

肾区域组织氧饱和度预测紫绀型患儿心脏手术后急性肾损伤的效果

魏碧玉 高明龙 吴庭楣 李红芳 刘永哲

【摘要】 目的 探讨紫绀型先天性心脏病患儿心脏手术围术期肾区域组织氧饱和度 (RrSO₂) 对术后急性肾损伤 (AKI) 的预测价值。方法 选取心肺转流 (CPB) 下接受心脏手术的紫绀型先天性心脏病患儿 36 例, 男 22 例, 女 14 例, 年龄 ≤ 1 岁, 分别于气管插管后 5 min (T₁)、升主动脉夹闭后 5 min (T₂)、升主动脉开放后 5 min (T₃)、CPB 结束 (T₄)、超滤结束 (T₅)、CPB 结束后 3 h (T₆)、CPB 结束后 8 h (T₇)、CPB 结束后 24 h (T₈) 记录 MAP、RrSO₂、鼻咽温, 同时抽取动脉血和中心静脉血进行血气分析, 记录动脉血氧饱和度 (SaO₂)、动脉血 Hb、乳酸 (Lac)、中心静脉血氧饱和度 (ScvO₂), 根据改善全球肾脏病预后组织 (KDIGO) 诊断标准将患儿分为两组: 急性肾损伤组 (D 组) 和正常组 (N 组)。单因素分析两组患儿的临床资料, 将不同时点 MAP、RrSO₂、鼻咽温、Hb、SaO₂、Lac、ScvO₂ 值、有意义变量纳入二元 Logistic 回归分析, 采用受试者工作特征 (ROC) 曲线分析 RrSO₂ 对 AKI 的预测价值。结果 T₃—T₆ 时 D 组 RrSO₂ 明显低于 N 组 ($P < 0.01$)。两组不同时点 MAP、鼻咽温、SaO₂、Hb、Lac 和 ScvO₂ 差异无统计学意义。二元 Logistic 回归分析显示, T₃—T₆ 时 RrSO₂ 是紫绀型先天性心脏病患儿心脏术后 AKI 的危险因素 ($P < 0.05$)。ROC 曲线分析结果显示, T₃—T₆ 时 RrSO₂ 临界值分别为 60.2%、57.2%、55.0%、54.0%, 敏感性分别为 66.7%、83.3%、66.7%、83.3%, 特异性分别为 100%、92%、100%、75%, 曲线下面积分别为 0.896、0.861、0.792、0.840。结论 RrSO₂ 可作为紫绀型先天性心脏病患儿心脏 AKI 的一项无创预测指标。

【关键词】 患儿; 紫绀型先天性心脏病; 心肺转流; 肾区域组织氧饱和度; 急性肾损伤

Predictive effect of renal regional tissue oxygen saturation on acute kidney injury in children with cyanotic infants after cardiac surgery WEI Biyu, GAO Minglong, WU Tingmei, LI Hongfang, LIU Yongzhe. Department of Anesthesiology, Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, China
Corresponding author: LIU Yongzhe, Email: lyzgao@gmail.com

