

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.22.013

文章编号: 1005-8982 (2025) 22-0081-06

临床研究·论著

## 婴幼儿体外循环中动静脉血气分析参数对术后急性肾损伤的评估价值分析\*

李筱颖, 李立, 徐梦, 赵江河

(徐州医科大学附属徐州儿童医院 麻醉科, 江苏 徐州 221000)

**摘要:** **目的** 探讨婴幼儿体外循环中动静脉血气分析参数对术后急性肾损伤 (PO-AKI) 的评估价值。**方法** 选取2022年6月—2024年6月于徐州医科大学附属徐州儿童医院的进行心脏手术的108例婴幼儿作为研究对象。所有患儿在体外循环下接受手术, 且接受动静脉血气分析, 术后依据改良儿童肾脏疾病风险分级诊断标准, 将患儿分为PO-AKI组和非PO-AKI组, 比较两组患儿临床相关资料, 分析动静脉血气分析参数对患儿PO-AKI的评估价值。**结果** 两组患儿性别构成、年龄、体重、美国麻醉医师学会分级、术前左室射血分数、术前血红蛋白、术前肺动脉高压占比和体外循环中最低血红蛋白水平比较, 差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。PO-AKI组患儿体外循环时间、主动脉阻断时间均长于非PO-AKI组 ( $P<0.05$ ), 阻断30 min 静脉-动脉二氧化碳分压差 ( $Pv-aCO_2$ )、阻断30 min  $Pv-aCO_2/Pv-aCO_2$ 与动静脉氧含量差 ( $Ca-vO_2$ )、阻断45 min  $Pv-aCO_2$ 和阻断45 min  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 水平均高于非PO-AKI组 ( $P<0.05$ )。多因素一般Logistic回归分析结果显示: 阻断30 min  $Pv-aCO_2$ 水平高 [ $OR=2.447$  (95% CI: 1.176, 5.094)]、阻断30 min  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 水平高 [ $OR=2.627$  (95% CI: 2.627, 5.566)]、阻断45 min  $Pv-aCO_2$ 水平高 [ $OR=2.394$  (95% CI: 1.102, 5.203)] 和阻断45 min  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 水平高 [ $OR=2.790$  (95% CI: 1.254, 6.207)] 均为患儿心脏手术后发生PO-AKI的危险因素 ( $P<0.05$ )。绘制受试者工作特征曲线分析结果显示, 阻断30 min  $Pv-aCO_2$ 评估的敏感性、特异性分别为85.71% (95% CI: 0.791, 0.923)、43.68% (95% CI: 0.343, 0.530); 阻断30 min  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 评估的敏感性、特异性分别为76.19% (95% CI: 0.682, 0.842)、74.71% (95% CI: 0.665, 0.829); 阻断45 min  $Pv-aCO_2$ 评估的敏感性、特异性分别为85.71% (95% CI: 0.791, 0.923)、58.62% (95% CI: 0.493, 0.679); 阻断45 min  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 评估敏感性、特异性分别为57.14% (95% CI: 0.478, 0.665)、94.25% (95% CI: 0.899, 0.986); 联合评估的敏感性、特异性分别为80.95% (95% CI: 0.735, 0.884)、87.36% (95% CI: 0.811, 0.936)。阻断30 min  $Pv-aCO_2$ 、阻断30 min  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 的曲线下面积分别为0.637 (95% CI: 0.592, 0.774)、0.817 (95% CI: 0.713, 0.885), 阻断45 min  $Pv-aCO_2$ 、阻断45 min  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 的曲线下面积分别为0.724 (95% CI: 0.629, 0.805)、0.765 (95% CI: 0.673, 0.841), 联合评估的曲线下面积为0.915 (95% CI: 0.845, 0.960), 高于其他单一评估。**结论** 心脏手术中PO-AKI发婴幼儿体外循环中存在 $Pv-aCO_2$ 、 $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$ 的升高表现, 且上述参数指标为PO-AKI的影响因素, 上述指标联合对婴幼儿心脏PO-AKI具有最佳的评估价值。

**关键词:** 术后急性肾损伤; 心脏手术; 婴幼儿体外循环; 动静脉血气分析参数; 儿童肾脏疾病风险分级; 评估

中图分类号: R692.5

文献标识码: A

## Value of arterial and venous blood gas parameters during cardiopulmonary bypass in evaluating postoperative acute kidney injury in infants\*

