

• 论著-临床研究 •

呼气末二氧化碳动态变化与亚低温治疗的
心肺复苏患者神经预后的关系研究卢安阳¹ 吕汝琦¹

[摘要] 目的:探讨呼气末二氧化碳(ETCO₂)动态变化与接受亚低温治疗(TH)的心肺复苏患者神经预后的关系。方法:回顾性选择 2020 年 1 月—2022 年 1 月我院收治的 172 例接受 TH 的心肺复苏患者,根据格拉斯哥昏迷量表(GCS)评分分为轻型昏迷组(6~7 分,47 例)、中型昏迷组(4~5 分,79 例)和重型昏迷组(≤3 分,46 例),根据格拉斯哥-匹兹堡脑功能表现分级(CPC)评分分为神经预后良好组(1~2 级,62 例),神经预后不良组(3~5 级,110 例)。分别于 TH 治疗前(T₀)、治疗 12 h(T₁)、治疗 24 h(T₂)监测 ETCO₂,通过多因素 logistic 回归分析影响 TH 心肺复苏患者神经预后的因素,受试者工作特征曲线(ROC)分析 ETCO₂ 预测 TH 心肺复苏患者神经预后的价值。结果:TH 治疗后 ETCO₂ 逐渐增加(P<0.01),重型昏迷组 T₁、T₂ 时 ETCO₂ 低于中型昏迷组和轻型昏迷组(P<0.05),神经预后不良组 T₁、T₂ 时 ETCO₂ 低于神经预后良好组(P<0.01)。恢复自主循环时间、重型昏迷是 TH 心肺复苏患者神经预后不良的危险因素(P<0.01),T₂ ETCO₂ 是保护因素(P<0.01)。T₂ ETCO₂ 预测 TH 心肺复苏患者神经预后不良的曲线下面积为 0.769(95% CI:0.698~0.829),灵敏度为 77.27%,特异度为 77.42%。结论:低 ETCO₂ 与 TH 心肺复苏患者昏迷程度加重以及神经预后不良有关,可作为预测神经预后的指标。

[关键词] 呼气末二氧化碳;亚低温;心肺复苏;脑复苏;预后

DOI:10.13201/j.issn.1009-5918.2022.08.002

[中图分类号] R459.7 **[文献标志码]** A

Study on the relationship between dynamic change of end-tidal carbon dioxide concentration in the expired air and neurological prognosis in cardiopulmonary resuscitation patients treated with therapeutic hypothermia

LU Anyang LV Ruqi

(Department of Emergency Medicine, Mianyang Hospital Affiliated to School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Mianyang Central Hospital, Mianyang, Sichuan, 621000, China)

Corresponding author: LV Ruqi, E-mail: 260919328@qq.com

Abstract Objective: To investigate the relationship between dynamic change of end-tidal carbon dioxide concentration in the expired air(ETCO₂) and neurological prognosis in patients undergoing therapeutic hypothermia (TH) during cardiopulmonary resuscitation(CPR). **Methods:** One hundred and seventy-two patients with cardiopulmonary resuscitation patients who received TH and admitted to our hospital from January 2020 to January 2022 were retrospectively selected. According to the Glasgow coma scale(GCS) score these patients were divided into light coma group(6 to 7 points, 47 cases), medium coma group(4 to 5 points, 79 cases), heavy coma group(≤3 points, 46 cases), according to the Glasgow-Pittsburgh brain function performance classification(CPC) score they were divided into neural good prognosis groups(grade 1 to 2, 62 cases), poor neurological prognosis group(grade 3 to 5, 110 cases). ETCO₂ was monitored before treatment(T₀), 12 h(T₁) and 24 h(T₂) after TH in patients with TH CPR. Multivariate logistic regression was used to analyze the factors affecting the neurological prognosis of patients with TH CPR, and receiver operating characteristic curve(ROC) was used to analyze the value of ETCO₂ in predicting the neurological prognosis of patients with TH CPR. **Results:** After TH treatment, ETCO₂ increased gradually(P<0.01). The ETCO₂ of severe coma group at T₁ and T₂ was lower than that of moderate coma group and mild coma group(P<0.05). The ETCO₂ of poor neurological prognosis group at T₁ and T₂ was