【Abstract】 Objective To investigate the predictive value of renal regional tissue oxygen saturation (RrSO₂) on postoperative acute kidney injury (AKI) in children with cyanotic infant heart surgery. **Methods** Eligibility criteria included thirty-six infants with 0–1 year-old (22 males and 14 females) cyanotic congenital heart disease underwent cardiac surgery under cardiopulmonary bypass (CPB). Mean arterial pressure (MAP), RrSO₂, nasopharyngeal temperature measurements were summarized at eight time points: 5 minutes after tracheal intubation (T₁), 5 minutes after ascending aortic clamping (T₂), 5 minutes after ascending aorta unclamping (T₃), end of CPB (T₄), end of ultrafiltration (T₅), 3 hours after CPB (T₆), 8 hours after CPB (T₇), 24 hours after CPB (T₈). Arterial blood and central venous blood were taken at the same time, blood gas analysis was performed to record arterial oxygen saturation (SaO₂), arterial blood lactate (Lac), arterial hemoglobin concentration (Hb), center venous oxygen saturation (ScvO₂). The children were divided into acute kidney injury group (group D) and normal group (group N) according to the diagnostic criteria of Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO). Univariate analysis of clinical data of two groups of children, MAP, RrSO₂, nasopharyngeal temperature, Hb, SaO₂, Lac, ScvO₂ values, significant variables at different time points were included in binary logistic regression analysis, using receiver operating characteristics (ROC) curve analysis of the predicted value of RrSO₂ for AKI. **Results** The RrSO₂ at T₃–T₆ in group D were significantly lower than those in group N ($P < 0.01$). There was no significant difference in MAP, nasopharyngeal temperature, SaO₂, Hb, Lac and ScvO₂ in different time points. Binary logistic analysis showed that RrSO₂ at T₃–T₆ were the risk factors of AKI in infants

DOI: 10.12089/jca.2020.01.002

基金项目: 北京市科技委员会基金资助项目 (Z171100000417035)

作者单位: 030000 太原市, 山西医科大学麻醉学系 (魏碧玉、吴庭楣); 解放军总医院第七医学中心麻醉科 (高明龙、刘永哲); 北京第二外国语学院校医院 (李红芳)

通信作者: 刘永哲, Email: lyzgao@gmail.com

with cyanotic congenital heart disease ($P < 0.05$). ROC curve analysis showed that when $RrSO_2$ was 60.2%, 57.2%, 55% and 54% at T_3 - T_6 respectively. The sensitivity was 66.7%, 83.3%, 66.7% and 83.3% respectively, and the specificities were 100%, 91.7%, 100% and 75%, respectively, the area under the AUC curve was 0.896, 0.861, 0.792 and 0.840, respectively. **Conclusion** $RrSO_2$ can be used as a non-invasive predictor of AKI in infants with cyanotic congenital heart disease.

【Key words】 Infant; Cyanotic congenital heart disease; Cardiopulmonary bypass; Renal oxygen saturation; Acute kidney injury

随着心肺转流 (cardiopulmonary bypass, CPB) 技术的发展,先天性心脏病(以下简称先心病)患儿存活率显著提高,但是 CPB 期间缺血缺氧造成的术后肾损伤导致患儿并发症增多和死亡率升高^[1]。肾区域组织氧饱和度 (renal regional oxygen saturation, $RrSO_2$) 可无创、实时有效地反映肾组织区域氧气输送的充足性。研究表明围术期低 $RrSO_2$ 与术后急、慢性肾损伤和并发症有关^[2-3],但是年龄 ≤ 1 岁的紫绀型先心病患儿中 $RrSO_2$ 能否准确无创地预测术后急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI), 仍不明确。本研究观察患儿紫绀型先心病手术中 $RrSO_2$ 对患儿术后 AKI 的预测价值,为寻找 AKI 的无创预测指标、术中及早干预,减少患儿术后 AKI 的发生率提供参考。

资料与方法

一般资料 本研究经医院伦理委员会通过 (2016-71), 已在中国临床研究注册中心注册 (ChiCTR1800019190), 与患儿家属签署知情同意书。选择 2018 年 6—12 月接受 CPB 下心脏手术紫绀型先心病患儿,性别不限,年龄 ≤ 1 岁,体重 > 2.5 kg。排除标准:早产儿,肝、肾、肺、脑等重要器官疾病,术前 Lac > 2.5 mmol/L,中心静脉血氧饱和度 ($ScvO_2$) $< 70\%$, 术前有抢救病史。剔除标准:术中及术后心跳骤停、死亡等。

