

体外膜肺氧合支持中发生严重溶血的危险因素及结局：一项5年的单中心回顾分析

吕琳 高国栋 胡金晓 胡强 姚婧鑫 龙村 黑飞龙 吉冰洋 刘晋萍 于坤

100037 北京,北京协和医学院,国家心血管病中心,中国医学科学院阜外医院体外循环科

通讯作者:高国栋,Email:gaoguodongfw@163.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.06.009

【摘要】 目的 探讨体外膜肺氧合(ECMO)过程中发生严重溶血的危险因素。方法 回顾性分析2010年12月至2015年10月阜外医院收治的心脏手术后需要ECMO辅助支持的成人患者临床资料,记录其人口学特征、肾功能基础值、原发疾病、手术资料、ECMO辅助过程中临床资料及结局。根据ECMO辅助过程中游离血红蛋白(FHB)值将患者分为FHB正常组(FHB \leq 500 mg/L)和严重溶血组(FHB $>$ 500 mg/L)。比较两组患者ECMO建立前后的临床资料,采用logistic回归分析筛选导致严重溶血发生的独立危险因素。结果 共81例患者纳入本研究,其中严重溶血组19例、FHB正常组62例。两组患者ECMO建立前体外循环(CPB)时间、阻断时间、血乳酸水平、行心肺复苏、主动脉内球囊反搏术(IABP)、中心静脉插管的比例等临床资料均无明显差异。在ECMO辅助过程中,严重溶血组血肌酐(SCr)和FHB的最高值明显高于FHB正常组[最高SCr(μ mol/L): 281.02 ± 164.11 比 196.67 ± 87.31 ,最高FHB(mg/L):600(600, 700)比200(100, 300)],且氧合器或管路血栓、感染发生率和血液滤过应用率均较FHB正常组明显升高[分别为26.3%(5/19)比4.8%(3/62),31.6%(6/19)比12.9%(8/62),36.8%(7/19)比14.5%(9/62),均 $P < 0.1$]。在临床结局中,严重溶血组患者插管或手术部位出血、急性肾衰竭(ARF)发生率均明显高于FHB正常组[分别为57.9%(11/19)比30.6%(19/62),94.7%(18/19)比41.9%(26/62),均 $P < 0.05$],存活率明显低于FHB正常组[10.5%(2/19)比51.6%(32/62), $P < 0.05$]。将单因素回归分析中 $P < 0.1$ 的3项因素(血液滤过、感染、氧合器或管路血栓)纳入logistic回归分析,结果显示,氧合器或管路血栓是ECMO辅助过程中发生严重溶血的危险因素[优势比(OR)=6.262,95%可信区间(95%CI)=1.244~31.515, $P=0.026$]。结论 氧合器或管路血栓形成是ECMO辅助过程中发生严重溶血的独立危险因素。严重溶血可引起插管或手术部位出血和ARF发生率升高,并使存活率降低。

【关键词】 体外膜肺氧合; 溶血; 危险因素; 临床结局

基金项目:北京市科技计划项目(2011-BKJ4)

Risk factors and outcomes of severe hemolysis during extracorporeal membrane oxygenation: a 5-year single-center retrospective analysis Lyu Lin, Gao Guodong, Hu Jinxiao, Hu Qiang, Yao Jingxin, Long Cun, Hei Feilong, Ji Bingyang, Liu Jinping, Yu Kun

Department of Cardiopulmonary Bypass, Chinese Academy of Medical Science, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Disease, Peking Union Medical College, Beijing 100037, China

Corresponding author: Gao Guodong, Email: gaoguodongfw@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the risk factors of severe hemolysis during extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). **Methods** The clinical data of adult patients undergoing ECMO after cardiac surgery admitted to Fuwai Hospital from December 2010 to October 2015 were retrospectively analyzed. Demographic characteristics, renal function, primary disease, operation data, ECMO related data and outcomes were recorded. Patients were divided into normal free hemoglobin (FHB) group (FHB \leq 500 mg/L) and severe hemolysis group (FHB $>$ 500 mg/L) according to the FHB level during ECMO support. The parameters before and after ECMO support were compared between the two groups. Logistic regression was used to identify the independent risk factors of severe hemolysis. **Results** A total of 81 patients including 19 patients with severe hemolysis was enrolled, and 62 in normal FHB group. There was no difference in cardiopulmonary bypass (CPB) time, clamping time, lactate level before ECMO, cardiopulmonary resuscitation, intra-aortic balloon pump use and central catheter insertion between two groups. The maximums of serum creatinine (SCr) and FHB levels were higher in severe hemolysis group as compared with those in normal FHB group [maximal SCr (μ mol/L): 281.02 ± 164.11 vs. 196.67 ± 87.31 , maximal FHB (mg/L): 600 (600, 700) vs. 200 (100, 300)], the incidence of clots in circuit or oxygenator, infection, and hemofiltration in severe hemolysis group was increased [26.3% (5/19) vs. 4.8% (3/62),