¹电子科技大学医学院附属绵阳医院·绵阳市中心医院急诊医学科(四川绵阳,621000)

通信作者:吕汝琦,E-mail:260919328@qq.com

lower than that of good neurological prognosis group ($P < 0.01$). Recovery time of spontaneous circulation and severe coma were risk factors for poor neurological prognosis in patients with TH CPR ($P < 0.01$), while T₂ ET-CO₂ was protective factor ($P < 0.01$). The area under the curve for T₂ ET-CO₂ to predict poor neurological prognosis in patients with cardiopulmonary resuscitation who received TH was 0.769 (95% CI: 0.698–0.829), with a sensitivity of 77.27% and specificity of 77.42%. **Conclusion:** Low ET-CO₂ is associated with worsening coma degree and poor neurological prognosis in patients with cardiopulmonary resuscitation who received TH, which can be used as a predictor of neurological prognosis.

Key words end-tidal carbon dioxide concentration in the expired air; therapeutic hypothermia; cardiopulmonary resuscitation; brain recovery; prognosis

院外心脏停搏心肺复苏自主循环恢复后入住重症监护病房的患者中,超过 80% 因缺氧缺血性脑损伤而昏迷,其中 1/3~1/2 的患者在出院前死亡^[1],死亡患者中多数因不良神经系统结果而停止治疗^[2]。亚低温治疗(therapeutic hypothermia, TH)是心肺复苏后昏迷患者目标温度管理的一种,通过减少脑细胞氧气和葡萄糖消耗降低大脑代谢,并通过稳定酶促反应调节缺血再灌注诱导的炎症反应,可提高心脏停搏后昏迷患者总体生存率,改善神经预后^[3],但并非所有 TH 患者均可获得良好的神经预后,准确评估 TH 脑复苏后神经预后对改善临床治疗策略,减少不必要的维持生命治疗有重要的意义。呼气末二氧化碳(end-tidal carbon dioxide concentration in the expired air, ET-CO₂)是评估新陈代谢、循环和呼吸功能的一种无创监测器,主要用于评估心肺复苏期间是否进行了有效心脏按压^[4],ET-CO₂ 增加是心肺复苏后自主循环恢复的可靠指标,并与心脏停搏患者预后有关^[5]。ET-CO₂ 是否可用于评估接受 TH 的心肺复苏患者脑复苏结果尚未见报道,鉴于此,本研究旨在评估 ET-CO₂ 与 TH 心肺复苏后患者脑复苏结果和神经预后的关系,以期为急诊临床工作提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性选择 2020 年 1 月—2022 年 1 月我院收治的 172 例心肺复苏患者,其中男 102 例,女 70 例;年龄 31~70 岁,平均(51.05±10.06)岁;自主循环恢复时间 5~12 min,平均(7.05±2.03) min。纳入标准:①心肌梗死引起的院外心脏停搏,体外心肺复苏后自主循环恢复;②复苏后格拉斯哥昏迷量表(GCS)评分≤8 分;③接受 TH 治疗;④年龄 18~70 周岁。排除标准:①既往脑卒中、颅脑创伤、脊髓病变、植物状态;②住院 72 h 内死亡患者;③临床资料缺失;④失血性休克、严重心肺疾病等 TH 治疗禁忌证。根据 GCS 评分分为轻型昏迷组(6~7 分)47 例、中型昏迷组(4~5 分)79 例,重型昏迷组(≤3 分)46 例^[6]。本研究经我院伦理委员会批准(No: S20021)

