR=1.170, 95%CI 为 0.947~1.463], S100 β (入院时: OR=1.065, 95%CI 为 1.007~1.127;入院 3 d: OR=1.112, 95%CI 为 1.060~1.165)、cTnI (入院时: OR=1.358, 95%CI 为 1.055~1.748;入院 3 d: OR=1.201, 95%CI 为 1.008~1.432) 升高均是 ACMP 患者发生 DEACMP 的危险因素(均 $P < 0.05$)。ROC 曲线分析显示,入院时及入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 三者联合预测 DEACMP 发生的曲线下面积(AUC)分别为 0.872 和 0.904,敏感度分别为 95.2% 和 85.7%,特异度分别为 68.8% 和 80.3%;入院时三者联合的预测效能优于中毒程度及三者单独预测,入院 3 d 三者联合的预测效能优于中毒程度、昏迷时间及三者单独预测,且入院 3 d 三者联合检测的预测效能优于入院时(均 $P < 0.05$)。**结论** 中重度 ACMP 患者早期血 B/A 比值、S100 β 、cTnI 水平较高时易发生 DEACMP,三者联合检测可用于 DEACMP 的早期筛查,以入院 3 d 预测价值最高。

【关键词】 血尿素氮/白蛋白比值;中枢神经特异蛋白 S100;心肌肌钙蛋白 I;急性一氧化碳中毒;一氧化碳中毒迟发性脑病

基金项目: 河北省医学科学研究项目(20232181)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260128-00060

Correlation analysis of blood urea nitrogen/albumin ratio, central nervous system specific protein S100 and cardiac troponin I with severity assessment and prognosis in patients with moderate-to-severe acute carbon monoxide poisoning

Zhu Baoyue¹, Zhu Qianqian¹, Du Yueru², Xiao Qingmian¹, Wang Weizhan¹, Qi Hongna¹

¹Department of Emergency, Harrison International Peace Hospital Affiliated to Hebei Medical University, Hengshui 053000, China; ²Department of Rehabilitation Medicine, Harrison International Peace Hospital, Hebei Medical University, Hengshui 053000, China

Corresponding author: Qi Hongna, Email: qihongna0825@163.com

【Abstract】 Objective To explore the correlation between blood urea nitrogen/albumin (B/A) ratio, central nervous system specific protein S100 (S100 β), cardiac troponin I (cTnI) and the severity assessment and prognosis in

patients with moderate-to-severe acute carbon monoxide poisoning (ACMP). **Methods** A retrospective cohort study was performed, enrolling patients with moderate-to-severe ACMP admitted to the Harrison International Peace Hospital from March 1, 2023 to December 31, 2025 as the study subjects. Baseline clinical data at admission were recorded, including coma duration, time from poisoning to presentation, etc. Blood routine examination, electrolyte levels, liver function, blood glucose, C-reactive protein (CRP), blood lactic acid (Lac), blood urea nitrogen (BUN), albumin (Alb), cTnI, S100 β , as well as BUN, Alb, cTnI, S100 β at admission and 3 days after admission were collected, and the B/A ratio was calculated. Patients were followed up for 60 days to assess clinical prognosis. According to the severity of the patients' condition, they were stratified into the moderate poisoning group and the severe poisoning group; further, based on the occurrence of delayed carbon monoxide encephalopathy (DEACMP) during the 60-day follow-up, they were divided into the good prognosis group and the poor prognosis group. Pearson correlation analysis was used to explore the associations of B/A ratio, S100 β , and cTnI with the severity of ACMP patients and the occurrence of DEACMP; stepwise logistic regression analysis was used to analyze the influencing factors of DEACMP occurrence in ACMP patients; receiver operator characteristic curve (ROC curve) was drawn to evaluate the predictive value of B/A ratio, S100 β , cTnI, and their combined detection for DEACMP occurrence in ACMP patients. **Results** A total of 178 patients with moderate-to-severe ACMP were enrolled, including 91 in the moderate poisoning group and 87 in the severe poisoning group; 157 in the good prognosis group and 21 in the poor prognosis group. In terms of disease severity, compared with the moderate poisoning group, the severe poisoning group had faster pulse and respiratory rates upon admission, longer coma duration and time from poisoning to treatment, higher levels of blood glucose, CRP, Lac, and BUN, and lower Alb levels (all $P<0.05$). In addition, the B/A ratio, S100 β , and cTnI levels in the severe poisoning group were all higher than those in the moderate poisoning group at admission and 3 days after admission (all $P<0.05$). Compared with admission, the B/A ratio increased and the cTnI level decreased in the moderate poisoning group at 3 days after admission (both $P<0.05$), while S100 β showed no significant change. In the severe poisoning group, there was no statistically significant difference in the B/A ratio, S100 β , and cTnI levels at 3 days after admission compared to those at admission. In terms of prognosis, compared with the good prognosis group, the poor prognosis group had longer coma duration and time from poisoning to treatment at admission, a higher proportion of severe poisoning patients, higher levels of blood glucose, CRP, Lac, and BUN, and lower Alb levels (all $P<0.05$). In addition, the B/A ratio, S100 β , and cTnI levels at admission and 3 days after admission were higher in the poor prognosis group than in the good prognosis group (all $P<0.05$). Correlation analysis showed that the B/A ratio, S100 β , and cTnI levels at admission and 3 days after admission were correlated with the severity of ACMP and the occurrence of DEACMP (both $P<0.05$). Stepwise logistic regression analysis showed that the elevated B/A ratio [at admission: odds ratio (OR)=1.272, 95% confidence interval (95%CI)=1.028–1.573; on admission day 3: OR=1.170, 95%CI was 0.947–1.463], S100 β (on admission: OR=1.065, 95%CI was 1.007–1.127; on admission day 3: OR=1.112, 95%CI was 1.060–1.165), and cTnI (on admission: OR=1.358, 95%CI was 1.055–1.748; on admission day 3: OR=1.201, 95%CI was 1.008–1.432) at admission and 3 days after admission were all risk factors for DEACMP in patients with ACMP (all $P<0.05$). ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) for the combined prediction of DEACMP occurrence using B/A ratio, S100 β , and cTnI on admission and on admission day 3 were 0.872 and 0.904, respectively. The sensitivities were 95.2% and 85.7%, respectively, and the specificities were 68.8% and 80.3%, respectively. The combined prediction efficacy of the three markers on admission was superior to that of the degree of intoxication and individual detection of the three markers, and the combined prediction efficacy of the three markers on admission day 3 was superior to that of the degree of intoxication, coma duration, and individual prediction of the three markers. Furthermore, the combined detection of the three markers on admission day 3 had a superior predictive efficacy compared to that on admission (all $P<0.05$). **Conclusions** Patients with moderate-to-severe ACMP are at higher risk of developing DEACMP when their early circulating levels of the B/A ratio, S100 β , and cTnI are elevated. Combined detection of these three biomarkers facilitates early screening for DEACMP, with the highest predictive value observed at 3 days after admission.

