

论著·临床研究

先天性心脏病体外循环术后合并急性肾损伤患儿的临床特点及预后分析

段炼¹ 胡国潢² 蒋萌¹ 张成梁¹

(1. 中南大学湘雅医院心脏大血管外科, 湖南 长沙 410008;
2. 湖南师范大学附属长沙医院(长沙市第四医院), 湖南 长沙 410006)

[摘要] **目的** 分析体外循环(CPB)手术后合并急性肾损伤(AKI)的先天性心脏病患儿围术期临床资料, 探讨有无改善预后的可调节因素。**方法** 针对小儿先心病CPB手术后48 h内发生AKI的118例患者进行回顾性分析。**结果** 118例中手术后48 h后死亡的18例。与存活组相比, 死亡组术前的紫绀型心脏病所占比例、先天性心脏病手术风险评估共识评分均较高; 术中CPB时间和升主动脉阻断时间、采用全晶体液进行心肌保护的比例、术中平均血糖均较高; 术后48 h内正性肌力药物分值(IS)、术后肌酐值、3级AKI所占比例、采用肾脏替代疗法进行治疗的比例、红细胞或其它血制品输注数量均较高, 差异均具有统计学意义($P<0.05$)。术后死亡率随着术中平均血糖升高而增加, 有线性关联($P<0.05$)。术中平均血糖 >8.3 mmol/L的患儿累积生存率和平均生存期均低于血糖 ≤ 8.3 mmol/L者($P<0.05$)。**结论** 先天性心脏病CPB术后合并AKI患儿的术中血糖水平与预后相关, 术中严格控制血糖上升对改善CPB术后AKI患儿的预后有积极作用。

[中国当代儿科杂志, 2017, 19(11): 1196-1201]

[关键词] 体外循环; 急性肾损伤; 高血糖; 预后; 儿童

Clinical characteristics and prognostic analysis of children with congenital heart disease complicated by postoperative acute kidney injury

DUAN Lian, HU Guo-Huang, JIANG Meng, ZHANG Cheng-Liang. Department of Cardiovascular Surgery, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China (Hu G-H, Email: prohgh@21cn.com)

Abstract: Objective To analyze the perioperative clinical data of children with congenital heart disease complicated by acute kidney injury (AKI) after cardiopulmonary bypass (CPB) surgery, and to explore potential factors influencing the prognosis. **Methods** A retrospective analysis was performed among 118 children with congenital heart disease who developed AKI within 48 hours after CPB surgery. **Results** In the 118 patients, 18 died after 48 hours of surgery. Compared with the survivors, the dead children had significantly higher incidence of cyanotic disease and Risk Adjustment for Congenital Heart Surgery-1 (RACHS-1) scores before surgery; during surgery, the dead children had significantly longer CPB time and aortic cross-clamping time, a significantly higher proportion of patients receiving crystalloid solution for myocardial protection, and a significantly higher mean blood glucose level. Within 48 hours after surgery, the dead children had significantly higher positive inotropic drug scores, significantly higher creatinine values, a significantly higher incidence of stage 3 AKI, a significantly higher proportion of patients receiving renal replacement therapy, and significantly higher usage of blood products ($P<0.05$). The mortality rate of the patients increased with increased intraoperative blood glucose levels ($P<0.05$). Patients with intraoperative blood glucose levels >8.3 mmol/L had a significantly lower postoperative cumulative survival rate and a significantly shorter mean survival time than those with blood glucose levels ≤ 8.3 mmol/L ($P<0.05$). **Conclusions** Intraoperative blood glucose levels are associated with the prognosis in children with congenital heart disease complicated by AKI after CPB surgery. Maintaining good intraoperative blood glucose control can improve the prognosis of the children.