1.2 临床治疗以及 ET-CO₂ 监测

所有患者自主循环恢复后立即入住 EICU,给

予心电监护,气管插管机械通气,模式:SIMV,呼吸速率:10~12 次/min,潮气量:8~10 mL/kg, PEEP:3~5 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa),氧浓度 21%~50%,维持呼吸和循环稳定,并给予改善脑代谢、预防感染、纠正酸碱失衡,电解质紊乱等基础支持治疗。在此基础上进行 TH 治疗,静脉滴注氯丙嗪 50 mg+异丙嗪 50 mg+250 mL 生理盐水,进入冬眠状态后采用冰毯、冰帽以 0.5~1.0℃/h 速度降温,监测肛温,目标体温降至 32~34℃,持续治疗 24 h,治疗结束后逐渐复温。便携式二氧化碳分析仪(迈瑞 SV300)置于气管内导管和呼吸机 Y 形管的连接处,测量 ET-CO₂,记录 TH 治疗前(T₀)、治疗 12 h(T₁)、治疗 24 h(T₂) ET-CO₂。

1.3 神经预后评估以及相关资料收集

出院前采用格拉斯哥-匹兹堡脑功能表现分级(cerebral performance category, CPC)评分评价神经预后。1 分,脑功能完好;2 分,中度脑功能残障;3 分,严重脑功能残障;4 分,昏迷与植物状态;5 分,脑死亡或传统标准认定的死亡。1~2 分为神经功能预后良好(神经预后良好组),3~5 分为神经功能预后不良(神经预后不良组)^[7]。神经预后良好组 62 例,神经预后不良组 110 例。收集患者年龄、性别、心脏停搏原因、基础疾病、APACHE II 评分、昏迷程度、机械通气时间、机械通气参数、超声心动图指标[左室射血分数(LVEF)、二尖瓣舒张早期血流峰值(E)/舒张晚期血流峰值(A)比值]、EICU 住院时间等。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 22.00 统计学软件进行数据分析,ET-CO₂ 符合正态分布(Kolmogorov-Smirnov 检验)和方差齐性(levene 检验)以 $\bar{X} \pm S$ 表示,不同时间比较采用重复测量方差分析,两组间比较采用独立样本 *t* 检验。不符合正态分布经自然对数转换后采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示采用非参数检验。计数资料以率(%)表示,采用 χ^2 检验。多因素 logistic 回归分析影响 TH 心肺复苏患者神经预后的因素。受试者工作特征曲线(ROC)分析 ET-CO₂ 预测 TH 心肺复苏患者神经预后的价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同昏迷程度患者 ETCO₂ 变化和差异

3 组 ETCO₂ 之间差异有统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 1002.352, P < 0.01$); TH 治疗后 ETCO₂ 逐渐增加, 差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 715.326, P < 0.01$); 各组间存在交互效应, 差异有统计学意义 ($F_{\text{交互}} = 309.652, P < 0.01$); 重型昏迷组 T₁、T₂ 时 ETCO₂ 低于中型昏迷组和轻型昏迷组, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 1。

2.2 不同神经预后患者 ETCO₂ 变化和差异

两组 ETCO₂ 差异有统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 520.462, P < 0.01$); TH 治疗后 ETCO₂ 逐渐增加, 差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 409.421, P < 0.01$), 各组间存在交互效应, 差异有统计学意义 ($F_{\text{交互}} = 238.154, P < 0.01$); 神经预后不良组 T₁、T₂ 时 ETCO₂ 低于神经预后良好组, 差异有统计学

意义 ($P < 0.01$), 见表 2。

2.3 影响 TH 心肺复苏患者神经预后因素分析

神经预后不良组 APACHE II 评分高于神经预后良好组 ($P < 0.01$), 恢复自主循环时间、机械通气时间、ICU 住院时间长于神经预后良好组 ($P < 0.01$), 重型昏迷比例高于神经预后良好组 ($P < 0.01$), LVEF 低于神经预后良好组 ($P < 0.05$), 见表 3。以 APACHE II 评分、恢复自主循环时间、机械通气时间、ICU 住院时间、昏迷程度(赋值: 0=轻型、中型, 1=重型)、T₁ 和 T₂ 时 ETCO₂ 为自变量, 以神经预后为因变量(赋值: 0=神经预后良好, 1=神经预后不良), 向后逐步法排除无关变量(入 $\alpha = 0.05$, 出 $\alpha = 0.10$), 最终恢复自主循环时间、重型昏迷是 TH 心肺复苏患者神经预后不良的危险因素 ($P < 0.01$), T₂ ETCO₂ 是保护因素 ($P < 0.01$), 见表 4。