收稿日期: 2025-05-07

\* 基金项目: 江苏省卫生健康委医学科研项目 (No: M2023223); 徐州市儿童医院2023年度科研立项项目 (No: 23040402)

[通信作者] 赵江河, E-mail: river15852462949@163.com, Tel: 15852462949

Li Xiao-ying, Li Li, Xu Meng, Zhao Jiang-he

(Department of Anesthesiology, Xuzhou Children's Hospital, Xuzhou Medical University, Xuzhou, Jiangsu 221000, China)

**Abstract:** **Objective** To analyze the value of arterial and venous blood gas parameters during cardiopulmonary bypass in evaluating postoperative acute kidney injury (PO-AKI) in infants. **Methods** A total of 108 infants who underwent cardiac surgery under cardiopulmonary bypass in our hospital between June 2022 and June 2024 were selected as the subjects. Arterial and venous blood gas analyses were performed. After surgery, the children were divided into the PO-AKI group and the non-PO-AKI group based on the modified risk classification criteria for pediatric kidney diseases. Relevant clinical characteristics of the two groups were compared, and the value of arterial and venous blood gas parameters in evaluating PO-AKI was analyzed. **Results** There were no statistically significant differences between the two groups in terms of sex distribution, age, body weight, American Society of Anesthesiologists (ASA) classification, preoperative left ventricular ejection fraction, preoperative hemoglobin level, proportion of pulmonary hypertension, or the lowest hemoglobin level during cardiopulmonary bypass ( $P > 0.05$ ). The cardiopulmonary bypass time and aortic cross-clamp time were longer in the PO-AKI group than in the non-PO-AKI group ( $P < 0.05$ ). At 30 minutes after aortic cross-clamping, the venous-arterial carbon dioxide partial pressure difference ( $Pv-aCO_2$ ) and the ratio of  $Pv-aCO_2$  to the arteriovenous oxygen difference ( $Ca-vO_2$ ) were significantly higher in the PO-AKI group compared with the non-PO-AKI group ( $P < 0.05$ ). Similarly, at 45 minutes after aortic cross-clamping, both  $Pv-aCO_2$  and  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$  were higher in the PO-AKI group ( $P < 0.05$ ). Multivariable logistic regression analysis showed that higher  $Pv-aCO_2$  at 30 minutes after aortic cross-clamping [ $\hat{OR} = 2.447$  (95% CI: 1.176, 5.094)], higher  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$  at 30 minutes after aortic cross-clamping [ $\hat{OR} = 2.627$  (95% CI: 1.239, 5.566)], higher  $Pv-aCO_2$  level at 45 minutes [ $\hat{OR} = 2.394$  (95% CI: 1.102, 5.203)], and higher  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$  ratio at 45 minutes [ $\hat{OR} = 2.790$  (95% CI: 1.254, 6.207)] were all independent risk factors for postoperative acute kidney injury (PO-AKI) in children after cardiac surgery ( $P < 0.05$ ). Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis showed that the sensitivity and specificity of  $Pv-aCO_2$  at 30 minutes after aortic cross-clamping were 85.71% (95% CI: 0.791, 0.923) and 43.68% (95% CI: 0.343, 0.530), respectively; those of  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$  at 30 minutes after aortic cross-clamping were 76.19% (95% CI: 0.682, 0.842) and 74.71% (95% CI: 0.665, 0.829); those of  $Pv-aCO_2$  at 45 minutes after aortic cross-clamping were 85.71% (95% CI: 0.791, 0.923) and 58.62% (95% CI: 0.493, 0.679); and those of  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$  at 45 minutes after aortic cross-clamping were 57.14% (95% CI: 0.478, 0.665) and 94.25% (95% CI: 0.899, 0.986). Combined evaluation yielded a sensitivity of 80.95% (95% CI: 0.735, 0.884) and specificity of 87.36% (95% CI: 0.811, 0.936). The areas under the ROC curves (AUCs) for  $Pv-aCO_2$  and  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$  at 30 minutes after aortic cross-clamping were 0.637 (95% CI: 0.592, 0.774) and 0.817 (95% CI: 0.713, 0.885); those at 45 minutes after aortic cross-clamping were 0.724 (95% CI: 0.629, 0.805) and 0.765 (95% CI: 0.673, 0.841), respectively. The combined evaluation achieved the highest AUC of 0.915 (95% CI: 0.845, 0.960), outperforming each single indicator. **Conclusion**  $Pv-aCO_2$  and  $Pv-aCO_2/Ca-vO_2$  are increased during cardiopulmonary bypass in infants with PO-AKI. Both parameters are significant risk factors for PO-AKI, and their combined assessment provides the highest predictive value for evaluating PO-AKI in infants undergoing cardiac surgery.