[Chin J Contemp Pediatr, 2017, 19(11): 1196-1201]

Key words: Cardiopulmonary bypass; Acute kidney injury; Hyperglycemia; Prognosis; Child

[收稿日期] 2017-07-07; [接受日期] 2017-08-23

[作者简介] 段炼, 女, 博士, 主治医师。

[通信作者] 胡国潢, 男, 主任医师, 教授。

急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 是小儿先天性心脏病体外循环 (cardiopulmonary bypass, CPB) 手术后常见的一种并发症, 其发生主要与长时间应用 CPB 有关, 但机制尚未完全阐明。合并 AKI 使住院时间和重症监护室 (intensive care unit, ICU) 时间延长, 腹透、血透等医疗资源占用增加, 死亡率显著增高^[1-2]。小儿先心病 CPB 术后 AKI 发生的危险因素包括低龄、低体重、复杂手术、术前机械通气、术中深低温停循环等等^[3], 因此需要识别可调节的危险因素来预防或逆转 AKI。贫血、低蛋白血症、高血糖、高乳酸等已被证实与成人心脏术后 AKI 的预后有关^[4], 但儿童 CPB 手术后 AKI 发生的影响因素鲜见报道。本研究回顾性分析中南大学湘雅医院 CPB 术后合并 AKI 的先心病患儿围术期资料, 探讨有无改善预后的可调节因素, 为此类患者提高术后存活率提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

以 2012~2015 年中南大学湘雅医院心脏大血管外科资料完整的 118 例 18 岁以下先心病 CPB 术后合并 AKI 的患者为研究对象。AKI 诊断根据急性肾损伤网络 (acute kidney injury network, AKIN) 标准^[5]: 血肌酐在术后 48 h 内上升 $\geq 26.5 \mu\text{mol/L}$ (0.3 mg/dL) 或 $\geq$ 术前基础值的 1.5 倍。排除标准: (1) 术前合并肾脏疾病或术前血肌酐 $\geq 110 \mu\text{mol/L}$; (2) 术后 48 h 内死亡或资料不全; (3) 住院期间多次手术。见图 1。

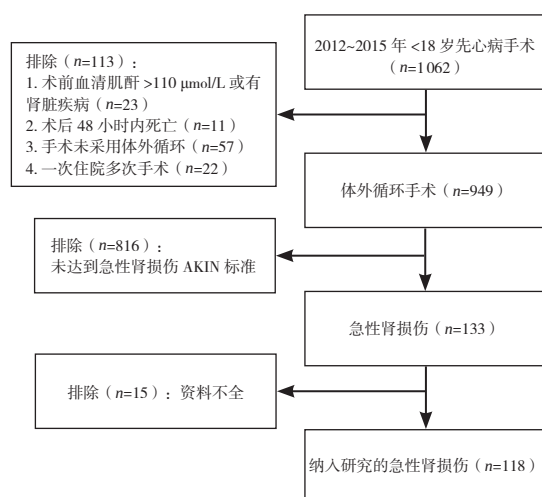


图 1 项目流程图

1.2 研究方法

所有入组患儿采用心脏外科统一标准的麻醉、手术、CPB 和 ICU 术后监护^[6]。咪达唑仑和维库溴铵诱导麻醉, 芬太尼和异氟醚吸入维持。正中开胸, CPB 下修补心脏畸形。心肌保护采用间断性灌注 4:1 含血高钾停跳液 (简称血灌) 或全晶体液 (Custodial 液, 简称晶灌)。CPB 用平流滚轴泵灌注, 以晶胶体和血制品预充小儿膜肺、管道及插管, 术中维持活化凝血时间 $\geq 480 \text{ s}$ 、灌注流量每分钟 $100\sim 150 \text{ mL/kg}$ 、血红蛋白 (Hb) $7\sim 8 \text{ g/dL}$ (新生儿 10 g/dL)、中-浅低温 ($27\sim 34^\circ\text{C}$)。心脏畸形纠正后开始复温, 停机前鼻咽温 37.0°C 、肛温 35.0°C 以上。有需要时超滤至 $\text{Hb} > 10 \text{ g/dL}$, 使用正性肌力药物。血流动力学稳定后中和肝素, 关胸后送至 ICU。