31.6% (6/19) vs. 12.9% (8/62), 36.8% (7/19) vs. 14.5% (9/62), all $P < 0.1$]. As well as outcomes including the rate of site of surgery or intubation bleeding and acute renal failure [ARF, 57.9% (11/19) vs. 30.6% (19/62), 94.7% (18/19) vs. 41.9% (26/62)], and the survival rate was lowered [10.5% (2/19) vs. 51.6% (32/62), all $P < 0.05$]. As result of univariate analysis, clots in circuit or oxygenator, infection and hemofiltration were associated with severe hemolysis. It was showed by logistic regression analysis that the clots in circuit or oxygenator was a risk factor of severe hemolysis during ECMO [odds ratio (OR) = 6.262, 95% confidence interval (95%CI) = 1.244–31.515, $P = 0.026$]. **Conclusions** The clots in circuit or oxygenator were independent risk factors of severe hemolysis during ECMO. Severe hemolysis can induce the increase of the rate of bleeding in the operation site or intubation and the rate of ARF, and decrease of the survival rate.

【Key words】 Extracorporeal membrane oxygenation; Hemolysis; Risk factor; Outcome

Fund program: Beijing Municipal Science and Technology Plan Projects (2011-BKJ4)

体外膜肺氧合 (ECMO) 作为一种替代心肺的支持措施, 可为严重心肺功能衰竭患者提供支持, 在临床上取得了良好的效果^[1]。但 ECMO 系统血栓、负压及泵速过快等因素会引起红细胞破坏、游离血红蛋白 (FHB) 增加, 导致溶血^[2]。有研究表明, FHB 是 ECMO 支持患者院内死亡的危险因素^[3]; 还会对肾脏产生毒性作用, 引起肾功能障碍^[4]。本研究通过回顾性分析阜外医院心脏手术后需要 ECMO 辅助支持的成人患者资料, 探讨 ECMO 过程中发生严重溶血的危险因素, 并观察患者的临床结局。

1 资料和方法

1.1 资料收集: 采用回顾性观察性研究方法, 选择 2010 年 12 月至 2015 年 10 月阜外医院收治的体外循环 (CPB) 下心脏手术后需要 ECMO 支持患者的临床资料。纳入标准: 年龄 ≥ 18 岁; 排除有肾脏病史、血肌酐 (SCr) 或 FHB 资料不全者。

本研究符合医学伦理学标准, 经医院伦理委员会批准, 所有检测和治疗获得患者或家属知情同意。

1.2 诊断标准: ① 严重溶血: 在 ECMO 辅助支持过程中 FHB > 500 mg/L。② 急性肾衰竭 (ARF): 根据 RIFLE 标准 (危险、损伤、衰竭、肾功能丧失、终末期肾病), SCr > 3 倍基础值或应用血液滤过。由于多种利尿方法会影响尿量的计算, 因此未采用尿量定义 ARF。③ 感染: 血或痰培养阳性。④ 氧合器或管路血栓: ECMO 管路或氧合器可见血凝块。

1.3 ECMO 的建立及管理: ECMO 系统由氧合器、离心泵、管道、插管、热交换器、空氧混合器组成。9 例患者采用中心插管 (右心房-股动脉), 其余患者采用外周插管 (股静脉-股动脉)。插管前静脉给予大剂量肝素 (100 U/kg) 使活化凝血时间 (ACT) > 200 s。ECMO 建立后泵入芬太尼和咪达唑仑维持适当麻醉深度, 血管活性药物降至最低水平。采用气管插管保护性机械通气防止呼吸机相关性肺损伤 (VILI) 和肺不张。呼吸机参数设置: 潮