麻醉方法 患儿在病房建立静脉通路,入手术室后连接监护仪,常规监测 HR、 SpO_2 。麻醉诱导:静注咪达唑仑 0.1 mg/kg、芬太尼 10 μ g/kg、罗库溴铵 1 mg/kg。气管插管后调节呼吸机参数:新鲜气体流量 2 L/min, V_T 8~10 ml/kg, RR 35~40 次/分, I:E 1:1.5, FiO_2 50%~90%, 维持 $PaCO_2$ 35~45 mmHg。超声引导下行桡动脉或股动脉穿刺测定有创动脉压、右侧颈内静脉或股静脉穿刺置入 4.5Fr 三腔中心静脉导管测定 CVP。麻醉维持采用静-吸复合麻醉,吸入 1%~2% 七氟醚,根据手术情况追加咪达唑仑、芬太尼和罗库溴铵。术中补液采用复方醋酸钠。围术期根据 BP 泵注肾上腺素和多巴胺。

手术结束后带管回 ICU 进一步监护治疗。麻醉、手术及 CPB 由同一组医师完成。2 岁儿童血 Cr 正常范围 35~40 μ mol/L,根据 KDIGO 推荐的标准,符合以下情况之一即可诊断为 AKI: (1) 48 h 内 Cr 增高 ≥ 26.5 μ mol/L^[5]; (2) 确认或推测 7 d 内 Cr 增高值为基础值的 1.5 倍。

观察指标 由同一位麻醉科医师进行数据采集,分别于气管插管后 5 min (T_1)、升主动脉夹闭后 5 min (T_2)、升主动脉开放后 5 min (T_3)、CPB 结束 (T_4)、超滤结束 (T_5)、CPB 结束后 3 h (T_6)、CPB 结束后 8 h (T_7)、CPB 结束后 24 h (T_8) 记录 MAP、 $RrSO_2$ 、鼻咽温,同时取动脉血和中心静脉血,进行血气分析,记录 SaO_2 、Hb、动脉血 Lac、 $ScvO_2$ 。手术结束记录术中最低温、CPB 时间、手术时间和拔管时间(手术结束至拔除气管导管的时间)。

统计分析 采用 Medcalc15.0 计算样本量,ROC 曲线下面积 (AUC) 最小值为 0.80,检验水准 $\alpha = 0.05$,检验效能 $1-\beta = 0.8$,样本量为 26 例;检验水准 $\alpha = 0.05$,检验效能 $1-\beta = 0.9$,样本量为 34 例,本研究共纳入 36 例紫绀型先心病患儿。采用 SPSS 25.0 统计软件进行处理。正态分布计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,组间比较采用两独立样本 t 检验;计数资料以例数和百分比 (%) 表示,采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。单因素分析 $P < 0.05$ 的因素进入二元 Logistic 回归分析,得出 AKI 的危险因素。采用 MedCalc 绘制 ROC 曲线,根据 AUC 分析 $RrSO_2$ 对术后 AKI 的预测价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

本研究共纳入 36 例患儿, (3.5 \pm 2.7) 月龄,体重 (4.7 \pm 1.1) kg。完全型大动脉转位 8 例,完全型心内膜垫缺损 8 例,法洛四联症 10 例,心上型肺静脉异位引流 10 例。根据患儿是否发生 AKI 将患儿分为两组:AKI 组 (D 组, $n = 12$) 和正常组 (N 组, $n = 24$)^[12]。两组患儿性别、月龄、体重、先心病类型、入室 SpO_2 、术中最低鼻咽温、术中尿量、CPB 时间、手术时间和拔管时间差异无统计学意义 (表 1)。

表 1 两组患儿一般情况的比较

指标	D 组 (n=12)	N 组 (n=24)
男/女(例)	8/4	14/10
月龄(月)	2.8±2.0	2.8±1.5
体重(kg)	4.8±1.4	4.6±0.9
疾病分型[例(%)]		
完全型大动脉转位	2(17)	6(25)
完全型心内膜垫缺损	2(17)	6(25)
法洛四联症	4(33)	6(25)
心上型肺静脉异位引流	4(33)	6(25)
入室 SpO ₂ (%)	85.8±7.1	86.2±4.3
术中最低鼻咽温(°C)	32.1±1.7	31.5±1.6
术中尿量(ml·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	6.7±3.3	7.4±2.1
CPB 时间(min)	110.2±12.5	97.7±19.3
手术时间(min)	198.3±10.8	177.5±18.6
拔管时间(d)	1.5±0.8	1.3±0.9