术前采集资料包括性别、手术时年龄、体重、有无紫绀、术前诊断和先天性心脏病手术风险评估共识 (the risk adjustment for congenital heart surgery-1, RACHS-1) 评分、术前后有无使用正性肌力药物、有无机械通气、是否急诊手术。根据患儿术前主要的心脏畸形进行 RACHS-1 评分^[7-9], 记为 1~5 分。以最接近手术日期的术前血肌酐值 ($\mu\text{mol/L}$)、血糖值 (mmol/L) 和乳酸值 (mmol/L) 作为术前基础值。术中采集资料: CPB 时间、阻断升主动脉 (occlusion of aorta, OA) 时间、是否多次 OA、心肌保护方式、是否超滤、是否深低温停循环 (deep hypothermia circulation arrest, DHCA) 或低流量灌注 (低于目标灌注流量的一半以上)、平均 Hb (g/dL)、平均血糖值 (mmol/L) 和平均乳酸值 (mmol/L)。术后采集资料: 住院时间、ICU 时间、机械通气时间, 有无采用肾脏替代疗法 (renal replacement treatment, RRT) 即腹透、血透或连续性体外血液净化; 术后 48 h 内血清肌酐的最高值及 AKI 的严重程度分级 (1 级: $1.5\sim 2$ 倍基础值; 2 级: $2\sim 3$ 倍基础值; 3 级: ≥ 3 倍基础值); 术后 48 h 内使用的正性肌力药物分值 (inotropic score, IS), $\text{IS} (\mu\text{g/kg/min}) = \text{多巴胺} + \text{多巴酚丁胺} + \text{米力农} \times 15 + \text{肾上腺素} \times 100 + \text{去甲肾上腺素} \times 100 + \text{异丙肾上腺素} \times 100$; 术后输血。

所有病例均随访至 2016 年 12 月, 死亡或失访为事件终点, 以随访结束时是否存活分成存活组 (110 例) 和死亡组 (18 例), 进行两组围手

术期各因素的比较,对于其中差异有统计学意义的围术期可调节因素(平均血糖、术后红细胞输注、术后其他血制品输注)进行死亡的关联分析。术中血糖按围术期血糖标准^[10]分为三级: ≤ 8.3 mmol/L、 $>8.3\sim 11.1$ mmol/L、 >11.1 mmol/L。术后红细胞或其他血制品输注按文献标准^[11]分为4级:术后未输注(0), <40 mL/kg, $40\sim 80$ mL/kg, ≥ 80 mL/kg。

1.3 统计学分析

采用SPSS 23.0 软件进行数据处理。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;非正态分布资料以中位数四分位数间距 $[P_{50}(P_{25}, P_{75})]$ 表示,组间比较采用Mann-Whitney U 检验;计数资料以百分数(%)表示,组间比较采用卡方检验;等级资料采用Willcoxon秩和检验;线性关联分析采用趋势卡方检验;生存分析采用Kplan-Meier分析进行。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料分析

CPB术后AKI的发生率为14.0%(133/949),见图1;其中资料完整纳入研究的118例患者的中位年龄为12.5(4, 45)个月,中位体重8.2(5.1, 14.5) kg,男性59例(50.0%);病种包括肺动脉闭锁、法洛四联症、大动脉转位、主动脉弓发育不良或离断、房室管畸形、瓣膜畸形、肺静脉异位引流、房间隔或室间隔缺损、心内膜垫缺损、动脉导管未闭等一种或多种心脏畸形;截止至随访日期,有18例死亡,死亡率为15.3%(18/118),死亡原因见表1。

纳入研究的118例AKI患者中,AKI损伤分级为1级的占56.8%(67/118),2级占25.4%(30/118),3级占17.8%(21/118);15例进行RRT治疗(AKI 3级12例、AKI 2级3例)的患儿中7例死亡,多发生于复杂先心病;RACHS-1

3~5分的占69.5%(82/118);平均CPB时间 130 ± 83 min,平均住院时间 18 ± 8 d,中位ICU时间119(68, 240) h。

表1 18例CPB术后合并AKI死亡患儿的原因分析

死亡原因	例(%)
心跳骤停	1(6)
出血	2(11)
感染性休克	3(17)
多器官功能不全	5(28)
低心输出量	7(39)