气量 8 ~ 10 mL/kg, 呼吸频率 8 ~ 10 次/min, 吸入氧浓度 0.40 ~ 0.60, 气道峰压 < 25 cmH₂O (1 cmH₂O = 0.098 kPa)。持续泵入肝素维持 ACT 在 160 ~ 200 s, 若患者出现活动性出血, 调整 ACT 在 120 ~ 160 s。根据患者的循环状态和血气指标, 将 ECMO 流量维持在 40 ~ 150 mL · kg⁻¹ · min⁻¹, 使平均动脉压 (MAP) 维持在 60 ~ 65 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa), 混合静脉血氧饱和度 ≥ 0.70 。当患者血小板计数 (PLT) 低于 $50 \times 10^9/L$ 时, 补充血小板。输注去白红细胞维持红细胞比容在 0.28 ~ 0.30。

1.4 观察指标及方法: 记录患者人口学特征、肾功能基础值、原发疾病、手术资料、ECMO 辅助过程中临床资料、临床结局。记录严重溶血前离心泵的最大转速、有无感染、有无应用血液滤过、有无氧合器或管路血栓; 若未出现严重溶血, 则记录 FHB 达峰值前的情况。观察每日患者血生化、FHB、血常规等指标, 综合判断患者恢复情况以及有无并发症。

1.5 统计学方法: 采用 SPSS 21.0 软件分析数据。正态分布的连续变量以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用 t 检验; 非正态分布的连续变量以中位数 (四分位数) [$M(Q_L, Q_U)$] 表示, 组间比较采用 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 检验或 Fisher 确切概率法。将单因素回归分析中 $P < 0.1$ 的预测因子纳入多元 logistic 回归模型, 分析 ECMO 过程中发生严重溶血的危险因素。双侧 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较 (表 1): 共入选 88 例需要 ECMO 支持的成人患者, 排除 5 例 ECMO 支持前未手术和 2 例 FHB 数据缺失患者, 最终共 81 例纳入本研究。严重溶血组 19 例, FHB 正常组 62 例, 溶血发生率为 23.5%。两组患者性别、年龄、体质量、肾功能基础值、原发疾病等比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$), 说明两组资料均衡, 有可比性。

表1 是否发生严重溶血两组心脏手术后需要体外膜肺氧合(ECMO)辅助支持患者的基线资料比较

组别	例数 (例)	性别 [% (例)]		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	年龄 ≥ 60 岁 [% (例)]	体质量 (kg, $\bar{x} \pm s$)	SCr ($\mu\text{mol/L}$, $\bar{x} \pm s$)	BUN (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)
		男性	女性					
FHB 正常组	62	75.8 (47)	24.2 (15)	48.98 \pm 14.32	75.8 (47)	65.69 \pm 13.07	87.87 \pm 20.04	7.29 \pm 2.54
严重溶血组	19	84.2 (16)	13.8 (3)	45.42 \pm 12.89	78.9 (15)	64.11 \pm 13.96	85.18 \pm 18.15	7.21 \pm 3.18

组别	例数 (例)	原发疾病 [% (例)]							
		先心病	冠心病	瓣膜病	主动脉疾病	心肌病	肺动脉栓塞	缩窄性心包炎	心脏移植
FHB 正常组	62	9.7 (6)	29.0 (18)	17.7 (11)	6.5 (4)	29.0 (18)	3.2 (2)	4.8 (3)	41.9 (26)
严重溶血组	19	10.5 (2)	15.8 (3)	31.6 (6)	5.3 (1)	26.3 (5)	10.5 (2)	0 (0)	21.1 (4)

注: FHB 为游离血红蛋白, SCr 为血肌酐, BUN 为尿素氮

表2 是否发生严重溶血两组心脏手术后需要体外膜肺氧合(ECMO)辅助支持患者的临床资料比较

组别	例数 (例)	CPB 时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	阻断时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	血乳酸 (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	心肺复苏 [% (例)]	IABP [% (例)]	中心静脉插管 [% (例)]
FHB 正常组	62	277.00 \pm 111.20	101.73 \pm 57.71	9.32 \pm 5.13	16.1 (10)	38.7 (24)	9.7 (6)
严重溶血组	19	293.64 \pm 166.80	119.25 \pm 60.07	9.55 \pm 5.74	10.5 (2)	36.8 (7)	15.8 (3)