**Keywords:** postoperative acute kidney injury; cardiac surgery; infant cardiopulmonary bypass; arterial and venous blood gas parameters; risk classification for pediatric kidney diseases; evaluation

急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 是临床常见的高死亡风险的危重症, 其病因较多且机制复杂, 具有发病率高、危害大等特点<sup>[1]</sup>。研究显示, AKI 相较于常规人群具有更高的慢性肾脏病、尿毒症及心血管事件等发生风险, 不仅增加了医疗成本, 也为患者带来较重的身心负担<sup>[2]</sup>。术后急性肾损伤 (post-operative acute kidney injury, PO-AKI) 是临床心脏外

科手术常见的术后并发症, 与患者短期手术并发症及不良结局密切相关<sup>[3]</sup>。由于婴幼儿机体器官发育不全, 因此婴幼儿心脏直视手术往往在体外循环下进行。而体外循环期间由于肾脏灌注及氧供给较低, 可导致患儿具有较高的 PO-AKI 风险<sup>[4]</sup>。资料显示, 在婴幼儿心脏手术中, PO-AKI 发生率 > 40%, 对婴幼儿预后具有较大影响<sup>[5]</sup>。因此针对行心脏手术的

婴幼儿进行 PO-AKI 相关的评估与预测, 对患儿预后的改善具有重要意义。动静脉血气分析参数可良好反映机体代谢情况, 在检测组织器官缺氧方面发挥良好价值。而其中常规乳酸、血氧饱和度等指标在反映组织缺氧方面具有一定价值, 但在敏感性、全面性等方面存在不足。例如, 乳酸水平受多种因素影响, 包括肝肾功能、组织灌注和细胞代谢状态等, 因此其变化可能并不完全反映肾脏的缺氧或损伤情况。而血氧饱和度虽然能反映全身氧合状态, 但对于局部组织, 特别是肾脏的缺氧情况, 其指示作用有限<sup>[6]</sup>。近年来, 有研究采用二氧化碳 CO<sub>2</sub> 评估相关衍生参数对组织器官缺氧情况, 发现静脉-动脉二氧化碳分压差 (venous-arterial carbon dioxide partial pressure difference, Pv-aCO<sub>2</sub>)、Pv-aCO<sub>2</sub> 与动静脉氧含量差 (arteriovenous oxygen difference, Ca-vO<sub>2</sub>) 的比值和重症 ICU 患者心脏术后的不良结局存在关联<sup>[7]</sup>。而目前临床关于上述动静脉血气分析参数与婴幼儿心脏手术发生 PO-AKI 的具体关联的研究少见。鉴于此, 本研究选取 108 例行心脏直视手术患儿, 分析其动静脉血气分析参数与 PO-AKI 的关联, 现报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2022 年 6 月—2024 年 6 月于徐州医科大学附属徐州儿童医院的进行心脏手术的 108 例婴幼儿作为研究对象。纳入标准: ①在本院进行体外循环下心脏直视手术; ②年龄 ≤ 3 岁; ③美国麻醉医师学会 (New York Heart Association, NYHA) 分级 I ~ III 级; ④术前患儿肾功能正常; ⑤临床相关资料完整; ⑥患儿家属知情同意。排除标准: ①非首次心脏手术; ②合并脓毒症等活动性感染; ③术前使用造影剂、肾脏毒性等药物; ④慢性肾病。本研究经医院医学伦理委员会审批通过 (No: 2024-05-16-H16)。

### 1.2 方法

**1.2.1 临床资料收集** 收集所有患儿年龄、性别、体重、NYHA 分级、心功能指标、术前血红蛋白、术前肺动脉高压、体外循环时间、主动脉阻断时间等。

**1.2.2 动静脉血气分析参数** 采用 ST2000 血气分析仪 (武汉明德生物科技股份有限公司) 采集患儿在体外循环期间主动脉阻断 30 min 和 45 min 的动脉、静脉血气, 采样时间间隔 < 10 min, 由于阻断时间 >