2.2 存活组和死亡组的临床资料分析

存活组和死亡组的性别、年龄、体重以及小于2月龄婴儿所占比例的差异无统计学意义($P>0.05$);死亡组患者的紫绀型先心病所占比例、RACHS-1分值均高于存活组($P<0.01$);死亡组CPB时间、OA时间、采用晶灌进行心肌保护的比率、术中平均血糖均高于存活组($P<0.05$);死亡组术后的IS、术后肌酐值、3级AKI所占比例、RRT治疗的比率、红细胞及其它血制品输注数量均大于存活组($P<0.05$)。见表2。

对于差异有统计学意义的3个围术期可调节因素:术中平均血糖、术后红细胞输注、术后其他血制品输注进行与死亡关系的线性关联分析,发现仅术中平均血糖与死亡存在线性关联($P<0.05$)。见表3。

2.3 术中血糖水平对术后生存率的影响

以CPB术中血糖均值8.3 mmol/L为界,分为 ≤ 8.3 mmol/L和 >8.3 mmol/L两组,作Kplan-Meier生存分析,发现血糖 ≤ 8.3 mmol/L组的累积生存率高于 >8.3 mmol/L组(分别为96.9%和69.8%, $P<0.01$),见图2;其平均生存期(58.2 ± 1.3 个月)高于血糖 >8.3 mmol/L组(44.2 ± 3.4 个月),差异有统计学意义($\chi^2=15.567$, $P<0.01$)。

表 2 存活组和死亡组的临床资料对比

因素	存活组 (n=100)	死亡组 (n=18)	χ^2 (Z 或 t) 值	P 值
男性 [n(%)]	54(54.0)	5(27.8)	4.196	0.071
年龄 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, 月]	12(5.48)	16(2.8, 36)	(0.165)	0.869
年龄 ≤ 2 个月 [n(%)]	11(11.0)	4(22.2)	1.731	0.242
体重 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, kg]	8.25(5.4, 14.6)	8.25(4.9, 14)	(0.449)	0.653
紫绀 [n(%)]	38(38.0)	15(83.3)	12.671	<0.001
RACHS-1 评分 [n(%)]				
1	1(1.0)	0(0.0)	0.182	0.670
2	34(34.0)	1(5.6)	5.916	0.015
3	40(40.0)	5(27.8)	0.966	0.326
4	24(24.0)	11(61.1)	10.07	0.002
5	1(1.0)	1(5.6)	1.900	0.168
术前正性肌力药物 [n(%)]	2(2.0)	1(5.6)	0.778	0.394
术前机械通气 [n(%)]	3(3.0)	1(5.6)	0.304	0.489
急诊手术 [n(%)]	4(4.0)	2(11.2)	1.598	0.227
CPB 时间 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, min]	113(72, 146)	192.5(116, 274)	(3.649)	<0.001
OA 时间 ($\bar{x} \pm s$, min)	70 $\pm$ 37	116 $\pm$ 70	(-2.743)	0.002
多次 OA [n(%)]	12(12.0)	2(11.1)	0.012	1.000
血灌 [n(%)]	73(73.0)	8(44.4)	5.779	0.026
超滤 [n(%)]	85(85.0)	18(100)	3.093	0.123
DHCA 或低流量 [n(%)]	8(8.0)	4(22.2)	3.378	0.086
术中平均 Hb ($\bar{x} \pm s$, g/dL)	8.1 $\pm$ 1.1	8.4 $\pm$ 0.7	(-1.223)	0.224
术前血糖值 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	4.3 $\pm$ 1.3	4.4 $\pm$ 1.5	(-1.021)	0.324
术中平均血糖值 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	8.0 $\pm$ 2.2	10.0 $\pm$ 1.9	(-3.778)	0.000
术前乳酸值 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	0.9 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.4	(-0.698)	0.476
术中平均乳酸值 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	1.9 $\pm$ 1.0	2.1 $\pm$ 1.0	(-0.682)	0.497
肌酐基础值 ($\bar{x} \pm s$, μ mol/L)	41 $\pm$ 8	46 $\pm$ 11	(-1.955)	0.064
术后 48 h 内肌酐最高值 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, μ mol/L]	74(60, 92)	176(141, 262)	(5.181)	<0.001
术后 AKI 分级 [n(%)]				
1	66(66.0)	1(5.6)	22.710	<0.001
2	25(25.0)	5(27.8)	0.062	0.803
3	9(9.0)	12(66.6)	34.675	<0.001
术后 RRT [n(%)]	8(8.0)	7(38.9)	13.117	0.002
术后 IS ($\bar{x} \pm s$)	7 $\pm$ 6	12 $\pm$ 6	(-3.076)	0.003
住院时间 ($\bar{x} \pm s$, d)	18 $\pm$ 9	17 $\pm$ 6	(0.044)	0.965
ICU 时间 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, h]	128(68, 236)	93(63, 342)	(0.037)	0.970
机械通气时间 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, h]	34(8, 72)	49(18, 73)	(1.147)	0.251
术后红细胞输注 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, U]	0.75(0, 1.5)	2(0.4, 6.5)	(2.394)	0.017
其他血制品输注 [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$, U]	2(0, 4)	6(0, 10)	(2.542)	0.011