组别	例数 (例)	最大 SCr ($\mu\text{mol/L}$, $\bar{x} \pm s$)	最大 BUN (mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	最大转速 (r/min, $\bar{x} \pm s$)	最大 FHB [mg/L, $M(Q_L, Q_U)$]	ECMO 持续时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	血液滤过 [% (例)]
FHB 正常组	62	196.67 \pm 87.31	23.12 \pm 15.45	3 356.4 \pm 425.2	200 (100, 300)	127.85 \pm 61.05	14.5 (9)
严重溶血组	19	281.02 \pm 164.11 ^a	21.52 \pm 12.19	3 385.3 \pm 440.2	600 (600, 700) ^a	138.23 \pm 53.24	36.8 (7) ^a

组别	例数 (例)	输红细胞 (U, $\bar{x} \pm s$)	输血浆 [mL, $M(Q_L, Q_U)$]	输血小板 [U, $M(Q_L, Q_U)$]	输白蛋白 [g, $M(Q_L, Q_U)$]	氧合器或管路 血栓 [% (例)]	更换氧合器 [% (例)]	感染 [% (例)]
FHB 正常组	62	10.11 \pm 8.78	800 (400, 1 250)	2 (0, 3)	40 (20, 92)	4.8 (3)	4.8 (3)	12.9 (8)
严重溶血组	19	8.79 \pm 7.17	400 (0, 1 200)	2 (1, 4)	70 (40, 110)	26.3 (5) ^b	10.5 (2)	31.6 (6) ^a

注: FHB 为游离血红蛋白, CPB 为体外循环, IABP 为主动脉内球囊反搏术, SCr 为血肌酐, BUN 为尿素氮; 与 FHB 正常组比较, ^a $P < 0.1$

2.2 两组 ECMO 建立前后临床资料比较 (表 2): 在 ECMO 过程中, 严重溶血组最大 SCr、最大 FHB 及氧合器或管路血栓、感染发生率和血液滤过应用率均明显高于 FHB 正常组 (均 $P < 0.1$); 而两组 ECMO 前 CPB 时间、阻断时间、血乳酸、心肺复苏、主动脉内球囊反搏术 (IABP)、中心静脉插管比例, 以及 ECMO 过程中最大尿素氮 (BUN)、最大转速、ECMO 持续时间、更换氧合器和血制品输注情况无差异。

2.3 两组临床结局比较 (表 3): 严重溶血组患者插管或手术部位出血、ARF 发生率明显高于 FHB 正常组, 而存活率明显低于 FHB 正常组 (均 $P < 0.05$)。

2.4 Logistic 危险因素分析 (表 4): 单因素回归分析结果显示, 血液滤过、感染、氧合器或管路血栓与 ECMO 辅助支持患者发生严重溶血相关。Logistic 回归分析显示, 氧合器或管路血栓是 ECMO 辅助过程中严重溶血发生的独立危险因素 ($P < 0.05$)。

表3 是否发生严重溶血两组心脏手术后需要体外膜肺氧合(ECMO)辅助支持患者的临床结局比较

组别	例数 (例)	插管或手术部位 出血 [% (例)]	ARF 发生率 [% (例)]	存活率 [% (例)]
FHB 正常组	62	30.6 (19)	41.9 (26)	51.6 (32)
严重溶血组	19	57.9 (11) ^a	94.7 (18) ^b	10.5 (2) ^b

注: FHB 为游离血红蛋白, ARF 为急性肾衰竭; 与 FHB 正常组比较, ^a $P < 0.05$, ^b $P < 0.01$

表4 体外膜肺氧合(ECMO)辅助支持期间发生严重溶血危险因素的 logistic 回归分析

危险因素	s_x	β 值	OR 值	95%CI	P 值
血液滤过	0.645	0.969	0.133	0.744 ~ 9.337	0.133
感染	0.674	0.974	2.649	0.707 ~ 9.920	0.148
氧合器或管路血栓	0.825	1.834	6.262	1.244 ~ 31.515	0.026

