

## 自体冷血停搏液对紫绀型先心病婴儿心脏的保护作用

马超 沈定荣 张青 孟祥春 王元祥 彭乐 孟保英

(中国医科大学深圳儿童医院心血管中心,广东 深圳 518026)

**【摘要】** 目的 探讨自体冷血停搏液对紫绀型先心病婴儿心脏的保护作用。方法 96例行体外循环术的紫绀型先心病婴儿随机分为:HTK液组(HTK组,32例)、非自体冷血停搏液组(非自体组,32例)和自体冷血停搏液组(自体组,32例),阻断前和主动脉开放30 min取右心耳组织,检测ATP的含量及能量储备(EC);术前和术后即刻取静脉血,测肌酸激酶同工酶(CK-MB)和心肌肌钙蛋白I(cTnI)的浓度;记录术中复跳时间、复跳率、术后2 h心脏指数(CI)、正性肌力药物依赖情况和左室射血分数、术后24 h心律失常发生率、术后并发症及病死率等。结果 主动脉开放30 min后,3组ATP和EC含量均显著降低( $P < 0.05$ ),其中自体组较HTK组和非自体组高,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。3组术后即刻CK-MB和cTnI血清浓度均显著增加( $P < 0.05$ ),其中自体组较HTK组和非自体组低,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。自体组在复跳时间、术后2 h正性肌力药物依赖及左心射血分数上优于HTK组和非自体组,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。结论 在紫绀型先心病婴儿体外循环下,自体冷血停搏液比非自体冷血停搏液与HTK液能更好地保存心肌细胞能量,减轻心肌损伤,对心脏具有较好的保护作用。

[中国当代儿科杂志,2013,15(6):453-457]

**【关键词】** 未成熟心肌;紫绀型先心病;自体冷血停搏液;心肌损伤;婴儿

### Protective effect of cold autologous blood cardioplegic solution on the heart of infants with cyanotic congenital heart disease

MA Chao, SHEN Ding-Rong, ZHANG Qing, MENG Xiang-Chun, WANG Yuan-Xiang, PENG Le, MENG Bao-Ying. Cardiovascular Center, Shenzhen Children's Hospital of China Medical University, Shenzhen, Guangdong 518026, China (Email: mcxsm@163.com)

**Abstract: Objective** To study the protective effect of cold autologous blood cardioplegic solution on the heart of infants with cyanotic congenital heart disease (CCHD). **Methods** Ninety-six infants with CCHD who underwent cardiopulmonary bypass (CPB) were randomly and equally divided into three groups: histidine-tryptophan-ketoglutarate (HTK) solution, cold non-autologous blood cardioplegic solution, and cold autologous blood cardioplegic solution. The right auricular tissues were taken before aortic cross-clamping and at 30 minutes after aortic declamping, and ATP level and energy charge (EC) in the myocardium were measured. Venous blood was collected before and immediately after CPB, and the serum levels of creatine kinase (CK)-MB and cardiac troponin I (cTnI) were measured. The clinical parameters, such as the re-beat time and re-beat rate during CPB, cardiac index, dependence on positive inotropic agents, and left ventricular ejection fraction (LVEF) at 2 hours after CPB, the incidence rate of arrhythmia within 24 hours after CPB, and postoperative complications and mortality, were recorded. **Results** At 30 minutes after aortic declamping, the three groups showed significantly decreased ATP and EC levels ( $P < 0.05$ ), and the cold autologous blood group had significantly higher ATP and EC levels than the other two groups ( $P < 0.05$ ). Immediately after CPB, the three groups showed significantly increased serum levels of CK-MB and cTnI ( $P < 0.05$ ), and the cold autologous blood group had significantly lower serum levels of CK-MB and cTnI than the other two groups ( $P < 0.05$ ). The cold autologous blood group had significantly better outcomes than the other two groups in terms of the re-beat time during CPB and the dependence on positive inotropic agents and LVEF at 2 hours after CPB ( $P < 0.05$ ). **Conclusions** Cold autologous blood cardioplegic solution is superior to HTK and cold non-autologous blood cardioplegic solutions in preserving myocardial energy and reducing myocardial injury in infants with CCHD who undergo CPB, thus providing a better protective effect on the heart. [Chin J Contemp Pediatr, 2013, 15(6):453-457]

**Key words:** Immature myocardium; Cyanotic congenital heart disease; Cold autologous blood cardioplegic solution; Myocardial injury; Infant