【Key words】 Blood urea nitrogen/albumin ratio; Central nervous system specific protein S100; Cardiac troponin I; Acute carbon monoxide poisoning; Delayed carbon monoxide encephalopathy

Fund program: Medical Science Research Project of Hebei Province (20232181)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260128-00060

一氧化碳(carbon monoxide, CO)中毒是世界范围内的重大公共卫生问题,在发展中国家尤为突出。CO中毒的全球年发病率为137/百万,病死率为4.6/百万^[1]。在埃及,中毒控制中心的报告指出,2017至2021年,CO中毒占有中毒病例的27.7%^[2]。CO通过缺氧和炎症效应造成不同的组织和器官损害,其与血红蛋白(hemoglobin, Hb)结合亲和力是氧气的240倍,所以CO中毒后血液中氧气运输容量减

少,导致组织缺氧,其中影响最大的是大脑和心脏等高代谢率器官^[3-4]。血尿素氮/白蛋白(blood urea nitrogen/albumin, B/A)比值是一种简单而全面的代谢生物标志物,反映氮平衡、肾功能和整体代谢状态。有研究报道,B/A比值是预测创伤性脑损伤患者病死率的危险因素^[5]。中枢神经特异蛋白S100(central nervous system specific protein S100, S100 β)是由星形胶质细胞分泌的钙结合蛋白,容易通过

血脑屏障迅速进入血液循环。生理状态下,人体 S100 β 含量极低,脑损伤时机体血浆 S100 β 水平会明显升高。因此,临床上 S100 β 常被作为脑损伤的生物标志物,本课题组前期研究显示,重度急性一氧化碳中毒(acute carbon monoxide poisoning, ACMP)患者血浆 S100 β 水平明显升高,可以作为治疗效果的评价指标^[6]。多项研究显示,脑损伤患者的心肌肌钙蛋白 I(cardiac troponin I, cTnI)水平也有所升高,较高的肌钙蛋白水平与亚临床脑血管损伤相关,并可能作为认知障碍的风险标志^[7]。目前临床上关于 B/A 比值、S100 β 、cTnI 三者联合与中重度 ACMP 患者病情及预后关系的研究甚少,本研究通过观察 B/A 比值、S100 β 和 cTnI 水平变化,旨在探讨其与中重度 ACMP 患者病情严重程度及发生一氧化碳中毒迟发性脑病(delayed carbon monoxide encephalopathy, DEACMP)的关系,以期评估病情、改善预后提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象:采用回顾性队列研究方法,选择 2023 年 3 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日在哈励逊国际和平医院住院的中重度 ACMP 患者作为研究对象。

1.1.1 诊断标准:① ACMP:符合中华人民共和国卫生部 GBZ 23—2024《职业性急性一氧化碳中毒诊断标准》^[8];② DEACMP:符合《CO 中毒迟发性脑病诊断与治疗中国专家共识》^[9]诊断标准。

1.1.2 纳入标准:① 诊断为 ACMP;② 年龄 ≥ 18 岁且 < 80 岁;③ 首诊于本院且住院时间 ≥ 3 d;④ 病历资料完整。

1.1.3 排除标准:① 合并急性脑血管病、脑创伤、神经系统感染、癫痫等疾病;② 存在严重心、肺、肾等器官功能障碍;③ 既往有精神疾病、锥体外系及智力障碍等疾病;④ 急性期死亡、治疗过程中处于植物生存状态;⑤ 既往有血液病、自身免疫系统疾病;⑥ 因任何原因拒绝或放弃治疗、随访失联。

1.1.4 伦理学:本研究符合伦理学相关要求,经医院临床医学研究伦理委员会批准(审批号:2022-1-028),患者或家属签署知情同意书。

1.2 资料收集:① 基本资料:记录患者入院时的基本资料,包括性别、年龄、体质量指数、吸烟史、饮酒史、既往病史、生命体征、昏迷时间、中毒至就诊时间等。② 实验室检查:收集患者入院时血糖、C-反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、血乳酸(lactic acid, Lac)、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、白蛋白

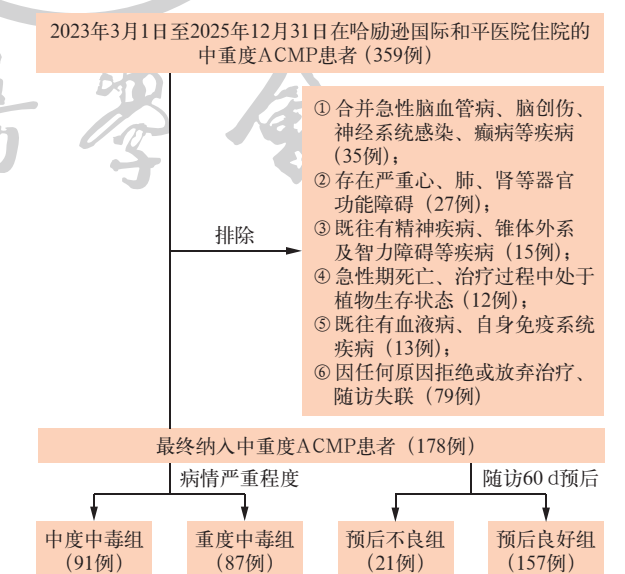
(albumin, Alb)、S100 β 、cTnI 及入院 3 d BUN、Alb、S100 β 、cTnI 等,并计算 B/A 比值。③ 预后:随访 60 d 观察患者预后情况。