90 min 患儿较少因此不纳入分析。测定动静脉二氧化碳分压、动静脉氧分压、动静脉氧饱和度、血红蛋白, 并依据参考文献[8]中的公式计算 Pv-aCO<sub>2</sub> 及 Ca-vO<sub>2</sub>,  $Pv-aCO_2$  (mmHg) = 静脉二氧化碳分压 (mmHg) - 动脉二氧化碳分压 (mmHg),  $Ca-vO_2$  (mL/dL) = 动脉氧饱和度 (%) × 术前血红蛋白 (g/dL) × 1.36 + 0.003 1 × 动脉氧分压 (mmHg) - 静脉氧饱和度 (%) × 术前血红蛋白 (g/dL) × 1.36 + 0.003 1 × 静脉氧分压 (mmHg)。并计算 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub>, 结果取平均值。

**1.2.3 AKI 诊断标准** 术后 5 d, 采用改良儿童肾脏疾病风险分级诊断标准<sup>[9]</sup>评估肾脏损伤程度, 将患儿分为 PO-AKI 组和非 PO-AKI 组。

### 1.3 统计学方法

数据分析采用 SPSS 25.0 软件分析数据。计数资料以构成比或率 (%) 表示, 比较用  $\chi^2$  检验; 计量资料以均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 比较用  $t$  检验; 影响因素的分析用多因素一般 Logistic 回归模型; 绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线。P < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 患儿一般资料

男性 56 例、女性 52 例; 年龄 1 个月 ~ 3 岁, 平均 (14.16 ± 4.13) 个月; 体重 7.2 ~ 16 kg, 平均 (11.45 ± 3.14) kg; NYHA 分级 I、II 级 85 例、III 级 23 例。发生术后 AKI 的患儿 21 例 (19.44%) 作为 PO-AKI 组, 其中危险期 14 例 (12.96%), 损伤期 7 例 (6.48%), 未发生 AKI 的患儿 87 例 (80.56%) 作为非 PO-AKI 组。

### 2.2 两组患儿临床资料比较

两组患儿性别构成、年龄、体重、NYHA 分级、术前左室射血分数、术前血红蛋白、术前肺动脉高压占比和体外循环中最低血红蛋白水平比较, 经  $\chi^2/t$  检验, 差异均无统计学意义 (P > 0.05)。两组患儿体外循环时间、主动脉阻断时间、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub> 水平、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 水平、阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub> 水平和阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 水平比较, 经  $t$  检验, 差异均有统计学意义 (P < 0.05); PO-AKI 组患儿体外循环时间、主动脉阻断时间均长于非 PO-AKI 组, 阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub>、阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub> 和阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 水平均高于非 PO-AKI 组。见表 1。

表 1 两组患儿临床资料比较

组别	n	男/女/例	年龄/(月, $\bar{x} \pm s$ )	体重/(kg, $\bar{x} \pm s$ )	NYHA 分级 例(%)	
					I、II 级	III 级
PO-AKI 组	21	13/8	14.33 $\pm$ 4.19	11.23 $\pm$ 3.01	16(76.19)	5(23.81)
非 PO-AKI 组	87	46/41	14.05 $\pm$ 4.20	11.59 $\pm$ 2.71	69(79.31)	18(20.69)
$\chi^2/t$ 值		0.557	0.274	0.535	0.098	
P 值		0.456	0.784	0.594	0.754	

组别	术前左室射血分数/(%, $\bar{x} \pm s$ )	术前血红蛋白/(g/L, $\bar{x} \pm s$ )	术前肺动脉高压例(%)	体外循环时间/(min, $\bar{x} \pm s$ )	主动脉阻断时间/(min, $\bar{x} \pm s$ )	体外循环中最低血红蛋白/(g/L, $\bar{x} \pm s$ )
PO-AKI 组	65.41 $\pm$ 3.95	119.43 $\pm$ 13.98	9(42.86)	100.73 $\pm$ 7.24	75.71 $\pm$ 9.23	81.68 $\pm$ 10.24
非 PO-AKI 组	66.09 $\pm$ 4.11	120.97 $\pm$ 12.87	41(47.13)	94.59 $\pm$ 7.08	69.44 $\pm$ 8.21	82.09 $\pm$ 9.28
$\chi^2/t$ 值	0.685	0.484	0.124	3.552	3.066	0.178
P 值	0.495	0.629	0.725	0.001	0.003	0.859