婴儿的未成熟心肌细胞能量贮备少,对缺血缺氧敏感,紫绀型先心病婴儿在体外循环术阻断期间的缺血再灌注会严重加重心肌损伤<sup>[1-2]</sup>,能量缺乏引起心肌细胞能量储备的消耗,最终引发病理生理改变是心肌损伤的主要原因<sup>[3]</sup>,心脏停搏液的选用是减轻紫绀型心肌缺血再灌注损伤的关键因素。目前临床常用的心脏停搏液有 HTK 液和冷血停搏液,其中 HTK 液是细胞内液型心脏停搏液,而冷血停搏液具有低温、高钾和氧合血的特点。我中心自行研制的自体冷血停搏液,是体外循环前经主动脉抽取患儿的自体动脉血配制而成,其特点是血液中各种成分没有被破坏,至目前已应用于几千例患儿,效果良好。本研究通过对紫绀型先心病婴儿应用不同的心脏停搏液,探讨自体冷血停搏液的作用特点,以寻求紫绀型未成熟心肌的最佳心脏停搏液。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

选取 2008 年 1 月至 2011 年 1 月入我中心行体外循环术(年龄为 12 个月以下)的紫绀型先天性心脏病患儿 96 例,排除肝肾功能障碍、肿瘤等合并症,其中法洛四联征(Tetralogy of Fallot, TOF) 79 例,大动脉转位合并室缺及肺动脉狭窄 3 例,右室双出口合并大动脉转位 4 例,合并肺动脉狭窄的完全肺静脉异位引流 4 例、三尖瓣闭锁及功能性单心室 3 例,右室双出口合并肺动脉狭窄 3 例。经医院伦理委员会批准,依监护人知情同意的原则按住院顺序,用随机数字表法分为 3 组,即 HTK 液组(HTK 组)、非自体冷血停搏液组(非自体组)和自体冷血停搏液组(自体组),每组 32 例,3 组基本资料见表 1。3 组患儿均经气管插管行静脉复合全身麻醉,由同一组医生和体外循环师在中低温(25~30℃)下完成心内直视手术。

### 1.2 方法

1.2.1 心脏停搏液的配制 HTK 液(HTK 组用):采用德国 Koehler 公司的 HTK 液;非自体冷血停搏液(非自体组用):经氧合器将氧合血与晶体按 4:1 比例混合配制成血停搏液;自体冷血停搏液(自体组用):体外循环术开始前,经主动脉根部按血液与晶体为 4:1 的比例快速抽取血液 30 s,保持主动脉收缩压大于等于 50 mm Hg,自体冷血停搏液制备后经主动脉插管补充血容量以维持循环稳定。各组 K<sup>+</sup>浓度均为 20 mmol/L,浸入冰屑液中制成 4℃冷停搏液备用。

1.2.2 灌注方法 3 组灌注方法无区别:停搏液均保持 4℃,升主动脉阻断后,由主动脉根部灌入,首次

剂量 30 mL/kg,最初保持灌注压 40 mm Hg 左右,快速灌注至心肌电活动静止后减慢速度,降低灌注压至 30 mm Hg,维持 6 min;间隔 30 min 重复一次灌注,第二次剂量减半。

1.2.3 心肌取材及保存方法 分别在主动脉阻断前和主动脉开放 30 min 取右心耳 20~40 mg,迅速称重后投入液氮中,-80℃保存。

1.2.4 检测指标及方法 (1)能量物质的检测方法:用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)检测心肌组织中 ATP 的含量及能量储备(energy charge, EC)的值[ $EC = (ATP + 0.5 ADP) / (ATP + ADP + AMP)$ ],试剂盒购自南京建成生物工程研究所,所用仪器为美国 Waters 公司 2695 型 HPLC 仪。基本步骤为:心肌组织复温后,加入 4℃的 0.5 mol/L 高氯酸 1 mL 研磨匀浆,4℃下 20000 rpm 离心 15 min,取上清液调节 pH 值至 6.5~7.0 之间,重复离心后取上清液 50 μL 进行 HPLC,以峰高定值。(2)心肌损伤指标的检测:以血清肌酸激酶同工酶(CK-MB)和心肌肌钙蛋白 I(cTnI)做为心肌损伤的指标,分别在体外循环前和术后即刻取静脉血 3 mL,于 2 h 内以 4000 rpm 离心 10 min 后取血清置于 -20℃冰箱保存;CK-MB 在全自动化生化分析仪上测量,应用美国 Beckman 公司试剂盒,正常参考值 0~25 U/L; cTnI 试剂盒购自德国 Simens 公司,采用德国 Simens 全自动发光免疫分析仪,应用化学发光法测定,参考值为 0~0.06 μg/L。