1.3 研究分组:根据病情严重程度将患者分为中度中毒组和重度中毒组;根据随访 60 d 内是否出现 DEACMP 将患者分为预后良好组和预后不良组。

1.4 统计学处理:应用 SPSS 27.0 统计软件进行数据分析。对计量资料进行正态性和方差齐性检验,符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用 t 检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数)[$M(Q_1, Q_3)$]表示,组间比较采用秩和检验。计数资料以率表示,采用 χ^2 检验。相关性分析采用 Pearson 相关分析;ACMP 患者发生 DEACMP 的危险因素采用单因素和多因素逐步 Logistic 回归分析,进一步绘制受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)分析 B/A 比值、S100 β 、cTnI 及三者联合检测对 DEACMP 发生的预测价值。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 患者纳入情况(图 1):从 359 例入院患者中进行筛选,最终将符合标准的 178 例中重度 ACMP 患者纳入分析,其中,中度中毒患者 91 例(占 51.1%),重度中毒患者 87 例(占 48.9%)。截至随访 60 d,21 例(占 11.8%)患者发生 DEACMP,157 例(占 88.2%)患者预后良好。



注: B/A 比值为血尿素氮/白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I, ACMP 为急性一氧化碳中毒

图 1 B/A 比值、S100 β 和 cTnI 与中重度 ACMP 患者病情及预后的相关性研究的患者纳入流程

2.2 中度中毒组与重度中毒组的临床资料比较 (表 1): 入院时两组患者在年龄、性别、体质指数、吸烟史、饮酒史、高血压史、糖尿病史、冠心病史、脑血管病史、收缩压、舒张压等方面差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。与中度中毒组相比, 重度中毒组入院时脉搏、呼吸频率更快, 昏迷时间、中毒至就诊时间更长, 血糖、CRP、Lac、BUN 水平更高, Alb 水平更低 (均 $P<0.05$); 此外, 重度中毒组入院时和入院 3 d 的 B/A 比值、S100 β 、cTnI 水平均高于中度中毒组 (均 $P<0.05$)。与入院时相比, 中度中毒组入院 3 d B/A 比值升高, cTnI 水平降低 (均 $P<0.05$), S100 β 无明显变化 ($P>0.05$); 重度中毒组入院 3 d 与入院时的 B/A 比值、S100 β 、cTnI 水平差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。

2.3 预后良好组与预后不良组的临床资料比较 (表 2): 入院时两组患者在年龄、性别、体质指数、

吸烟史、饮酒史、高血压史、糖尿病史、冠心病史、脑血管病史、收缩压、舒张压、脉搏、呼吸频率等方面差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。与预后良好组相比, 预后不良组入院时昏迷时间、中毒至就诊时间更长, 重度中毒患者比例、血糖、CRP、Lac、BUN 水平更高, Alb 水平更低 (均 $P<0.05$); 此外, 预后不良组入院时和入院 3 d 的 B/A 比值、S100 β 、cTnI 水平均高于预后良好组 (均 $P<0.05$)。

2.4 B/A 比值、S100 β 、cTnI 与中重度 ACMP 患者病情严重程度和发生 DEACMP 的相关性分析 (表 3~4): 入院时及入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 与中重度 ACMP 患者病情严重程度和发生 DEACMP 均存在相关性 (均 $P<0.05$)。

2.5 中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的影响因素分析: 单因素 Logistic 回归分析显示 (表 5), 中毒至就诊时间、昏迷时间、中毒程度以及入院时和入院

表 1 中度中毒组与重度中毒组中重度 ACMP 患者的临床资料比较

指标	中度中毒组 (91 例)	重度中毒组 (87 例)	统计量值	P 值
男性 [例 (%)]	46 (50.5)	45 (51.7)	$\chi^2=0.025$	0.875
年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	66.04 $\pm$ 12.74	65.05 $\pm$ 15.20	$t=0.476$	0.635
体质指数 (kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	25.61 $\pm$ 3.31	25.68 $\pm$ 3.89	$t=0.458$	0.647
吸烟史 [例 (%)]	28 (30.8)	27 (31.0)	$\chi^2=0.001$	0.969
饮酒史 [例 (%)]	17 (18.7)	14 (16.1)	$\chi^2=0.275$	0.600
既往病史 [例 (%)]				
高血压	48 (52.7)	42 (48.3)	$\chi^2=0.356$	0.551
糖尿病	13 (14.3)	18 (20.7)	$\chi^2=1.268$	0.260
冠心病	13 (14.3)	7 (8.0)	$\chi^2=1.736$	0.188
脑血管病	20 (22.0)	20 (23.0)	$\chi^2=0.026$	0.872
生命体征				
收缩压 (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	136.39 $\pm$ 21.84	134.00 $\pm$ 24.67	$t=0.687$	0.493
舒张压 (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	78.47 $\pm$ 12.74	81.00 $\pm$ 14.73	$t=-1.226$	0.222
脉搏 (次/min, $\bar{x}\pm s$)	90.04 $\pm$ 14.99	95.43 $\pm$ 17.13	$t=-2.237$	0.027
呼吸频率 [次/min, $M(Q_1, Q_3)$]	20 (18, 20)	20 (18, 24)	$Z=2.899$	0.004
昏迷时间 [h, $M(Q_1, Q_3)$]	1.0 (0.5, 2.0)	9.0 (4.0, 24.0)	$Z=9.164$	<0.001
中毒至就诊时间 [h, $M(Q_1, Q_3)$]	4 (3, 6)	5 (4, 9)	$Z=2.737$	0.006
实验室检查				
血糖 [mmol/L, $M(Q_1, Q_3)$]	7.53 (6.43, 9.21)	8.40 (6.76, 10.90)	$Z=2.364$	0.018
CRP [mg/L, $M(Q_1, Q_3)$]	4.22 (1.34, 10.76)	11.10 (2.39, 32.86)	$Z=3.450$	<0.001
Lac [mmol/L, $M(Q_1, Q_3)$]	2.71 (1.90, 3.50)	3.63 (2.46, 5.80)	$Z=3.808$	<0.001
BUN (mmol/L, $\bar{x}\pm s$)	6.77 $\pm$ 2.37	8.29 $\pm$ 3.10	$t=-3.668$	<0.001
Alb (g/L, $\bar{x}\pm s$)	40.98 $\pm$ 3.40	39.77 $\pm$ 3.85	$t=2.234$	0.027
B/A 比值 [mg/g, $M(Q_1, Q_3)$]				
入院时	4.56 (3.48, 5.33)	5.51 (4.29, 7.12)	$Z=3.781$	<0.001
入院 3 d	5.00 (4.23, 5.92) ^a	5.53 (4.36, 8.09)	$Z=2.430$	0.015
S100 β [μ g/L, $M(Q_1, Q_3)$]				
入院时	0.031 (0.024, 0.046)	0.136 (0.075, 0.223)	$Z=10.401$	<0.001
入院 3 d	0.021 (0.014, 0.037)	0.146 (0.085, 0.253)	$Z=9.083$	<0.001
cTnI [μ g/L, $M(Q_1, Q_3)$]				
入院时	0.53 (0.15, 1.54)	1.67 (0.38, 3.40)	$Z=3.878$	<0.001
入院 3 d	0.28 (0.12, 0.68) ^a	1.57 (0.52, 3.67)	$Z=6.530$	<0.001