注: OR 为优势比, 95%CI 为 95% 可信区间

3 讨论

随着 ECMO 设备的改进以及技术水平的提高, ECMO 越来越多地应用于心肺支持^[5]。溶血是 ECMO 辅助过程中的常见并发症^[6]。本研究中 ECMO 辅助期间严重溶血发生率为 23.5%, 高于其他文献报道的 11.7%^[3]。CPB 下心脏手术本身就会引起溶血反应^[7], 本研究纳入的病例均为 CPB 下心脏术后患者, 因此严重溶血的发生率较高。

ECMO 过程中泵速过快 (>3 000 r/min)、负压过高 (>650 mmHg)、ECMO 系统血栓形成都会导致血细胞破坏、FHB 升高, 发生溶血反应。虽然离心泵不会像滚压泵那样压迫红细胞引起红细胞破坏, 但是当离心泵转速过快时血液被快速喷射, 进而在离心泵中心处产生真空效应, 形成气穴现象, 最终导致红细胞破坏^[8]。本研究中虽然严重溶血组泵速高于 FHB 正常组, 但差异无统计学意义。

Akin 等^[9]发现, 在左心辅助患者中, 泵内血栓形成与溶血相关, 溶血是血栓形成的早期迹象。本研究也发现氧合器或管路血栓是 ECMO 辅助过程中发生严重溶血的危险因素。分析原因为: 血栓形成会改变 ECMO 系统局部尤其是离心泵中心处的血流动力学状态, 形成湍流, 加重红细胞破坏^[10]。

感染会引起溶血反应, 然而具体机制不明。除致病菌直接破坏红细胞外, 还可能与免疫炎症反应引起红细胞损伤有关^[11]。本研究通过单因素分析发现感染与严重溶血反应相关, 然而 logistic 回归并未显示感染是严重溶血的危险因素, 可能与本研究的样本量不足有关。

本研究发现, 严重溶血组血液滤过的应用率大于 FHB 正常组。对需要 ECMO 支持患儿的研究发现, ECMO 结合血液滤过治疗会加重溶血反应^[12]。Gbadegesin 等^[13]对先天性心脏病(先心病)术后需要 ECMO 支持的患儿 (<3 岁) 观察发现, ECMO 支持过程中一旦启动血液滤过, FHB 就会达到峰值。血液滤过管道是非生物学材料, 产生的炎症反应会引起红细胞破坏, 因此, 应用血液透析本身就可能引起溶血^[14]。当血液滤过与 ECMO 连接后, 连接处口径不匹配会引起局部血液湍流, 导致血细胞破坏^[15], 血液滤过与 ECMO 连接后需要提高泵速以维持合适的流量^[12], 这些都会造成溶血反应。

文献报道, 高 FHB 是 ECMO 支持患者出院后死亡的危险因素^[3]。本研究也发现, 严重溶血组患者存活率低于 FHB 正常组。本研究还发现严重溶血

组 ARF 发生率高于 FHB 正常组, 与本课题组前期研究结果一致^[4]。当发生溶血时, FHB 增高会堵塞肾小管导致 ARF, 同时血红蛋白降解产物亚铁色素会诱导细胞凋亡并干扰氧代谢^[16]; FHB 会引起内皮细胞一氧化氮(NO)减少, 导致微循环 NO 生物利用度降低, 最终减少器官灌注^[17]。溶血还会引起铁离子超载导致肾功能障碍^[18]。本研究发现, 严重溶血组插管或手术部位出血的发生率较高。这是因为溶血会引起凝血酶原时间(PT)延长, 且随着溶血程度加重 PT 也延长^[19]。

综上, 严重溶血是心脏术后 ECMO 辅助过程中的常见并发症; 氧合器或管路血栓是 ECMO 辅助过程中发生严重溶血的独立危险因素。严重溶血可引起 ARF 和插管或手术部位出血发生率增加, 患者存活率降低。