(3)术中及术后记录指标:记录术中复跳时间(即从主动脉开放后至心脏复跳转为窦性节律时间)、复跳率、术后 2 h 采用尼克-3000 无创血流动力学检测系统动态监测安静状态下的心脏指数(CI)和正性肌力药物依赖情况、以常规二维心脏超声用 Simpson 法测术后 2 h 左心射血分数、术后 24 h 心律失常(包括阵发性室上性心动过速、频发房性早搏、II°以上房室传导阻滞、室性早搏、室颤)发生率(%)、术后并发症及死亡率等情况。

### 1.3 统计学分析

采用 SPSS 16.0 统计软件对数据进行统计学分析,计量资料用均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,多组间比较采用方差分析(即 F 检验),组间两两比较采用 LSD-t 检验;计数资料以比值或百分率表示,组间比较采用卡方检验, P < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 3 组间一般临床资料的比较

术中 HTK 组 1 例患儿因弥漫性血管内凝血而

死亡,未获取心肌组织。其余95例患儿均成功纳入统计,且术后24 h内无死亡病例,3组患儿临床资料比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表1。

### 2.2 3组能量物质和心肌损伤指标的比较

2.2.1 能量代谢指标 3组间心肌组织ATP和EC含量在主动脉阻断前差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。3组心肌组织ATP和EC含量在主动

脉开放30 min后均显著降低( $P < 0.05$ )。主动脉开放30 min后ATP和EC含量在自体组、HTK组和非自体组的比较中差异均有统计学意义( $P < 0.01$ ),其中自体组ATP和EC含量显著高于HTK组和非自体组( $P < 0.05$ ),HTK组和非自体组EC含量在主动脉开放30 min差异亦有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表2。

表1 3组患儿临床资料的比较

组别	例数	男/女 (例)	年龄 ( $\bar{x} \pm s$ ,月)	体重 ( $\bar{x} \pm s$ ,kg)	先心病种类 (TOF/其他,例)	心功能 II/III/IV(例)	左室射血分数 ( $\bar{x} \pm s$ ,%)	阻断时间 ( $\bar{x} \pm s$ ,min)
HTK组	31	20/11	8 ± 3	6 ± 3	26/5	10/19/2	62 ± 6	88 ± 17
非自体组	32	19/13	7 ± 3	6 ± 3	28/4	11/18/3	63 ± 7	90 ± 19
自体组	32	21/11	7 ± 2	6 ± 3	25/7	11/19/2	62 ± 7	87 ± 18
$\chi^2/(F)$ 值		0.31	(0.34)	(0.03)	1.02	0.44	(0.17)	(0.23)
P值		0.86	0.71	0.97	0.60	0.98	0.85	0.80

表2 3组主动脉阻断前后能量物质ATP和能量储备(EC)的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	ATP ( $\mu\text{mol}/\text{mg}$ )		EC	
		主动脉阻断前	主动脉开放30 min	主动脉阻断前	主动脉开放30 min
HTK组	31	1.38 ± 0.27	0.52 ± 0.09 <sup>c</sup>	0.55 ± 0.08	0.31 ± 0.01 <sup>c</sup>
非自体组	32	1.39 ± 0.18	0.51 ± 0.15 <sup>d</sup>	0.57 ± 0.06	0.29 ± 0.04 <sup>a,d</sup>
自体组	32	1.37 ± 0.29	0.80 ± 0.22 <sup>a,b,c</sup>	0.54 ± 0.09	0.40 ± 0.02 <sup>a,b,c</sup>
F值		0.11	26.84	1.11	135.94
P值		0.89	<0.001	0.34	<0.001

a:与HTK组比较, $P < 0.05$ ;b:与非自体组比较, $P < 0.05$ ;c:与本组主动脉阻断前比较, $P < 0.05$ ;d:与本组主动脉阻断前比较, $P < 0.01$

2.2.2 心肌损伤指标 3组间CK-MB和cTnI血清浓度在体外循环术前差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。术后即刻3组CK-MB和cTnI血清浓度均显著性增加( $P < 0.05$ )。术后3组间的CK-MB和cTnI血清浓度差异均有统计学意义( $P < 0.01$ ),其中自体组术后血清CK-MB和cTnI浓度均显著低于HTK组和非自体组( $P < 0.05$ ),HTK组和非自体组的cTnI血清浓度在术后即刻的差异亦有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表3。