T₃—T₆ 时 D 组 RrSO₂ 明显低于 N 组 ($P < 0.01$)。T₁、T₂、T₇、T₈ 时两组 RrSO₂ 差异无统计学意义,两组 MAP、鼻咽温组间组内差异无统计学意义(表 2)。

两组 SaO₂、Hb、Lac 和 ScvO₂ 组间组内差异无统计学意义(表 3)。

二元 Logistic 回归分析结果显示, T₃ 时 RrSO₂ (OR=0.337, 95% CI 0.123~0.923, $P=0.034$)、T₄ 时 RrSO₂ (OR=0.637, 95% CI 0.417~0.974, $P=0.037$)、T₅ 时 RrSO₂ (OR=0.685, 95% CI 0.479~0.980, $P=0.038$)、T₆ 时 RrSO₂ (OR=0.736, 95% CI 0.554~0.980, $P=0.036$) 是紫绀型婴幼儿心脏术后 AKI 的危险因素。

ROC 分析结果显示, T₃—T₆ 时 RrSO₂ 预测紫绀型先天性心脏病患儿心脏术后 AKI 的临界值分别为 60.2%、57.2%、55%、54%, 敏感度分别为 66.7%、83.3%、66.7%、83.3%, 特异度分别为 100%、91.7%、100%、75%, AUC 分别为 0.896、0.861、0.792、0.840, 四个时点 AUC 差异无统计学意义(图 1—4)。

讨 论

AKI 是先心病术后常见的严重并发症,尤其是紫绀型患儿,这种合并症病理生理复杂,危险因素多种多样,且与死亡率的增加独立相关,但目前尚缺乏单一药物对肾损伤的预防或治疗有效^[4]。在成人心脏手术中, RrSO₂ 已经作为无创实时的氧合监测广泛应用,且多项研究表明,心脏手术期间根据 RrSO₂ 实时调整灌注,可降低术后 AKI 的发生率^[5],但是 RrSO₂ 在患儿心脏手术中用于监测肾氧供需平衡的报道较少。本研究显示,在紫绀型先心病患儿心脏手术主动脉开放后 5 min、CPB 结束、超滤结束、CPB 结束后 3 h AKI 组 RrSO₂ 明显低于非损伤组,因此 RrSO₂ 可作为术后 AKI 的一项无创预测指标。

心脏手术 CPB 过程中,非搏动性低灌注,肾血流自动调节功能受损及血液与非生物性管道接触引发全身炎症反应综合征一方面通过血管舒张,毛细血管渗透性增加造成肾髓质缺血;血液稀释,血红蛋白浓度降低,携氧能力下降,造成肾髓质缺氧,最终导致肾组织的缺血缺氧性损伤^[5]。RrSO₂ 是利用近红外光谱技术可深入到皮肤下 3~4 cm,根据肾组织中微血管氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白对近红外光谱的吸收和衰减程度不同,计算吸收谱的比值,间接反映肾脏血流量和氧合状态,所以 RrSO₂ 在心脏手术中能否用于预测 AKI 的研究逐年增多,在

表 2 两组患儿不同时点 MAP、RrSO₂ 和鼻咽温的比较($\bar{x}\pm s$)