组别	阻断 30 min Pv-aCO <sub>2</sub> /(mmHg, $\bar{x} \pm s$ )	阻断 30 min Pv-aCO <sub>2</sub> /Ca-vO <sub>2</sub> /[mmHg/(dL·mL), $\bar{x} \pm s$ ]	阻断 45 min Pv-aCO <sub>2</sub> /(mmHg, $\bar{x} \pm s$ )	阻断 45 min Pv-aCO <sub>2</sub> /Ca-vO <sub>2</sub> /[mmHg/(dL·mL), $\bar{x} \pm s$ ]
PO-AKI 组	13.86 $\pm$ 2.09	4.79 $\pm$ 0.89	14.39 $\pm$ 2.14	4.69 $\pm$ 1.02
非 PO-AKI 组	12.14 $\pm$ 1.96	3.87 $\pm$ 0.67	12.13 $\pm$ 1.87	3.72 $\pm$ 0.62
$\chi^2/t$ 值	3.564	5.280	3.121	5.597
P 值	0.001	0.000	0.002	0.000

### 2.3 影响患儿心脏手术后发生 PO-AKI 的多因素一般 Logistic 回归分析

以患儿心脏手术 PO-AKI 发生情况(未发生=0, 发生=1)为因变量,以体外循环时间(实测值)、主动脉阻断时间(实测值)、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>(实测值)、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub>(实测值)、阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>(实测值)、阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub>(实测值)为自变量,进行多因素一般 Logistic 回

归分析,结果显示:阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub> 水平高[ $\hat{OR}$ =2.447(95% CI: 1.176, 5.094)]、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 水平高[ $\hat{OR}$ =2.627(95% CI: 1.240, 5.566)]、阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub> 水平高[ $\hat{OR}$ =2.394(95% CI: 1.102, 5.203)]和阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 水平高[ $\hat{OR}$ =2.790(95% CI: 1.254, 6.207)]均为患儿心脏手术后发生 PO-AKI 的危险因素( $P < 0.05$ )。见表 2。

表 2 影响患儿心脏手术后发生 PO-AKI 的多因素一般 Logistic 回归分析参数

自变量	b	S <sub>b</sub>	Wald $\chi^2$ 值	P 值	$\hat{OR}$ 值	95% CI	
						下限	上限
阻断 30 min Pv-aCO <sub>2</sub>	0.895	0.374	5.727	0.017	2.447	1.176	5.094
阻断 30 min Pv-aCO <sub>2</sub> /Ca-vO <sub>2</sub>	0.966	0.383	6.361	0.012	2.627	1.240	5.566
阻断 45 min Pv-aCO <sub>2</sub>	0.873	0.396	4.860	0.028	2.394	1.102	5.203
阻断 45 min Pv-aCO <sub>2</sub> /Ca-vO <sub>2</sub>	1.026	0.408	6.324	0.012	2.790	1.254	6.207

### 2.4 动静脉血气分析参数对患儿心脏手术 PO-AKI 的评估效能

经 ROC 曲线分析显示,阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub> 评估的敏感性、特异性分别为 85.71%(95% CI: 0.791, 0.923)、43.68%(95% CI: 0.343, 0.530);阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 评估的敏感性、特异性分别为 76.19%(95% CI: 0.682, 0.842)、74.71%(95% CI: 0.665, 0.829);阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub> 评估的敏感性、特

异性分别为 85.71%(95% CI: 0.791, 0.923)、58.62%(95% CI: 0.493, 0.679);阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 评估敏感性、特异性分别为 57.14%(95% CI: 0.4781, 0.665)、94.25%(95% CI: 0.899, 0.986);联合评估的敏感性、特异性为 80.95%(95% CI: 0.735, 0.884)、87.36%(95% CI: 0.811, 0.936)。阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 的曲线下面积分别为 0.637(95% CI: 0.592, 0.774)、0.817(95% CI: 0.713,



0.885), 阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>、阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 的曲线下面积分别为 0.724 (95% CI: 0.629, 0.805)、0.765 (95% CI: 0.673, 0.841), 联合评估的曲