表 1 不同昏迷程度患者 ETCO₂ 变化和差异

组别	例数	mmHg, $\bar{X} \pm S$		
		T ₀	T ₁	T ₂
轻型昏迷组	47	10.35 ± 3.26	23.15 ± 6.35	30.12 ± 7.95
中型昏迷组	79	10.02 ± 3.19 ¹⁾	19.35 ± 5.11 ¹⁾	23.65 ± 6.47 ¹⁾
重型昏迷组	46	9.92 ± 3.02 ¹⁾²⁾	13.02 ± 4.18 ¹⁾²⁾	18.35 ± 5.30 ¹⁾²⁾

注: 1 mmHg=0.133 kPa。与轻型昏迷组比较, ¹⁾ $P < 0.05$; 与中型昏迷组比较, ²⁾ $P < 0.05$ 。

表 2 不同神经预后患者 ETCO₂ 变化和差异

组别	例数	mmHg, $\bar{X} \pm S$		
		T ₀	T ₁	T ₂
神经预后良好组	62	10.16 ± 3.09	20.15 ± 5.39	27.34 ± 7.19
神经预后不良组	110	10.04 ± 3.16	17.88 ± 4.03	22.18 ± 4.06
<i>t</i>		0.241	3.131	6.021
<i>P</i>		0.810	<0.01	<0.01

表 3 影响 TH 心肺复苏患者神经预后的单因素分析结果 例(%), $\bar{X} \pm S, M(P_{25}, P_{75})$

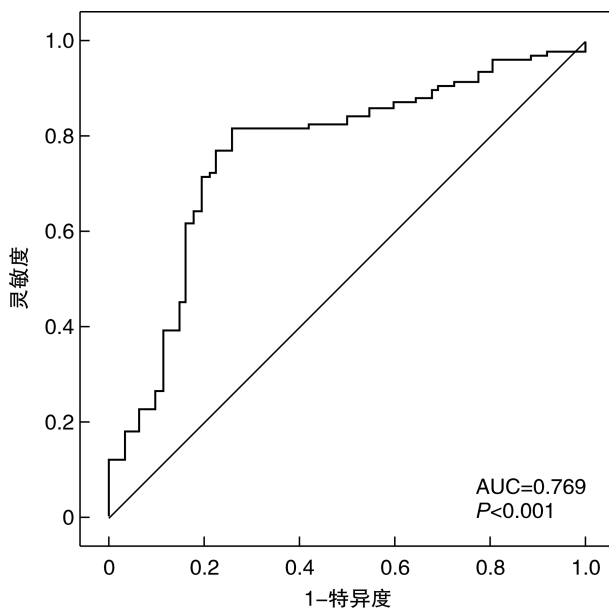
组别	神经预后不良组(110 例)	神经预后良好组(62 例)	<i>t/z/χ²</i>	<i>P</i>
年龄/岁	51.84 ± 9.32	49.65 ± 10.24	1.428	0.155
性别			0.556	0.456
男	65(59.09)	33(53.23)		
女	45(40.91)	29(46.77)		
BMI	23.05 ± 1.67	22.96 ± 1.53	0.350	0.727
基础疾病				
高血压	42(38.18)	25(40.32)	0.076	0.782
糖尿病	31(28.18)	14(22.58)	0.644	0.422
自主循环恢复时间/min	8.02 ± 1.02	5.32 ± 0.30	20.330	<0.01
昏迷程度			13.518	<0.01
轻型昏迷	20(18.18)	27(43.55)		
中型昏迷	59(53.64)	20(32.26)		
重型昏迷	31(28.18)	15(24.19)		
APACHE II 评分/分	22.02(15, 29)	16.35(10, 18)	11.378	<0.01
机械通气时间/d	9.35(12, 23)	15.21(9, 20)	8.209	<0.01
潮气量/mL	695.23 ± 59.04	694.11 ± 58.74	0.120	0.905
呼吸频率/(次 · min ⁻¹)	13.02 ± 0.68	12.98 ± 0.71	0.365	0.716
PEEP/cmH ₂ O	4.13 ± 0.63	4.17 ± 0.59	0.409	0.683
氧浓度/%	37.65 ± 8.13	37.09 ± 8.04	0.435	0.664
EICU 入住时间/d	22.11(15, 28)	17.42(12, 23)	15.284	<0.01
LVEF/%	56.11 ± 2.07	57.02 ± 3.18	2.269	0.025
E/A 比值	2.01 ± 0.32	1.96 ± 0.31	0.995	0.321