注: ACMP 为急性一氧化碳中毒, CRP 为 C-反应蛋白, Lac 为血乳酸, BUN 为血尿素氮, Alb 为白蛋白, B/A 比值为血尿素氮/白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I; ^a 与本组入院时比较, $P<0.05$; 1 mmHg=0.133 kPa

表 2 预后良好组与预后不良组中重度 ACMP 患者的临床资料比较

指标	预后不良组 (21 例)	预后良好组 (157 例)	统计量值	P 值
男性〔例 (%)〕	9 (42.9)	82 (52.2)	$\chi^2=0.651$	0.420
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	69.33 $\pm$ 9.20	65.06 $\pm$ 14.43	$t=1.322$	0.188
体质量指数 (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	25.29 $\pm$ 3.53	25.79 $\pm$ 3.61	$t=-0.601$	0.549
吸烟史〔例 (%)〕	4 (19.0)	51 (32.5)	$\chi^2=1.566$	0.211
饮酒史〔例 (%)〕	6 (28.6)	25 (15.9)	$\chi^2=2.060$	0.151
既往病史〔例 (%)〕				
高血压	11 (52.4)	79 (50.3)	$\chi^2=0.032$	0.859
糖尿病	6 (28.6)	25 (15.9)	$\chi^2=2.060$	0.151
冠心病	3 (14.3)	17 (10.8)	$\chi^2=0.222$	0.637
脑血管病	8 (38.1)	32 (20.4)	$\chi^2=3.336$	0.068
生命体征				
收缩压 (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	135.43 $\pm$ 29.97	135.20 $\pm$ 22.41	$t=0.043$	0.966
舒张压 (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	84.00 $\pm$ 14.72	79.13 $\pm$ 13.58	$t=1.527$	0.129
脉搏 (次/min, $\bar{x} \pm s$)	93.67 $\pm$ 22.11	92.55 $\pm$ 16.76	$t=0.276$	0.783
呼吸频率〔次/min, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	20 (16, 22)	20 (18, 22)	$Z=0.139$	0.890
昏迷时间〔h, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	16 (6, 35)	2 (1, 7)	$Z=-5.194$	<0.001
中毒程度〔例 (%)〕			$\chi^2=16.489$	<0.001
中度中毒	2 (9.5)	89 (56.7)		
重度中毒	19 (90.5)	68 (43.3)		
中毒至就诊时间〔h, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	6 (5, 8)	4 (3, 6)	$Z=-2.753$	0.006
实验室检查				
血糖〔mmol/L, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	9.80 (7.74, 12.16)	7.83 (6.51, 9.41)	$Z=-2.821$	0.005
CRP〔mg/L, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	8.81 (4.75, 36.88)	5.31 (1.37, 18.58)	$Z=-2.801$	0.005
Lac〔mmol/L, $M(Q_1, Q_3)$ 〕	3.70 (3.05, 5.06)	2.85 (2.00, 4.24)	$Z=-2.809$	0.005
BUN (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	9.25 $\pm$ 3.76	7.28 $\pm$ 2.63	$t=3.040$	0.003
Alb (g/L, $\bar{x} \pm s$)	38.62 $\pm$ 3.52	40.56 $\pm$ 3.60	$t=-2.323$	0.021
B/A 比值〔mg/g, $M(Q_1, Q_3)$ 〕				
入院时	6.51 (4.14, 7.41)	4.78 (3.70, 6.06)	$Z=2.915$	0.004
入院 3 d	7.08 (4.75, 8.37)	5.09 (4.22, 6.11)	$Z=-3.682$	<0.001
S100 β 〔 μ g/L, $M(Q_1, Q_3)$ 〕				
入院时	0.156 (0.069, 0.234)	0.047 (0.028, 0.113)	$Z=-4.354$	<0.001
入院 3 d	0.253 (0.125, 0.347)	0.038 (0.016, 0.117)	$Z=-5.378$	<0.001
cTnI〔 μ g/L, $M(Q_1, Q_3)$ 〕				
入院时	1.98 (0.36, 4.16)	1.02 (0.18, 2.06)	$Z=2.501$	0.012
入院 3 d	3.56 (0.54, 5.26)	0.49 (0.14, 1.48)	$Z=-4.446$	<0.001

注: ACMP 为急性一氧化碳中毒, CRP 为 C-反应蛋白, Lac 为血乳酸, BUN 为血尿素氮, Alb 为白蛋白, B/A 比值为血尿素氮/白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I; 1 mmHg=0.133 kPa

表 3 入院时和入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 与中重度 ACMP 患者病情严重程度的相关性分析