注: [RACHS-1] 先天性心脏病手术风险评估共识; [CPB] 体外循环; [OA] 阻断升主动脉; [DHCA] 深低温停循环; [AKI] 急性肾损伤; [RRT] 肾脏替代疗法; [IS] 正性肌力药物分值。

表 3 围术期可调节因素与死亡的线性关联分析 [n (%)]

因素	存活组 (n=100)	死亡组 (n=18)	χ^2 值	P 值
术中平均血糖 (mmol/L)				
≤ 8.3	58(58.0)	2(11.1)	15.622	<0.001
>8.3~11.1	37(37.0)	12(66.7)		
>11.1	5(5.0)	4(22.2)		
术后红细胞输注 (mL/kg)				
0	37(37.0)	6(33.3)	3.764	0.052
<40	52(52.0)	6(33.3)		
40~<80	8(8.0)	3(16.7)		
≥ 80	3(3.0)	3(16.7)		
术后其他血制品输注 (mL/kg)				
0	38(38.0)	5(27.8)	3.674	0.055
<40	30(30.0)	2(11.1)		
40~<80	15(15.0)	5(27.8)		
≥ 80	17(17.0)	6(33.3)		

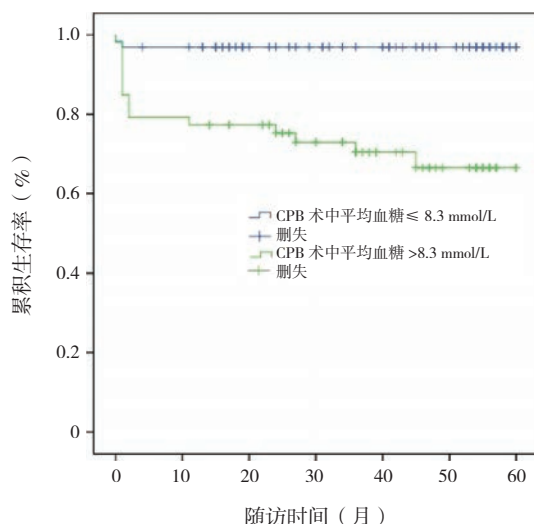


图 2 术中不同血糖值患儿的生存曲线

3 讨论

先天性心脏病 CPB 术后合并 AKI 使住院时间延长、医疗资源消耗增加、死亡率增加^[12]。据报道^[13]，先天性心脏病 CPB 手术的 AKI 发生率 10%~45%，新生儿甚至高达 60%，严重影响预后。本研究先天性心脏病 CPB 手术后 AKI 的发生率为 14.0%，AKI 患儿的死亡率为 15.3%，接近文献报道。复杂畸形、CPB 手术时间长的先天性心脏病患儿术后更容易发生 AKI^[14]。本研究 CPB 术后发生 AKI 的患儿中 RACHS-1 评分 3~5 分的占 69.5%、平均 CPB 时间