线下面积为 0.915 (95% CI: 0.845, 0.960), 高于其他单一评估。见表 3 和图 1。

·表 3 动静脉血气分析参数对患儿心脏手术 PO-AKI 的评估效能参数

因素	最佳截断值	曲线下面积	95% CI		敏感 性/%	95% CI		特异 性/%	95% CI	
			下限	上限		下限	上限		下限	上限
阻断 30 min Pv-aCO <sub>2</sub>	11.69 mmHg	0.637	0.592	0.774	85.71	0.791	0.923	43.68	0.343	0.530
阻断 30 min Pv-aCO <sub>2</sub> /Ca-vO <sub>2</sub>	4.08 mmHg/(dL·mL)	0.817	0.713	0.885	76.19	0.682	0.842	74.71	0.665	0.829
阻断 45 min Pv-aCO <sub>2</sub>	12.13 mmHg	0.724	0.629	0.805	85.71	0.791	0.923	58.62	0.493	0.679
阻断 45 min Pv-aCO <sub>2</sub> /Ca-vO <sub>2</sub>	4.62 mmHg/(dL·mL)	0.765	0.673	0.841	57.14	0.478	0.665	94.25	0.899	0.986
联合		0.915	0.845	0.960	80.95	0.735	0.884	87.36	0.811	0.936

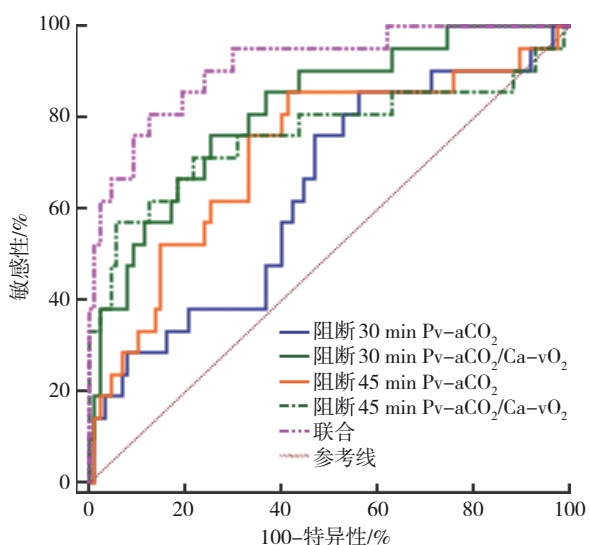


图 1 动静脉血气分析参数对患儿心脏手术 PO-AKI 评估的 ROC 曲线

### 3 讨论

AKI 代表一组临床综合征, 患者表现为短时间内肾功能急剧下降, 体内存在代谢废物残留, 伴有水、电解质紊乱等现象<sup>[10]</sup>。体外循环为婴幼儿大型手术的重要措施, 而术中由于患儿肾脏发育尚不完全, 且心脏病变结构较为复杂, 因此患儿在体外循环下的手术中极易出现 PO-AKI, 增加临床治疗难度, 导致患儿出现预后不佳<sup>[11]</sup>。因此早期诊断评估 PO-AKI 对降低其发生率以及病死率具有重要意义。

本研究结果显示, 两组患儿在体外循环时间、主动脉阻断时间上存在明显差异; 这一结果可能由于在长时间的体外循环中, 婴幼儿肾脏发育不成熟, 因此机体抵抗缺血缺氧损伤, 抵抗体外循环带来的炎症反应能力不足有关<sup>[12]</sup>。此外还本研究还显示, PO-AKI 组阻断 30 min 和阻断 45 min 的 Pv-aCO<sub>2</sub>

和 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 均高于非 PO-AKI 组; 提示患儿发生 PO-AKI 后, 其动静脉血气可发生变化, 在体外循环供氧的前提下, 机体仍然可出现无氧代谢情况; 分析上述原因, 在体外循环中虽然有人工进行气体交换, 但在复温期间仍然易出现无氧代谢、低灌注低氧现象<sup>[13]</sup>; 当机体出现无氧代谢时, 酸性代谢产物可通过碳酸氢根离子缓冲产生 CO<sub>2</sub>, 进而肺血流灌注减少, 同期血流失调, 肺部对 CO<sub>2</sub> 清除能力降低, 出现静脉血 CO<sub>2</sub> 堆积, 导致 Pv-aCO<sub>2</sub> 增加, 因此导致 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 数值增加<sup>[14-16]</sup>。本研究多因素一般 Logistic 回归分析结果显示, 阻断 30 min 和阻断 45 min 的 Pv-aCO<sub>2</sub> 和 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 均为患儿心脏手术后 PO-AKI 发生的影响因素; 这一结果也进一步证实了上述结论。由于动静脉血气指标与患儿 PO-AKI 的良好相关性, 进一步分析其对 PO-AKI 的评估效能发现, ROC 曲线分析显示联合评估与阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>、阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 和阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub> 敏感性 (95% CI) 存在重叠, 同时联合评估与阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 和阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 的特异性 (95% CI) 也存在重叠, 但阻断 30 min Pv-aCO<sub>2</sub> 和 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 评估的曲线下面积分别为 0.637、0.817, 阻断 45 min Pv-aCO<sub>2</sub> 和 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 评估的曲线下面积分别为 0.724、0.765; 联合评估的曲线下面积为 0.915, 提示虽然联合评估的曲线下面积显著大于单个指标, 但在敏感性和特异性的具体数值上, 联合评估并不总是显著高于所有单个指标。然而, 联合评估在整体评估性能上仍然表现出色, 其曲线下面积最大, 表明其在预测 PO-AKI 方面具有较高的准确性; 分析上述原因, 在不同的肾脏单位供血不均衡, 因此在有氧或