表 4 影响 TH 心肺复苏患者神经预后的 logistic 回归方程

因素	β	SE	Wald χ^2	OR	P
常数项	5.021	1.009	24.763		<0.01
恢复自主循环时间	0.651	0.182	12.794	1.917	<0.01
重型昏迷	0.759	0.201	14.259	2.136	<0.01
T ₂ ETCO ₂	-0.517	0.153	11.418	0.596	<0.01

2.4 ETCO₂ 预测 TH 心肺复苏患者神经预后的价值分析

T₂ ETCO₂ 预测 TH 心肺复苏患者神经预后不良的临界值为 25.11 mmHg, 曲线下面积为 0.769 (95% CI: 0.698 ~ 0.829), 灵敏度为 77.27%, 特异度为 77.42%, 约登指数为 0.5469, 见图 1。

图 1 ETCO₂ 预测 TH 心肺复苏患者神经预后的 ROC 图

3 讨论

心脏停搏后脑血流量减少, 缺血缺氧刺激下可导致氧化应激反应、炎症反应, 引起血管内皮损伤, 正常血管张力丧失, 血管通透性增加, 导致脑水肿, 而心肺复苏仅能恢复正常脑血流量的 25%, 无法满足正常脑组织灌注需求, 加之心肺复苏成功后缺血再灌注损伤, 进一步损伤神经元, 继发致命性的脑损伤^[8-9]。近几十年来, 心脏停搏后昏迷的管理得到了显著改善, 尤其是目标体温管理的应用, 越来越多患者得以存活, 且对存活后神经功能恢复提出了更高的要求, 因此准确预测神经预后对临床治疗和结局预判有重要的意义^[10]。脑电图可预测心跳骤停昏迷者神经预后, 但依赖专业的神经生理学家进行结果评估^[11], 影像学检查成本昂贵, 操作耗时, 因此需探讨更为简便有效、经济实用的方法。

ETCO₂ 是测量呼气中二氧化碳分压的一种非侵入性测量方法, 主要用于验证气管插管导管是否达到气管位置, 监测心跳骤停患者心肺复苏期间自主循环恢复情况, 评估接受有创机械通气治疗或镇静镇痛时呼吸状态和速率^[12], ETCO₂ 水平被认为与血气分析检测获得的二氧化碳分压 (PaCO₂) 之间存在显著相关性^[13], 可反映动脉血中 CO₂ 含量。现有报道显示 ETCO₂ 变化与心排量变化之间存在直接关系, 监测 ETCO₂ 变化可反映感染性休克患者接受机械通气治疗后血容量变化^[14], 当院前 ETCO₂ < 25 mmHg 时, 急诊入院后发生失血性休克的风险较 ETCO₂ ≥ 25 mmHg 的患者增加 3 倍^[15]。ETCO₂ 还可用于评估机械通气患者自主呼吸试验结果, 是预测撤机结果的一个强有力指标^[16], 在心跳骤停心肺复苏过程中 ETCO₂ 值越高, 自主循环恢复的可能性越大^[17], 患者生存的可能性越高, ETCO₂ 值被认为是预测心肺复苏患者病死率的有效指标^[18]。