大于 2 h，与文献相符，提示应尽量缩短 CPB 手术时间，并探索长时间 CPB 手术如何预防 AKI 发生的方法。既往研究认为，CPB 术后发生 AKI 患儿的年龄越小、AKI 3 级、需要 RRT 治疗的先天性心脏病患儿死亡率较高^[15-17]。本研究死亡组术后 AKI 分级别为 3 级的较存活组多。

围术期高血糖是成人心脏病手术后死亡的危险因素^[18-19]，而高血糖对小儿先天性心脏病 CPB 手术预后影响的研究不多，且结果存在争议。Yates^[20]认为血糖 >6.5 mmol/L 的持续天数影响婴儿先天性心脏病手术的存活率；而 Agus^[21] 研究中并未发现术后 3 天严格控制血糖（4.4~6.1 mmol/L）对提高存活率有好处。Lou 等^[22] 学者观察 100 例先天性心脏病 CPB 术中和术后血糖，发现平均血糖 <8.3 mmol/L 的并未比 >8.3 mmol/L 的存活率高。血糖水平升高引起心脏术后预后不良的可能机制为：高血糖可通过 caspase-3 信号途径增加心肌细胞凋亡，激活 JKA2 途径使心肌细胞血管紧张素 II 合成增加，外周血管阻力增加、心输出量和心指数降低；高血糖还可加重缺血细胞的酸中毒和水肿等^[23-24]。本研究纳入的 118 例均为 CPB 术后 48 h 内发生 AKI 的患儿，存活组和死亡组术前血糖水平的差异无显著性，CPB 术中两组血糖均有升高，但死亡组高于存活组，死亡率有随血糖升高而增加的趋势，而且术中血糖 ≤ 8.3 mmol/L 的患儿平均生存期较长。提示 CPB 术中高血糖状态可促进 AKI 的发生或加重其严重程度。

综上所述，先天性心脏病 CPB 术后合并 AKI 患儿的术中血糖水平与预后相关，术中严格控制血糖上升对改善 CPB 术后 AKI 患儿的预后具有积极作用。但本研究为回顾性研究，也未纳入术后心功能、术后液体超负荷等可能影响 AKI 或死亡率的其他因素；另外，不同年龄段或不同营养状态患儿的肌酐基础值不一致，采用术后 48 h 内的肌酐水平进行 AKI 的判断欠精准，因此仍需多中心大样本的前瞻性研究予以进一步认证。

[参 考 文 献]

- [1] Sanchez-de-Toledo J, Perez-Ortiz A, Gil L, et al. Early initiation of renal replacement therapy in pediatric heart surgery is associated with lower mortality[J]. *Pediatr Cardiol*, 2016, 37(4): 623-628.