指标	r 值	P 值	指标	r 值	P 值
入院时 B/A 比值	0.817	<0.001	入院 3 d B/A 比值	0.816	<0.001
入院时 S100 β	0.841	<0.001	入院 3 d S100 β	0.815	<0.001
入院时 cTnI	0.793	<0.001	入院 3 d cTnI	0.776	<0.001

注: B/A 比值为血尿素氮/白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I, ACMP 为急性一氧化碳中毒

表 4 入院时和入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 与中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的相关性分析

指标	r 值	P 值	指标	r 值	P 值
入院时 B/A 比值	0.815	<0.001	入院 3 d B/A 比值	0.827	<0.001
入院时 S100 β	0.832	<0.001	入院 3 d S100 β	0.864	<0.001
入院时 cTnI	0.757	<0.001	入院 3 d cTnI	0.783	<0.001

注: B/A 比值为血尿素氮/白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I, ACMP 为急性一氧化碳中毒, DEACMP 为一氧化碳中毒迟发性脑病

3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 是中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的影响因素 (均 $P<0.05$)。将上述影响因素进一步分析, 排除混杂因素, 纳入多因素 Logistic 回归分析 (表 6), 结果显示, 中毒程度、昏迷时间以及入院时和入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 升高与中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 密切相关, 是重要的危险因素 (均 $P<0.05$)。

2.6 B/A 比值、S100 β 、cTnI 及三者联合对中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的预测价值 (表 7; 图 2): ROC 曲线分析显示, 中重度 ACMP 患者入院时 B/A 比值、S100 β 、cTnI 三者联合预测 DEACMP 发生的效能优于中毒程度及 B/A 比值、S100 β 、cTnI 单独预测; 入院 3 d 三者联合预测的效能优于中毒程度、昏迷时间及 B/A 比值、S100 β 、cTnI 单独预测; 且

表 5 中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的单因素 Logistic 回归分析													
变量	β 值	s_e	χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI	变量	β 值	s_e	χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
男性	-0.377	0.469	0.646	0.422	0.686	0.274 ~ 1.720	呼吸频率	0.052	0.051	1.035	0.309	1.053	0.953 ~ 1.165
年龄	0.025	0.019	1.732	0.188	1.025	0.998 ~ 1.063	收缩压	0.000	0.010	0.002	0.966	1.000	0.981 ~ 1.020
体质量指数	-0.040	0.066	0.363	0.547	0.961	0.845 ~ 1.094	舒张压	0.027	0.018	2.331	0.127	1.027	0.992 ~ 1.064
中毒至就诊时间	0.121	0.058	4.256	0.039	1.128	1.006 ~ 1.265	中毒程度	2.520	0.509	42.394	<0.001	0.036	0.013 ~ 0.099
高血压史	-0.045	0.465	0.009	0.923	0.956	0.384 ~ 2.380	昏迷时间	0.055	0.015	10.980	<0.001	12.434	2.800 ~ 55.216
糖尿病史	0.971	0.512	3.599	0.058	2.640	0.968 ~ 7.198	入院时 B/A 比值	0.326	0.101	10.385	0.001	1.386	1.136 ~ 1.690
冠心病史	0.252	0.672	0.141	0.707	1.287	0.345 ~ 4.804	入院 3 d B/A 比值	0.347	0.090	14.991	<0.001	1.415	1.187 ~ 1.687
脑血管病史	-0.877	0.491	3.190	0.074	2.404	0.918 ~ 6.294	入院时 S100 β	0.089	0.025	12.670	<0.001	1.094	1.041 ~ 1.149
吸烟史	0.127	0.494	0.066	0.797	1.135	0.431 ~ 2.991	入院 3 d S100 β	0.114	0.022	26.503	<0.001	1.121	1.073 ~ 1.171
饮酒史	0.125	0.595	0.044	0.834	1.133	0.353 ~ 3.633	入院时 cTnI	0.359	0.116	9.610	0.002	1.431	1.141 ~ 1.796
脉搏	0.004	0.014	0.088	0.766	1.004	0.976 ~ 1.033	入院 3 d cTnI	0.289	0.088	10.868	<0.001	1.335	1.124 ~ 1.586

注: ACMP 为急性一氧化碳中毒, DEACMP 为一氧化碳中毒迟发性脑病, B/A 比值为血尿素氮 / 白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间