指标	组别	例数	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈
MAP (mmHg)	D 组	12	51.2±10.8	43.5±1.1	53.8±6.3	52.8±2.3	60.3±8.2	61.7±7.4	62.2±5.4	62.3±2.4
	N 组	24	57.7±9.1	46.5±8.1	53.5±9.8	49.9±7.5	54.3±4.9	62.9±4.8	61.3±3.5	61.1±2.5
RrSO ₂ (%)	D 组	12	61.6±5.3	66.6±1.6	61.0±1.8 ^a	56.5±3.1 ^a	56.7±4.3 ^a	51.3±3.5 ^a	53.7±2.6	61.2±2.4
	N 组	24	62.1±3.5	67.4±2.7	64.8±2.1	62.1±4.3	62.0±3.2	57.9±4.9	55.1±3.4	61.2±2.4
鼻咽温 (°C)	D 组	12	36.4±0.7	31.3±2.1	36.1±0.5	36.7±0.4	36.7±0.4	36.7±0.4	36.7±0.1	36.8±0.2
	N 组	24	36.7±0.6	30.9±1.7	35.4±1.4	36.3±0.8	36.6±0.5	36.7±0.5	36.7±0.2	36.8±0.3

注:与 N 组比较, ^a $P < 0.01$

表 3 两组患儿不同时点 SaO₂、Hb、Lac 和 ScvO₂ 的比较 ($\bar{x}\pm s$)

指标	组别	例数	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈
SaO ₂ (%)	D 组	12	93.0±7.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	99.0±1.0	99.0±1.0	100.0±1.0	99.0±0.0
	N 组	24	94.0±4.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	99.0±3.0	98.0±2.0	98.0±1.0	98.0±1.0
Hb (g/L)	D 组	12	130.2±21.2	75.0±3.1	92.8±2.0	110.3±5.4	124.7±8.3	118.2±20.7	107.3±21.5	112.8±10.2
	N 组	24	113.2±16.9	75.3±4.1	92.4±2.2	104.3±6.8	122.6±9.5	126.1±15.8	122.3±13.3	113.3±12.7
Lac (mmol/L)	D 组	12	0.8±0.2	3.0±0.7	4.0±0.8	5.1±1.1	2.9±0.6	3.0±0.6	2.0±0.4	1.7±0.6
	N 组	24	0.8±0.2	3.1±0.9	4.0±1.1	4.3±1.0	2.4±0.5	2.6±0.6	1.9±0.4	1.4±0.6
ScvO ₂ (%)	D 组	12	71.5±10.0	89.0±7.1	85.3±6.7	84.1±5.2	67.0±6.1	54.5±18.3	51.5±11.9	68.0±10.7
	N 组	24	75.5±11.2	89.7±7.4	86.8±7.3	83.2±7.7	64.4±19.1	55.6±13.3	56.0±13.7	73.9±11.5