参考文献

- [1] 高国栋, 吕琳, 胡强, 等. 阜外医院 10 年间成人体外膜肺氧合支持治疗回顾: 治疗策略及影响因素分析 [J]. 中华危重病急救医学, 2015, 27 (12): 959-964. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.12.004.
- [2] 周玉媛, 于坤. 体外循环红细胞损伤的原因、表现及危害 [J]. 中国体外循环杂志, 2015, 13 (1): 61-64. DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2015.01.18.
- [3] Omar HR, Mirsaeidi M, Socias S, et al. Plasma Free Hemoglobin Is an Independent Predictor of Mortality among Patients on Extracorporeal Membrane Oxygenation Support [J]. PLoS One, 2015, 10 (4): e0124034. DOI: 10.1371/journal.pone.0124034.
- [4] Lv L, Long C, Liu J, et al. Predictors of acute renal failure during extracorporeal membrane oxygenation in pediatric patients after cardiac surgery [J]. Artif Organs, 2016, 40 (5): E79-83. DOI: 10.1111/aor.12644.
- [5] 徐磊, 王志勇, 李彤, 等. 体外膜肺氧合与机械通气用于严重急性呼吸窘迫综合征患者院间转运的对比研究 [J]. 中华危重病急救医学, 2014, 26 (11): 789-793. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.11.005.
- [6] Xu L, Wang ZY, Li T, et al. Comparison of extracorporeal membrane oxygenation and mechanical ventilation for inter-hospital transport of severe acute respiratory distress syndrome patients [J]. Chin Crit Care Med 2014, 26 (11): 789-793. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.11.005.
- [7] 高国栋, 龙村, 黑飞龙, 等. 107 例体外膜肺氧合并症回顾分析 [J]. 心肺血管病杂志, 2010, 29 (4): 296-300. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5062.2010.04.010.
- [8] Gao GD, Long C, Hei FL, et al. Retrospective analysis of complications of 107 patients managed by extracorporeal membrane oxygenation in Fuwai hospital [J]. J Cardiovasc Pulm Dis, 2010, 29 (4): 296-300. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5062.2010.04.010.
- [9] 李玲, 韩玲, 罗毅, 等. 体外循环术后引发溶血尿毒症综合征

27例的治疗分析[J]. 中国实用儿科杂志, 2005, 20(1): 37. DOI: 10.3969/j.issn.1005-2224.2005.01.020.

Li L, Han L, Luo Y, et al. Treatment of hemolytic uremic syndrome after cardiopulmonary bypass in 27 patients [J]. Chin J Pract Pediatr, 2005, 20(1): 37. DOI: 10.3969/j.issn.1005-2224.2005.01.020.

[8] Toomasian JM, Bartlett RH. Hemolysis and ECMO pumps in the 21st Century [J]. Perfusion, 2011, 26(1): 5-6. DOI: 10.1177/0267659110396015.

[9] Akin S, Soliman OI, Constantinescu AA, et al. Haemolysis as a first sign of thromboembolic event and acute pump thrombosis in patients with the continuous-flow left ventricular assist device HeartMate II [J]. Neth Heart J, 2016, 24(2): 134-142. DOI: 10.1007/s12471-015-0786-2.

[10] Bhamidipati CM, Ailawadi G, Bergin J, et al. Early thrombus in a HeartMate II left ventricular assist device: a potential cause of hemolysis and diagnostic dilemma [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2010, 140(1): e7-8. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2009.09.046.

[11] Orf K, Cunningham AJ. Infection-related hemolysis and susceptibility to Gram-negative bacterial co-infection [J]. Front Microbiol, 2015, 6: 666. DOI: 10.3389/fmicb.2015.00666.

[12] Betrus C, Remenapp R, Charpie J, et al. Enhanced hemolysis in pediatric patients requiring extracorporeal membrane oxygenation and continuous renal replacement therapy [J]. Ann Thorac Cardiovasc Surg, 2007, 13(6): 378-383.

[13] Gbadegesin R, Zhao S, Charpie J, et al. Significance of hemolysis on extracorporeal life support after cardiac surgery in children [J]. Pediatr Nephrol, 2009, 24(3): 589-595. DOI: 10.1007/s00467-008-1047-z.

[14] Yoon J, Thapa S, Chow RD, et al. Hemolysis as a rare but potentially life-threatening complication of hemodialysis: a case report [J]. BMC Res Notes, 2014, 7: 475. DOI: 10.1186/1756-0500-7-475.

[15] De Wachter DS, Verdonck PR, De Vos JY, et al. Blood trauma in plastic haemodialysis cannulae [J]. Int J Artif Organs, 1997, 20(7): 366-370.

[16] Tracz MJ, Alam J, Nath KA. Physiology and pathophysiology of heme: implications for kidney disease [J]. J Am Soc Nephrol, 2007, 18(2): 414-420. DOI: 10.1681/ASN.2006080894.