目前 ETCO₂ 在脑复苏的应用十分少见, Ölander 等^[19] 监测了接受机械心肺复苏和体外膜肺氧合辅助心肺复苏术的心室颤动猪模型 ET-CO₂, 发现 ETCO₂ ≥ 10 mmHg 的猪模型颈动脉血压、血流量、氧气输送指数高于 ETCO₂ < 10 mmHg 的猪模型, 且 S100B 蛋白水平、脑组织病理损伤程度低于 ETCO₂ < 10 mmHg 的猪模型, ET-CO₂ 和颈动脉血流量呈正相关 ($r = 0.620$), 该实验结果提示 ETCO₂ 可反映心肺复苏后脑损伤程度, 可能与脑复苏结果有关。Chandrasekharan 等^[20] 认为脑血流量 (颈动脉流量) 与 PaCO₂ 呈正相关 ($r = 0.520$), ETCO₂ 与 PaCO₂ 呈正相关 ($r = 0.700$), 持续 ETCO₂ 监测可反映 PaCO₂ 的波动和脑血流量变化, 间接评估脑损伤程度。本研究采用在脑复苏过程中持续监测 ETCO₂, 重型昏迷组患者 ETCO₂ 低于轻型和中型昏迷组患者, 神经预后不良患者 ETCO₂ 低于神经预后良好患者, 回归分析提示 T₂ 低 ETCO₂ 与心肺复苏患者 TH 脑复苏后神经预后不良有关, 表明 ETCO₂ 可作为脑复苏后神经预后的预测指标。首先, 心跳骤停患者脑复苏结果主要取决于循环骤停引起的神经损伤程度, 而脑血流灌注量与神经损伤程度密切相关^[20], ET-CO₂ 水平高低反映脑血流灌注状态, 低水平 ET-CO₂ 表明脑血流处于低灌注状态, 脑部氧气和血液供应不足, 导致缺氧缺血性脑损伤和神经功能障碍。其次, ETCO₂ 影响局部脑氧饱和度 (rScO₂), ETCO₂ 降低则 rScO₂ 随着降低, rScO₂ 反映局部脑氧供情况, 低 rScO₂ 提示神经损伤程度加重^[21], 因此 ETCO₂ 可间接反映脑组织氧供和神经损伤程度, 与脑复苏后昏迷程度和神经预后有关。

ROC 分析结果显示 ETCO₂ 预测 TH 脑复苏

患者神经预后不良的曲线下面积为 0.769,灵敏度为 77.27%,特异度为 77.42%,表明 ETCO_2 在 TH 脑复苏患者神经预后评估中具有较高的价值。但是值得注意的是 ETCO_2 易受药物(肾上腺素、碳酸氢钠)等因素影响,心肺复苏过程中大量使用肾上腺素可能影响 ETCO_2 监测结果,使用碳酸氢钠会导致 ETCO_2 5~10 min 内升高,其次使用面罩也会导致 ETCO_2 升高,影响对预后的判断,因此在 ETCO_2 监测时应排除干扰因素的影响,结合神经电生理学、血液生物标志物和脑成像等,以优化对预后的预测。