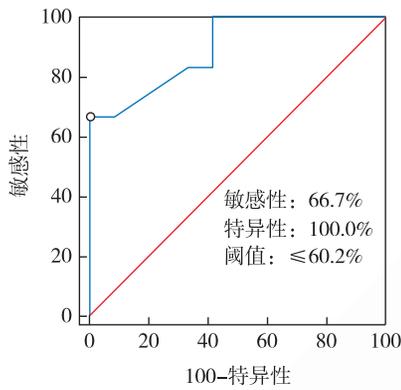


图 1 T₃ 时 RrSO₂ 预测紫绀型先天性心脏病患儿心脏术后 AKI 的 ROC 曲线

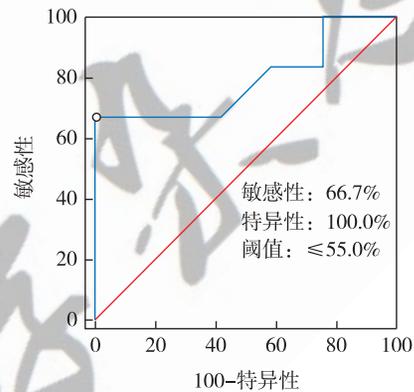


图 3 T₅ 时 RrSO₂ 预测紫绀型先天性心脏病患儿心脏术后 AKI 的 ROC 曲线

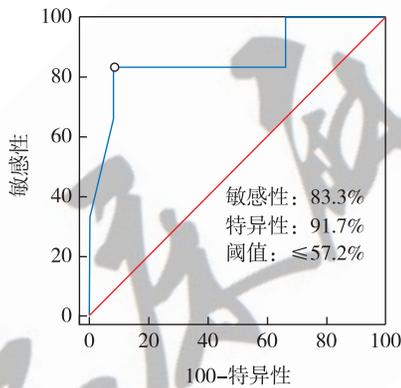


图 2 T₄ 时 RrSO₂ 预测紫绀型先天性心脏病患儿心脏术后 AKI 的 ROC 曲线

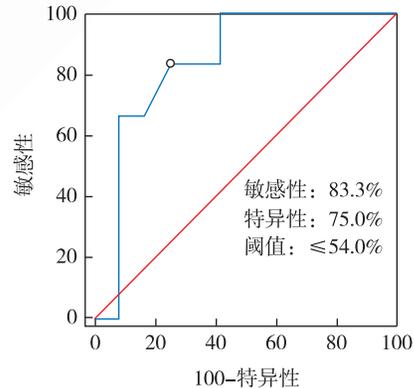


图 4 T₆ 时 RrSO₂ 预测紫绀型先天性心脏病患儿心脏术后 AKI 的 ROC 曲线

一项缺血诱导大鼠 AKI 的研究中表明,缺血诱导后 24 h 内 RrSO₂ 与 24 h 肌酐清除率和血清尿素氮相关,并且可预测肾损伤的组织学改变程度^[6-8]。在一项小儿心脏手术的研究中,ROC 曲线分析显示,CPB 期间 RrSO₂<55%对 AKI 具有最佳预测能力^[9]。以上动物和临床研究都已证明,RrSO₂ 是缺血性 AKI 的影响因素,本研究结果与之一致。

本研究中患儿心脏手术期间,RrSO₂ 随 CPB 阶段的不同表现出不同的变化规律,以往研究并没有给出每个阶段的临界值,本研究通过二分类 Logistic 回归分析得出主动脉开放后 5 min、CPB 结束、超滤结束、CPB 结束后 3 h RrSO₂ 与紫绀型患儿心脏手术后 AKI 的发生有关,ROC 曲线结果分析这四个时点 RrSO₂ 对术后 AKI 均有预测作用且临界值分别

为 60.2%、57.2%、55.0%、54.0%，主要因为主动脉夹闭后，随着温度降低，肾微循环受抑制，肾脏氧代谢率降低， $RrSO_2$ 随之增高，处于过饱和状态^[10]，主动脉开放后随着复温和冠脉再灌注进行，肾脏耗氧量增加超过肾血流量增加， $RrSO_2$ 突然降低易造成肾缺氧性损伤^[11]，心功能不全，左室射血分数低是 AKI 的危险因素^[7]，CPB 结束至 CPB 结束后 3 h 心功能尚未恢复，心输出量的减少，代谢需求增加，仅仅从 $ScvO_2$ 判断氧供需平衡，往往掩盖了终末器官的缺氧状态，易导致术后肾缺血缺氧性损伤^[7,12]，Ortega-Loubon 等^[13] 研究指出，AKI 组术后早期 $RrSO_2$ 明显低于非损伤组， $RrSO_2$ 低于 65% 或者低于基线值 20% 对术后 AKI 有预测作用，本研究结果与之相符。根据本研究 and 以往研究结果，主动脉开放后 5 min、CPB 结束、超滤结束、CPB 结束后 3 h 容易发生氧供需失衡，开始复温时要缓慢复温，增加灌注流量提高肾氧储备，术后早期不仅加强全身氧供需监测，还要加强终末器官如肾、脑氧供需监测、增加肾灌注且围术期维持 $RrSO_2$ 高于 60%，必要时早期预防性使用腹膜透析减轻肾脏负担减少肾损伤发生率^[14]。

本研究不足之处：属于单中心小样本量试验且使用肾损伤标志物血 Cr 敏感性较差，只有肾功能下降 50% 时血 Cr 才升高，而中性粒细胞明胶蛋白酶原蛋白在肾损伤后 2 h 便升高，人肾损伤分子-1 在肾损伤后 6~12 h 升高，这些肾损伤标志物都比肌酐敏感^[15]。