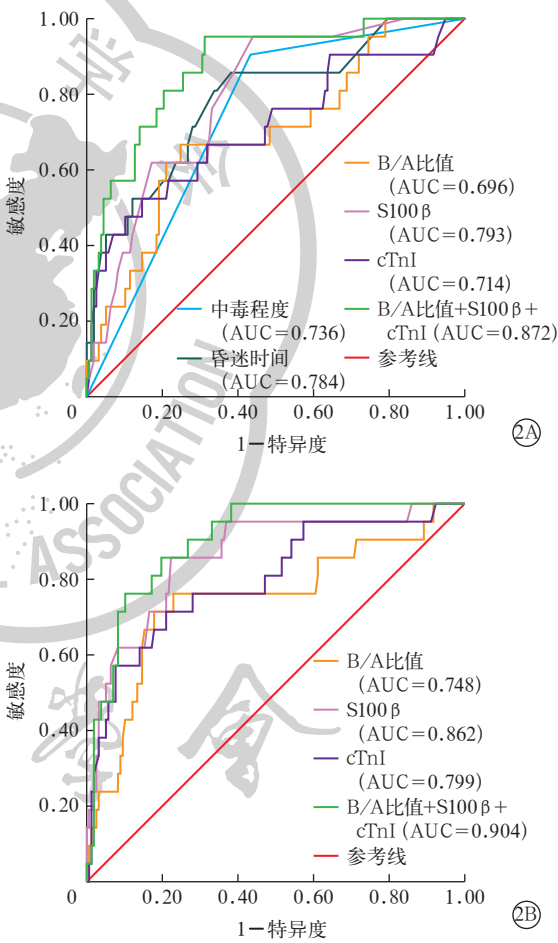
入院 3 d 三者联合预测的效能优于入院时 (均 $P < 0.05$)。

表 6 中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的多因素 Logistic 回归分析						
变量	β 值	s_e	χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
入院时 B/A 比值	0.240	0.108	4.914	0.027	1.272	1.028 ~ 1.573
入院 3 d B/A 比值	0.163	0.111	2.159	0.042	1.170	0.947 ~ 1.463
入院时 S100 β	0.063	0.029	4.917	0.027	1.065	1.007 ~ 1.127
入院 3 d S100 β	0.106	0.024	19.319	<0.001	1.112	1.060 ~ 1.165
入院时 cTnI	0.306	0.129	5.641	0.018	1.358	1.055 ~ 1.748
入院 3 d cTnI	0.184	0.090	4.187	0.041	1.201	1.008 ~ 1.432
中毒程度	1.788	0.811	4.868	0.027	5.980	1.221 ~ 29.286
中毒至就诊时间	0.045	0.062	0.531	0.466	1.046	0.926 ~ 1.183
昏迷时间	0.034	0.014	6.112	0.013	1.035	1.007 ~ 1.064
常数项	-5.865	1.492	15.477	<0.001	0.003	

注: ACMP 为急性一氧化碳中毒, DEACMP 为一氧化碳中毒迟发性脑病, B/A 比值为血尿素氮 / 白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I, OR 为优势比, 95%CI 为 95% 置信区间; 空白代表无此项

表 7 各指标对中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的预测价值						
变量	AUC	P 值	95%CI	最佳截断值	敏感度 (%)	特异度 (%)
中毒程度	0.736	<0.001	0.639 ~ 0.832		90.5	56.7
昏迷时间	0.784	<0.001	0.675 ~ 0.893	15.5 h	85.7	61.8
入院时 B/A 比值	0.696	0.004	0.572 ~ 0.819	6.04 mg/g	66.7	75.2
入院 3 d B/A 比值	0.748	<0.001	0.619 ~ 0.877	6.575 mg/g	71.4	82.2
入院时 S100 β	0.793	<0.001	0.704 ~ 0.881	0.165 μ g/L	95.2	56.1
入院 3 d S100 β	0.862	<0.001	0.774 ~ 0.950	0.189 μ g/L	85.7	77.7
入院时 cTnI	0.714	0.001	0.579 ~ 0.848	2.525 μ g/L	52.4	85.4
入院 3 d cTnI	0.799	<0.001	0.688 ~ 0.910	1.80 μ g/L	71.4	79.0
入院时 B/A 比值 + S100 β + cTnI	0.872	<0.001	0.794 ~ 0.950		95.2	68.8
入院 3 d B/A 比值 + S100 β + cTnI	0.904	<0.001	0.849 ~ 0.958		85.7	80.3

注: ACMP 为急性一氧化碳中毒, DEACMP 为一氧化碳中毒迟发性脑病, B/A 比值为血尿素氮 / 白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I, AUC 为曲线下面积, 95%CI 为 95% 置信区间; 空白代表无此项



注: ACMP 为急性一氧化碳中毒, DEACMP 为一氧化碳中毒迟发性脑病, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, B/A 比值为血尿素氮 / 白蛋白比值, S100 β 为中枢神经特异蛋白 S100, cTnI 为心肌肌钙蛋白 I, AUC 为曲线下面积

图 2 入院时 (A) 及入院 3 d (B) 各影响因素预测中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的 ROC 曲线

3 讨论

CO 通过竞争性结合 Hb, 形成 COHb, 进而降低 Hb 携氧能力和组织氧分压, 造成组织缺氧^[9]。ACMP 患者尤其是中重度患者易发生 DEACMP, 给

社会和家庭造成沉重负担。目前 DEACMP 的发病机制尚无统一观点,因此 ACMP 患者早期病情评估和发生 DEACMP 的早期判断一直是临床医师的关注重点。基于此,本研究证实,B/A 比值、S100 β 和 cTnI 联合检测在评估中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 方面具有潜在应用价值;此外,预后不良组患者的 B/A 比值、S100 β 和 cTnI 水平明显高于预后良好组,提示三者水平升高对 DEACMP 发生有一定预测价值;且入院时和入院 3 d 三者水平升高均是中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的危险因素,ROC 曲线分析提示以入院 3 d 三者联合检测的预测价值最佳。

Alb 是反映人体营养状况的指标,也具有抗氧化、抗炎等多种生理功能^[10]。BUN 是评估患者肾功能、营养和体液状态的重要指标,是代谢性疾病和营养状况的重要标志物,在急性和危重患者的预后评估和病死率预测中发挥着关键作用,CO 中毒后 B/A 比值升高为中毒后肾前性灌注不足与蛋白分解亢进的结果。CO 致全身缺氧、微循环障碍,引发有效循环血量不足,肾灌注下降致 BUN 排泄减少;同时缺氧应激致蛋白质分解代谢增强,Alb 合成受抑,二者共同提高 B/A 比值,间接反映机体缺氧程度和内环境紊乱。B/A 比值广泛应用于心血管疾病领域^[11],在脑血管方面,吕继乐等^[12]发现,脑梗死患者 B/A 比值升高;将 B/A 比值纳入老年心脑血管疾病临床风险评估,也可能有助于提高对高危患者的识别^[13]。作为与急性缺血性脑卒中有相似病理机制^[14]的 ACMP 患者,本研究将 B/A 比值作为观察指标,同样发现,ACMP 患者 B/A 比值升高,重度中毒组高于中度中毒组,预后不良组高于预后良好组。有研究表明,B/A 比值与 2 型糖尿病合并缺血性脑卒中患者的住院病死率存在相关性^[15];而本研究也提示 B/A 比值与 ACMP 患者的病情严重程度和 DEACMP 发生存在相关性。孙永等^[16]发现,B/A 比值与急性缺血性脑卒中患者 1 年全因病死率有关,对临床风险分层有一定预测价值。本研究也显示,B/A 比值是 ACMP 患者发生 DEACMP 的危险因素,ROC 曲线进一步分析显示,入院时和入院 3 d B/A 比值对 DEACMP 的发生有预测价值。