[17] Rother RP, Bell L, Hillmen P, et al. The clinical sequelae of intravascular hemolysis and extracellular plasma hemoglobin: a novel mechanism of human disease [J]. JAMA, 2005, 293(13): 1653-1662. DOI: 10.1001/jama.293.13.1653.

[18] Mumby S, Koh TW, Pepper JR, et al. Risk of iron overload is decreased in beating heart coronary artery surgery compared to conventional bypass [J]. Biochim Biophys Acta, 2001, 1537(3): 204-210. DOI: 10.1016/S0925-4439(01)00070-9.

[19] Lippi G, Montagnana M, Salvagno GL, et al. Interference of blood cell lysis on routine coagulation testing [J]. Arch Pathol Lab Med, 2006, 130(2): 181-184. DOI: 10.1043/1543-2165(2006)130[181:IOBCLO]2.0.CO;2.

(收稿日期: 2016-03-02)
(本文编辑: 孙茜, 李银平)

• 读者 • 作者 • 编者 •

本刊常用不需要标注中文的缩略语

- | | |
|--|---|
| 重症加强治疗病房 (intensive care unit, ICU) | 急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) |
| 急性肺损伤 (acute lung injury, ALI) | 全身炎症反应综合征 (systemic inflammatory response syndrome, SIRS) |
| 间质性肺疾病 (interstitial lung disease, ILD) | 多器官功能障碍综合征 (multiple organ dysfunction syndrome, MODS) |
| 血流感染 (bloodstream infection, BSI) | 慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary diseases, COPD) |
| 胃肠外营养 (parenteral nutrition, PN) | 呼吸机相关性肺炎 (ventilator associated pneumonia, VAP) |
| 中心静脉导管 (central venous catheter, CVC) | 肺炎支原体肺炎 (<i>Mycoplasma pneumoniae</i> pneumonia, MPP) |
| 肺炎支原体 (<i>Mycoplasma pneumoniae</i> , MP) | 缺氧肺动脉高压 (hypoxia pulmonary artery hypertension, HPH) |
| 肺泡上皮细胞 (alveolar epithelial cell, AEC) | 肺炎链球菌肺炎 (<i>Streptococcus pneumoniae</i> pneumoniae, SPP) |
| 白细胞介素 (interleukin, IL) | 体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) |
| γ-干扰素 (interferon-γ, IFN-γ) | 无创正压通气 (noninvasive positive pressure ventilation, NPPV) |
| 细胞角蛋白-8 (cytokeratin-8, CK-8) | 角化细胞源性趋化因子 (keratinocyte chemoattractant, KC) |
| 游离血红蛋白 (free hemoglobin, FHB) | 巨噬细胞炎性蛋白 (macrophage inflammatory protein, MIP) |
| 血管紧张素 II (angiotensin II, Ang II) | 血管紧张素转换酶 2 (angiotensin-converting enzyme 2, ACE2) |
| 肿瘤坏死因子 (tumor necrosis factor, TNF) | 多药耐药相关蛋白 (multidrug resistant associated protein, MRP) |
| 核转录因子-κB (nuclear factor-κB, NF-κB) | 激活髓样分化因子 88 (myeloid differentiation factor 88, MyD88) |
| 血肌酐 (serum creatinine, SCr) | 核因子 E2 相关因子 (nuclear factor-erythroid 2-related factor, Nrf2) |
| 胸膜压 (pleural pressure, Ppl) | 外周血单核细胞 (peripheral blood mononuclear cell, PBMC) |
| 肺泡压 (alveolar pressure, Palv) | 上皮间质转化 (epithelial-mesenchymal transition, EMT) |
| 经肺压 (transpulmonary pressure, Ptp) | 持续气道正压 (continuous positive airway pressure, CPAP) |
| 气道压力 (airway pressure, Paw) | 营养获益评估 (nutritional benefit assessment, NUTRIC 评分) |
| 氧合指数 (OI, PaO ₂ /FiO ₂) | 营养风险筛查 2002 (nutritional risk screening 2002, NRS 2002) |
| 潮气量 (tidal volume, VT) | 序贯器官衰竭评分 (sequential organ failure assessment, SOFA) |