- [2] Toda Y, Sugimoto K. AKI after pediatric cardiac surgery for congenital heart diseases—recent developments in diagnostic criteria and early diagnosis by biomarkers[J]. *J Intensive Care*, 2017(5): 49.
- [3] Gist KM, Kaufman J, da Cruz EM, et al. A decline in intraoperative renal near-infrared spectroscopy is associated with adverse outcomes in children following cardiac surgery[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2016, 17(4): 342-349.
- [4] Park SK, Hur M, Kim E, et al. Risk factors for acute kidney injury after congenital cardiac surgery in infants and children: a retrospective observational study[J]. *PLoS One*, 2016, 11(11): e0166328.
- [5] Jetton JG, Rhone ET, Harer MW, et al. Diagnosis and treatment of acute kidney injury in pediatrics[J]. *Curr Treat Options Pediatr*, 2016, 2(2): 56-68.
- [6] Luo W, Zhu M, Huang R, et al. A comparison of cardiac post-conditioning and remote pre-conditioning in paediatric cardiac surgery[J]. *Cardiol Young*, 2011, 21(03): 266-270.
- [7] Jenkins KJ, Kupiec JK, Owens PL. Development and validation of an agency for healthcare research and quality indicator for mortality after congenital heart surgery harmonized with risk adjustment for congenital heart surgery (RACHS-1) methodology[J]. *J Am Heart Assoc*, 2016, 5(5): e003028.
- [8] Pasquali SK, Hall M, Li JS, et al. Corticosteroids and outcome in children undergoing congenital heart surgery: analysis of the pediatric health information systems database[J]. *Circulation*, 2010, 122(21): 2123-2130.
- [9] 骆德强, 陈自力, 戴巍, 等. 液体超负荷与婴儿先天性心脏病术后急性肾损伤的关系[J]. *中国当代儿科杂志*, 2017, 19(4): 376-380.
- [10] Sathya B, Davis R, Taveira T, et al. Intensity of peri-operative glycemic control and postoperative outcomes in patients with diabetes: a meta-analysis[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2013, 102(1): 8-15.
- [11] Neff LP, Cannon JW, Morrison JJ, et al. Clearly defining pediatric massive transfusion: Cutting through the fog and friction with combat data[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2015, 78(1): 22-29.
- [12] Tóth R, Breuer T, Cserép Z, et al. Acute kidney injury is associated with higher morbidity and resource utilization in pediatric patients undergoing heart surgery[J]. *Ann Thorac Surg*, 2012, 93(6): 1984-1990.
- [13] Kumar TK, Allen Ccp J, Spentzas Md T, et al. Acute kidney injury following cardiac surgery in neonates and young infants: experience of a single center using novel perioperative strategies[J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2016, 7(4): 460-466.
- [14] Aydin SI, Seiden HS, Blaufox AD, et al. Acute kidney injury after surgery for congenital heart disease[J]. *Ann Thorac Surg*, 2012, 94(5): 1589-1595.
- [15] Watkins SC, Williamson K, Davidson M, et al. Long-term mortality associated with acute kidney injury in children following congenital cardiac surgery[J]. *Paediatr Anaesth*, 2014, 24(9): 919-926.
- [16] Sanchez-de-Toledo J, Perez-Ortiz A, Gil L, et al. Early initiation of renal replacement therapy in pediatric heart surgery is associated with lower mortality[J]. *Pediatr Cardiol*, 2016, 37(4): 623-628.
- [17] Bojan M, Gioanni S, Vouhé PR, et al. Early initiation of peritoneal dialysis in neonates and infants with acute kidney injury following cardiac surgery is associated with a significant decrease in mortality[J]. *Kidney Int*, 2012, 82(4): 474-481.
- [18] Greco G, Ferket BS, D'Alessandro DA, et al. Diabetes and the association of postoperative hyperglycemia with clinical and economic outcomes in cardiac surgery[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39(3): 408-417.
- [19] Giakoumidakis K, Nenekidis I, Brokalaki H. The correlation between peri-operative hyperglycemia and mortality in cardiac surgery patients: a systematic review[J]. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2012, 11(1): 105-113.
- [20] Yates A, Dyke PC 2nd, Taeed R, et al. Hyperglycemia is a marker for poor outcome in the postoperative pediatric cardiac patient[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2006, 7(4): 351-355.
- [21] Agus MS, Steil GM, Wypij D, et al. Tight glycemic control versus standard care after pediatric cardiac surgery[J]. *N Engl J Med*, 2012, 367(13): 1208-1219.
- [22] Song Lou, Fan Ding, Cun Long, et al. Effects of peri-operative glucose levels on adverse outcomes in infants receiving open-heart surgery for congenital heart disease with cardiopulmonary bypass[J]. *Perfusion*, 2011, 26(2): 133-139.
- [23] Qiao Y, Zhao Y, Liu Y, et al. miR-483-3p regulates hyperglycaemia-induced cardiomyocyte apoptosis in transgenic mice[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2016, 477(4): 541-547.
- [24] Tsai KH, Wang WJ, Lin CW, et al. NADPH oxidase-derived superoxide anion-induced apoptosis is mediated via the JNK-dependent activation of NF- κ B in cardiomyocytes exposed to high glucose[J]. *J Cell Physiol*, 2012, 227(4): 1347-1357.

(本文编辑: 俞燕)