S100 β 是一种低分子量(10 500)钙结合蛋白,与颅内损伤的存在密切相关^[17]。脑损伤后,S100 β 立即从受损的神经胶质细胞中释放出来,在创伤后 30 min 内即可在血液中检测到^[18]。S100 β 已成为脑功能障碍的评价指标,与神经损伤密切相关^[19]。

本研究监测不同程度 ACMP 患者 S100 β 水平,同时进行纵向分析,动态监测入院时和入院 3 d 的变化,结果显示,重度中毒组患者入院 3 d B/A 比值、S100 β 、cTnI 水平略高于入院时,考虑与治疗后脑损伤有所减轻,而部分重度中毒患者病情程度仍呈进展趋势有关。有研究显示,S100 β 在急性脑卒中患者预后和评估治疗效果方面有一定临床价值^[20]。本研究则显示,重度中毒患者 S100 β 水平明显高于中度中毒患者,与病情程度存在相关性,与以往的研究结果相符,提示其可以评估病情严重程度。ACMP 患者一旦发生 DEACMP 预后极差,本研究显示,发生 DEACMP 患者的 S100 β 水平明显高于未发生 DEACMP 患者;多因素回归分析显示,S100 β 水平升高是预后不良的危险因素;ROC 曲线分析进一步提示,入院时及入院 3 d S100 β 预测 DEACMP 发生的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为 0.793 和 0.862,表明早期检测 S100 β 对 ACMP 的预后判断有临床意义。

以往公认 cTnI 升高为心肌继发性缺氧损伤的结果,CO 与心肌线粒体结合致能量代谢障碍,加之全身缺氧、冠状动脉痉挛,引发心肌细胞水肿、凋亡,肌钙蛋白释放,其升高提示心肌损伤。但近年来有研究显示,升高的 cTnI 水平是心脑相互作用的关键标志物^[21]。从机制而言,脑损伤激活下丘脑-垂体-肾上腺轴,导致儿茶酚胺介导的心肌细胞钙超载(TnI 渗漏)和潜在的铁超载炎症反应是动脉硬化形成的机制之一^[22]。Xu 等^[23]研究发现,血清 TnI 对围产期窒息后新生儿缺氧缺血性脑病有较好的预测价值。多数研究表明 TnI 在预测脑血管疾病患者预后方面有临床价值^[24-25],因此 cTnI 升高更与各因素致脑损伤严重程度及预后相关,是多器官受累的客观体现。正如本研究显示,CO 中毒患者 cTnI 水平升高是预后的危险因素,且与患者病情严重程度和 DEACMP 的发生存在相关性。本研究进一步分析入院时及入院 3 d cTnI 水平在不同中毒程度和不同预后患者之间的差异,结果显示,重度中毒组入院时和入院 3 d cTnI 水平均高于中度中毒组,预后不良组入院时和入院 3 d cTnI 水平均高于预后良好组;结合回归分析结果显示,cTnI 水平升高是中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 的危险因素;ROC 曲线进一步显示,入院时及入院 3 d cTnI 水平预测 DEACMP 发生的 AUC 分别为 0.714 和 0.799,可作为判断预后的指标。

临床上常采用多指标联合检测或构建预测模型的方式提升诊断效能。研究表明,早期 B/A 比值、S100 β 及 cTnI 水平对评估中重度 ACMP 患者病情严重程度及预后均有临床价值;三者均可作为病情严重程度的评估指标;B/A 比值、S100 β 、cTnI 均为 DEACMP 发生的独立危险因素,三者联合检测的预测效能显著优于单一指标,且入院 3 d 检测效能优于入院即刻,对预警中重度 ACMP 患者 DEACMP 发生风险具有更高的临床价值,可为临床医师评估病情、预判转归提供依据,并及时指导治疗方案优化调整。DEACMP 临床症状隐匿、缺乏特征性改变,且意识障碍患者病情难以评估,容易被忽视从而延误治疗。在中重度 ACMP 患者中常规筛查 B/A 比值、S100 β 、cTnI 水平,可帮助临床医师早期识别病情、及时干预,改善患者远期预后;同时可早期动态评估病情、提前预警风险,有效降低漏诊及误诊发生率。

但本研究尚存在一定的局限性:① 本研究为单中心回顾性小样本研究,仅代表本研究人群的特征,仍需多中心大样本临床研究进一步证实;② 本研究未对 ACMP 进行昏迷时间分类,未对 DEACMP 进行临床表现分类,未探讨 B/A 比值、S100 β 和 cTnI 与不同昏迷时间和 DEACMP 不同临床表现的相关性,需要开展更多亚组分析研究;③ 本研究缺乏患者预后的长期随访数据,未来需延长随访时间来进一步验证 B/A 比值、S100 β 和 cTnI 对长期神经功能的预测价值,为更早、更快地诊断和预测中重度 ACMP 患者发生 DEACMP 及改善预后提供可靠的参考指标。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 朱保月: 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;朱倩倩: 采集数据、分析/解释数据、统计分析;杜月茹: 实施研究、采集数据、分析/解释数据;肖青勉: 实施研究、采集数据、对文章的知识性内容作批评性审阅;王展展: 对文章的知识性内容作批评性审阅、获取研究经费、指导;齐洪娜: 采集数据、分析/解释数据、统计分析、对文章的知识性内容作批评性审阅

参考文献

- [1] Mattiuzzi C, Lippi G. Worldwide epidemiology of carbon monoxide poisoning[J]. Hum Exp Toxicol, 2020, 39(4): 387–392. DOI: 10.1177/0960327119891214.
- [2] Rageh OE, Sabra HK, Alammar AA, et al. Profile and outcomes of acute poisoning in the toxicology treatment and control center at Tanta University Hospital, Egypt[J]. BMC Pharmacol Toxicol, 2023, 24(1): 6. DOI: 10.1186/s40360-023-00650-5.
- [3] 刘安平, 姜树恒, 孙田静, 等. 铁死亡: 急性一氧化碳中毒致心肌损伤的潜在治疗新靶点[J]. 中华危重病急救医学, 2025, 37(4): 407–412. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20241021-00862.
- [4] Al-Matrouk A, Al-Hemoud A, Al-Hasan M, et al. Carbon monoxide poisoning in Kuwait: a five-year, retrospective, epidemiological study[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(16): 8854. DOI: 10.3390/ijerph18168854.
- [5] Guo YR, Leng YX, Gao CJ. Blood urea nitrogen-to-albumin ratio may predict mortality in patients with traumatic brain injury from the