综上所述,TH 心肺复苏患者低 ETCO_2 与昏迷程度加重以及神经预后不良有关,可作为预测神经预后的指标。 ETCO_2 检测快速且无创伤性,在急诊心肺复苏患者脑复苏效果评估和预后预测中有较高的应用价值,可在临床推广使用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Sandroni C, D'Arrigo S, Cacciola S, et al. Prediction of poor neurological outcome in comatose survivors of cardiac arrest: a systematic review[J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(10):1803-1851.
- [2] 许丽君, 崔英杰, 秦历杰. 心肺复苏后神经功能预后与早期平均动脉压的关系[J]. *中华急诊医学杂志*, 2020, 29(5):711-715.
- [3] Taccone FS, Picetti E, Vincent JL. High Quality Targeted Temperature Management(TTM) After Cardiac Arrest[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1):6.
- [4] 王嘉宇, 杜贤进. 呼气末二氧化碳监测在血流动力学监测中的应用[J]. *临床急诊杂志*, 2020, 21(12):1009-1013.
- [5] Aminiahidashti H, Shafiee S, Zamani Kiasari A, et al. Applications of End-Tidal Carbon Dioxide(ETCO_2) Monitoring in Emergency Department; a Narrative Review[J]. *Emerg(Tehran)*, 2018, 6(1):e5.
- [6] 张明, 钱俊英, 李涛, 等. 脑电双频指数在评估心肺复苏成功患者的昏迷程度和判定预后中的价值[J]. *中国急救医学*, 2012, 32(1):7-10.
- [7] Sandroni C, Cariou A, Cavallaro F, et al. Prognostication in comatose survivors of cardiac arrest: an advisory statement from the European Resuscitation Council and the European Society of Intensive Care Medicine[J]. *Resuscitation*, 2014, 85(12):1779-1789.
- [8] Sandroni C, Cronberg T, Sekhon M. Brain injury after cardiac arrest: pathophysiology, treatment, and prognosis [J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47(12):1393-1414.
- [9] 罗成准, 王世伟, 贾天元, 等. 心肺复苏后患者中性粒细胞与淋巴细胞比值与死亡的相关性研究[J]. *临床急诊杂志*, 2020, 21(2):143-146.
- [10] Rossetti AO, Rabinstein AA, Oddo M. Neurological prognostication of outcome in patients in coma after cardiac arrest [J]. *Lancet Neurol*, 2016, 15(6):597-609.
- [11] 周建坡, 徐珑, 赵继宗. 神经电生理监测技术在昏迷患者预后评估中的应用进展[J]. *中华神经外科杂志*, 2020, 36(4):418-421.
- [12] Uzunay H, Selvi F, Bedel C, et al. Comparison of ETCO_2 Value and Blood Gas PCO_2 Value of Patients Receiving Non-invasive Mechanical Ventilation Treatment in Emergency Department[J]. *SN Compr Clin Med*, 2021, 3(8):1717-1721.
- [13] Nassar BS, Schmidt GA. Estimating Arterial Partial Pressure of Carbon Dioxide in Ventilated Patients: How Valid Are Surrogate Measures? [J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2017, 14(6):1005-1014.
- [14] Sazgar M, Golikhatir I, Pashae SM, et al. Norepinephrine with dopamine infusion on the end-tidal carbon dioxide(EtCO_2) pressure in patients with septic shock[J]. *Caspian J Intern Med*, 2021, 12(4):580-585.
- [15] Bulger N, Harrington B, Krieger J, et al. Prehospital end-tidal carbon dioxide predicts hemorrhagic shock upon emergency department arrival[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2021, 91(3):457-464.
- [16] Baudel JL, Dubee V, Boelle PY, et al. The Weaning Index combining EtCO_2 and respiratory rate early identifies Spontaneous Breathing Trial failure[J]. *Minerva Anesthesiol*, 2019, 85(4):384-392.
- [17] Nicholson TC, Paiva EF. Uses and pitfalls of measurement of end-tidal carbon dioxide during cardiac arrest [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2020, 26(6):612-616.
- [18] Touma O, Davies M. The prognostic value of end tidal carbon dioxide during cardiac arrest: a systematic review[J]. *Resuscitation*, 2013, 84(11):1470-1479.
- [19] Ölander CH, Vikholm P, Schiller P, et al. End-Tidal Carbon Dioxide Impacts Brain and Kidney Injury in Experimental Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation(ECPR)[J]. *Shock*, 2021, 55(4):563-569.
- [20] Chandrasekharan PK, Rawat M, Nair J, et al. Continuous End-Tidal Carbon Dioxide Monitoring during Resuscitation of Asphyxiated Term Lambs[J]. *Neonatology*, 2016, 109(4):265-273.
- [21] Balakrishnan S, Naik S, Chakrabarti D, et al. Effect of Respiratory Physiological Changes on Optic Nerve Sheath Diameter and Cerebral Oxygen Saturation in Patients With Acute Traumatic Brain Injury [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2022, 34(1):e52-e56.

(收稿日期:2022-05-03)