综上所述， $RrSO_2$ 可实时有效地反映肾脏的灌注和氧供需平衡，紫绀型患儿心脏手术围术期 $RrSO_2$ 对术后 AKI 有预测价值， $RrSO_2$ 很有希望成为早期发现和预防心脏术后 AKI 的标志物，根据 $RrSO_2$ 数值及早进行干预，为改善患儿预后提供理论基础。将 $RrSO_2$ 和敏感性强的肾损伤标志物的关联性需要多中心临床研究进一步验证。

参 考 文 献

- [1] Hirano D, Ito A, Yamada A, et al. Independent risk factors and 2-year outcomes of acute kidney injury after surgery for congenital heart disease. *Am J Nephrol*, 2017, 46(3): 204-209.
- [2] Gil-Anton J, Redondo S, Garcia Urabayen D, et al. Combined cerebral and renal near-infrared spectroscopy after congenital heart surgery. *Pediatr Cardiol*, 2015, 36(6): 1173-1178.
- [3] Joffe R, Al Aklabi M, Bhattacharya S, et al. Cardiac surgery-associated kidney injury in children and renal oximetry. *Pediatr Crit Care Med*, 2018, 19(9): 839-845.
- [4] Kwiatkowski DM, Krawczeski CD. Acute kidney injury and fluid overload in infants and children after cardiac surgery. *Pediatr Nephrol*, 2017, 32(9): 1509-1517.
- [5] Vives M, Hernandez A, Parramon F, et al. Acute kidney injury after cardiac surgery: prevalence, impact and management challenges. *Int J Nephrol Renovasc Dis*, 2019, 12: 153-166.
- [6] Kussman BD, Laussen PC, Benni PB, et al. Cerebral oxygen saturation in children with congenital heart disease and chronic hypoxemia. *Anesth Analg*, 2017, 125(1): 234-240.
- [7] Ruf B, Bonelli V, Balling G, et al. Intraoperative renal near-infrared spectroscopy indicates developing acute kidney injury in infants undergoing cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: a case-control study. *Crit Care*, 2015, 19: 27.
- [8] Okumura K, Matsumoto J, Iwata Y, et al. Evaluation of renal oxygen saturation using photoacoustic imaging for the early prediction of chronic renal function in model of ischemia-induced acute kidney injury. *PLoS One*, 2018, 13(12): e0206461.
- [9] Choi DK, Kim WJ, Chin JH, et al. Intraoperative renal regional oxygen desaturation can be a predictor for acute kidney injury after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2014, 28(3): 564-571.
- [10] Ricci Z, Haiberger R, Tofani L, et al. Multisite near infrared spectroscopy during cardiopulmonary bypass in pediatric patients. *Artif Organs*, 2015, 39(7): 584-590.
- [11] 谢越涛, 邢大军, 姚翠翠, 等. 肾氧饱和度监测在婴幼儿非紫绀型先心病手术中的应用及临床意义. *中国医药导报*, 2018, 15(18): 154-157.
- [12] Lighthall GK, Singh S. Perioperative maintenance of tissue perfusion and cardiac output in cardiac surgery patients. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*, 2014, 18(2): 117-136.
- [13] Ortega-Loubon C, Fernández-Molina M, Fierro I, et al. Postoperative kidney oxygen saturation as a novel marker for acute kidney injury after adult cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(6): 2340-2351.
- [14] Ortega-Loubon C, Fernández-Molina, Manuel, et al. The relevance of renal oxygen saturation over other markers in cardiac surgery-associated acute kidney injury. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(10): 2622-2623.
- [15] Pianta TJ, Succar L, Davidson T, et al. Monitoring treatment of acute kidney injury with damage biomarkers. *Toxicol Lett*, 2017, 268: 63-70.

(收稿日期:2019-04-29)