- MIMIC database: a retrospective study[J]. Bioengineering (Basel), 2024, 11(1): 49. DOI: 10.3390/bioengineering11010049.
- [6] 杜月茹, 杜艳雪, 王璞, 等. 经颅直流电刺激对急性重度一氧化碳中毒患者神经损伤标志物及预后的影响[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2023, 41(1): 39–43. DOI: 10.3760/cma.j.cn121094-20211027-00522.
- [7] Zonneveld MH, Abbel D, le Cessie S, et al. Cardiac troponin, cognitive function, and dementia: a systematic review[J]. Aging Dis, 2023, 14(2): 386–397. DOI: 10.14336/AD.2022.0818.
- [8] 国家卫生健康委员会. 职业性急性一氧化碳中毒诊断标准: GBZ 23—2024[S/OL]. [2025-12-16]. <https://www.nhc.gov.cn/wjw/pyl/202407/1bd73cd1c6f44177b473888d6a9f83c9.shtml>.
- [9] 中国医师协会神经内科医师分会脑与脊髓损害专业委员会. CO 中毒迟发性脑病诊断与治疗中国专家共识[J]. 中国神经免疫学和神经病学杂志, 2021, 28(3): 173–179. DOI: 10.3969/j.issn.1006-2963.2021.03.001.
- [10] Gremese E, Bruno D, Varriano V, et al. Serum albumin levels: a biomarker to be repurposed in different disease settings in clinical practice[J]. J Clin Med, 2023, 12(18): 6017. DOI: 10.3390/jcm12186017.
- [11] Zhu Y, Sasmita BR, Hu X, et al. Blood urea nitrogen for short-term prognosis in patients with cardiogenic shock complicating acute myocardial infarction[J]. Int J Clin Pract, 2022, 2022: 9396088. DOI: 10.1155/2022/9396088.
- [12] 吕继乐, 雷上, 吕余静, 等. 急性穿支动脉型脑梗死患者病情进展及短期预后的预测因素分析[J]. 中国脑血管病杂志, 2025, 22(6): 373–382. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2025.06.002.
- [13] Li L, Li CB, Zhu J. Nonlinear relationship between blood urea nitrogen to albumin ratio and mortality risk in older patients with cerebrovascular and cardiovascular diseases: an NHANES analysis[J]. PLoS One, 2025, 20(10): e0334538. DOI: 10.1371/journal.pone.0334538.
- [14] 急性一氧化碳中毒诊治专家共识组. 急性一氧化碳中毒诊治专家共识[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2022, 44(6): 481–486. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.001.
- [15] Wang P, Jiang SY, Hua YQ, et al. Relationship between the blood urea nitrogen to serum albumin ratio and in-hospital mortality in patients with type 2 diabetes mellitus complicated with ischemic stroke[J]. PLoS One, 2025, 20(9): e0330168. DOI: 10.1371/journal.pone.0330168.
- [16] 孙永, 史兆博, 田雪, 等. 血清尿素氮/白蛋白比值对急性缺血性卒中患者全因死亡率的预测价值[J]. 中华医学杂志, 2025, 105(37): 3332–3336. DOI: 10.3760/cma.j.cn12137-20250521-01238.
- [17] 林烈桔, 麦朗君, 陈光, 等. 血清和肽素与 S100B 蛋白联合尿酸水平预测创伤性脑损伤患儿预后的价值[J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32(5): 590–594. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200129-00146.
- [18] Ercole A, Thelin EP, Holst A, et al. Kinetic modelling of serum S100b after traumatic brain injury[J]. BMC Neurol, 2016, 16: 93. DOI: 10.1186/s12883-016-0614-3.
- [19] 邓晰明, 邹琪, 郑胜永, 等. 安宫牛黄丸对脓毒症大鼠脑功能保护作用的机制研究[J]. 中华危重病急救医学, 2021, 33(8): 979–984. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210506-00659.
- [20] Biomarkers of Brain Injury Investigator Study Group. The association between serum S100 β levels and prognosis in acute stroke patients after intravenous thrombolysis: a multicenter prospective cohort study[J]. BMC Med, 2024, 22(1): 304. DOI: 10.1186/s12916-024-03517-6.
- [21] Coppalini G, Salvagno M, Peluso L, et al. Cardiac injury after traumatic brain injury: clinical consequences and management[J]. Neurocrit Care, 2024, 40(2): 477–485. DOI: 10.1007/s12028-023-01777-3.
- [22] Wang L, Ge HM, Wang ZY, et al. Troponin I/albumin (TBI) index: a new tool for the prediction of mortality in hospitalized patients with traumatic brain injury[J]. Int J Surg, 2025, 111(10): 7350–7354. DOI: 10.1097/JS9.0000000000002864.
- [23] Xu ZE, Mbugi J, Hu Y, et al. Serum troponin I: a potential biomarker of hypoxic-ischemic encephalopathy in term newborns[J]. Childs Nerv Syst, 2022, 38(2): 295–301. DOI: 10.1007/s00381-021-05368-5.
- [24] 李永磊, 黄建华, 杨玉升, 等. 肌钙蛋白 I 水平与脑出血患者预后的相关性[J]. 心脑血管病防治, 2021, 21(3): 293–295. DOI: 10.3969/j.issn.1009-816x.2021.03.024.
- [25] 常嵘, 张进巧, 高攀, 等. 超敏肌钙蛋白 I 联合临床特征预测老年急性缺血性脑梗死患者短期预后的价值[J]. 医学临床研究, 2023, 40(3): 348–351. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7171.2023.03.008.

(收稿日期: 2026-01-28)

(本文编辑: 张耘菲)