者无氧的条件下,能量底物对通路的利用不同,具有不同的缺血缺氧损伤敏感性<sup>[17-19]</sup>;一般的宏观血流动力学指标无法排除局部肾组织的灌注不足现象,而氧分压相关指标也无法准确排除其他因素所致氧利用率低的现象<sup>[20-21]</sup>。Pv-aCO<sub>2</sub>反映了机体无氧代谢的增加,当组织缺氧时,无氧酵解产生大量乳酸,并通过缓冲系统产生 CO<sub>2</sub>,导致静脉血中二氧化碳分压升高<sup>[22-23]</sup>。Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub>则进一步考虑了氧消耗与 CO<sub>2</sub>产生之间的平衡关系,能够更全面地反映组织的代谢状态<sup>[24-25]</sup>。相比常规的血氧饱和度、乳酸等指标,Pv-aCO<sub>2</sub>与 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub>能够更直接地反映肾脏的无氧代谢和灌注状态,且受其他因素影响较小,因此具有良好的评估价值。

综上所述,婴幼儿进行心脏手术后具有较高的 PO-AKI 发生率,并存在 Pv-aCO<sub>2</sub>、及 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub>表达升高,且上述动静脉分析参数与患儿 PO-AKI 的发生存在关联,上述指标单独与联合均可用于临床对婴幼儿术后 AKI 进行良好预测与评估,为临床治疗提供参考。

#### 参 考 文 献:

- [1] 沈雯雯,刘琴,黄凯,等. 血浆可溶性白细胞分化抗原 14 亚型对急性肾损伤患者发生脓毒症的早期诊断价值[J]. 实用临床医药杂志, 2024, 28(10): 46-50.
- [2] 姚俊波,贾波,刘加元,等. 术前血清 V-set 和免疫球蛋白结构域 4 以及长链非编码核糖核酸 SBF2 反义 RNA1 与肾结石患者经皮肾镜取石术后急性肾损伤的关系[J]. 实用临床医药杂志, 2024, 28(10): 29-34.
- [3] 袁莉,刘峻江,杨兆华,等. 心脏移植术后急性肾损伤风险因素: 单中心报告[J]. 复旦学报(医学版), 2023, 50(4): 502-508.
- [4] 冯恋,李敏,姜朕,等. 儿童急性肾损伤临床亚表型的探索及其与预后的关系[J]. 中国当代儿科杂志, 2025, 27(1): 47-54.
- [5] 吴颖,张跃,钱伟伟,等. 腹腔镜保留肾单位手术后急性肾损伤的危险因素分析及临床意义[J]. 中华全科医学, 2023, 21(9): 1457-1460.
- [6] 王慧婷,覃双全,刘笋,等. 超声测量视神经鞘直径联合 Pcv-aCO<sub>2</sub>/Ca-cvO<sub>2</sub> 评估院前 TBI 患者颅内高压的价值[J]. 临床急诊杂志, 2024, 25(12): 633-638.
- [7] 姜辉,郭杨,向洁,等. Pcv-aCO<sub>2</sub>/Ca-cvO<sub>2</sub> 联合血气乳酸水平指导院前创伤性休克患者早期复苏的目标[J]. 创伤外科杂志, 2023, 25(9): 702-708.
- [8] 刘梦菡,章燕,罗明,等. 体外循环中二氧化碳衍生参数与婴幼儿心脏术后急性肾损伤的相关性[J]. 中华医学杂志, 2023, 103(48): 3909-3916.
- [9] 贾爱,罗启鹏,李轶楠,等. 小儿法洛四联症根治术后急性肾损伤诊断标准的评价: pRIFLE 标准和 KDIGO 标准[J]. 中华麻醉学杂志, 2020, 40(5): 533-537.
- [10] 李金泽,李凯,赵国庆. 右美托咪定预防造影剂诱导急性肾损伤机制的研究进展[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(5): 541-544.
- [11] 陈静,赵孟天,李传应,等. 白蛋白与纤维蛋白原比值对体外循环下室间隔缺损修补术患儿术后急性肾损伤的预测价值[J]. 中华危重病急救医学, 2024, 36(5): 527-531.
- [12] 赵长缨,冯哲,牛佳兰,等. 体外循环术中血液灌流降低主动脉夹层术后急性肾损伤发生风险[J]. 中国体外循环杂志, 2023, 21(5): 277-281.
- [13] 许士俊,贡鸣,李扬,等. 体外循环持续时间对主动脉术后急性肾损伤的影响[J]. 心肺血管病杂志, 2023, 42(10): 1049-1055.
- [14] 李会文,陈娇,胡俊龙,等. 基于决策树的重症儿童急性肾损伤预测模型的建立及其预测价值分析[J]. 中国小儿急救医学, 2025, 32(2): 128-134.
- [15] 孟令胜,孔德华,王见斌. Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 评估体外循环心脏术后乳酸清除的研究[J]. 蚌埠医学院学报, 2024, 49(9): 1170-1173.
- [16] 刘倩,王啸,袁会敏,等. PI 联合 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 在脓毒性休克患者病情评估中的作用[J]. 临床急诊杂志, 2025, 26(1): 44-48.
- [17] 马乐,田家豪,李艺佩,等. Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 联合血乳酸对儿童原发性腹膜炎相关脓毒性休克预后的预测价值[J]. 中华危重病急救医学, 2023, 35(1): 77-81.
- [18] 官平,刘倩,王啸,等. 早期 PI 联合 Pv-aCO<sub>2</sub>/Ca-vO<sub>2</sub> 预测老年脓毒性休克的死亡风险[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2024, 18(3): 253-258.
- [19] 刘帅,王泽熙,徐梅先,等. 床旁超声参数在儿童脓毒性休克液体管理中的指导价值[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2024, 19(6): 796-800.
- [20] 徐美玲,吴婉君,容永璋. 外周灌注指数、血乳酸、中心静脉-动脉二氧化碳分压差与动脉-中心静脉氧含量差比值对脓毒症液体复苏预后的评估价值[J]. 中国当代医药, 2024, 31(7): 33-36.
- [21] 顾晓蕾,庾胜,龚菊,等. 基于中心静脉-动脉血二氧化碳分压差及乳酸清除率的早期个体化液体复苏策略在脓毒性休克患者中的疗效研究[J]. 临床急诊杂志, 2024, 25(7): 343-347.
- [22] 朱良峰,沈印,陈万,等. 动脉血二氧化碳分压及血乳酸与体外膜肺氧合患者消化道出血的关联性研究[J]. 中国临床新医学, 2025, 18(2): 184-188.
- [23] 吴国杰,赵静,贾浩然,等. 感染性休克患者 SAA 及 ChE 和 Ppv-aCO<sub>2</sub> 与预后的关联及预测价值[J]. 中华医院感染学杂志, 2024, 34(9): 1281-1285.
- [24] 彭鑫,郑峰,朱滨,等. 二氧化碳衍生指标在脓毒症患者中诊疗价值的研究进展[J]. 中华危重病急救医学, 2024, 36(4): 435-440.
- [25] SÁNCHEZ DÍAZ J S, PENICHE MOGUEL K G, REYES-RUIZ J M, et al. The  $\Delta$ Pv-aCO<sub>2</sub>/ $\Delta$ Ca-vO<sub>2</sub> ratio as a predictor of mortality in patients with severe acute respiratory distress syndrome related to COVID-19[J]. PLoS One, 2023, 18(9): e0290272.

(李科 编辑)

本文引用格式: 李筱颖,李立,徐梦,等. 婴幼儿体外循环中动脉血气分析参数对术后急性肾损伤的评估价值分析[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(22): 81-86.

Cite this article as: LI X Y, LI L, XU M, et al. Value of arterial and venous blood gas parameters during cardiopulmonary bypass in evaluating postoperative acute kidney injury in infants[J]. China Journal of Modern Medicine, 2025, 35(22): 81-86.