2.2.3 术中及术后记录指标 复跳率均为100%。自体组复跳时间明显低于HTK组和非自体组( $P < 0.05$ ),HTK组和非自体组比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );术后2 h CI在3组间差异无统计学意义( $P > 0.05$ );自体组正性肌力药物依赖率明显低于HTK组和非自体组( $P < 0.05$ ),HTK组和非自体组比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );自体组术后2 h左心射血分数明显高于HTK组和非自体组( $P < 0.05$ ),HTK组和非自体组比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );术后24 h心律失常发生率:仅HTK组有1例术后5 h出现阵发性室上性心动过速,但3组比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );3组间术后并发症发生率差异无统计学意义( $P > 0.05$ );术后HTK组1例因低心排于术后37 h死亡,非自体组1例因术后肾功能衰竭行透析,于术后42 h死于多器官功能衰竭,但3组差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表4。

表3 3组体外循环术前后心肌损伤指标CK-MB和cTnI的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	CK-MB(U/L)		cTni( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	
		术前	术后即刻	术前	术后即刻
HTK组	31	33 ± 9	66 ± 8 <sup>c</sup>	0.08 ± 0.06	0.60 ± 0.37 <sup>c</sup>
非自体组	32	34 ± 9	68 ± 10 <sup>c</sup>	0.09 ± 0.05	0.78 ± 0.35 <sup>a,c</sup>
自体组	32	33 ± 10	52 ± 9 <sup>a,b,c</sup>	0.08 ± 0.07	0.41 ± 0.28 <sup>a,b,c</sup>
F值		0.09	29.33	0.11	9.94
P值		0.92	<0.01	0.89	<0.01

a:与HTK组比较, $P < 0.05$ ;b:与非自体组比较, $P < 0.05$ ;c:与本组主动脉阻断前比较, $P < 0.05$

表4 3组体外循环术中及术后记录指标的比较

组别	例数	复跳时间 ( $\bar{x} \pm s, s$ )	复跳率 [例(%)]	术后2h CI ( $\bar{x} \pm s,$ $L/min \cdot m^2$ )	术后2h 正性肌力 药物依赖 [例(%)]	术后2h 左心射血 分数 ( $\bar{x} \pm s$ )	术后 24h 心律失常 [例(%)]	术后并发症 [例(%)]	病死率 [例(%)]
HTK组	31	100 ± 38	31(100)	2.82 ± 0.29	15(48)	44 ± 6	1(3)	4(13)	1(3)
非自体组	32	101 ± 35	32(100)	2.83 ± 0.34	16(50)	44 ± 6	0(0)	5(16)	1(13)
自体组	32	67 ± 21 <sup>a,b</sup>	32(100)	3.01 ± 0.42	6(19) <sup>a,b</sup>	51 ± 6 <sup>a,b</sup>	0(0)	3(9)	0(0)
$\chi^2(F)$ 值		(7.59)	—	(2.25)	8.30	(12.87)	2.26	0.58	1.67
P值		<0.01	—	0.11	0.02	<0.01	0.32	0.75	0.44

a:与HTK组比较,  $P < 0.05$ ; b:与非自体组比较,  $P < 0.05$

### 3 讨论

婴幼儿和新生儿的心肌为未成熟心肌,在心肌能量代谢与对缺血缺氧的耐受方面较成熟心肌有差异<sup>[4]</sup>,如缺氧状态下心肌对缺血缺氧的耐受性会降低,紫绀型未成熟心肌术后心功能恢复能力会减弱<sup>[5]</sup>。王华等<sup>[6]</sup>认为心脏复苏困难主要是由于患者心肌细胞能量储备严重不足和心功能损伤较重,术后发生并发症和病死率与术中的心肌保护程度有关<sup>[7]</sup>。研究表明体外循环术时应用心脏停搏液可以防止和逆转心肌再灌注损伤,降低术后并发症的发生率及死亡率<sup>[8]</sup>。

目前国内临床使用于未成熟心肌的心脏停搏液以传统的HTK停搏液和冷血停搏液<sup>[9-10]</sup>为主。其中HTK停搏液难以提供血液中特有的营养物质,冷血停搏液虽然有含氧合血的特点,但需经氧合管道非生物材料接触,会释放大量损伤心肌的物质,如炎症因子等。本中心在体外循环前经主动脉抽取患儿自体动脉血配制的自体冷血心脏停搏液,避免了上述心脏停搏液的弊端,使心脏停搏前出现短时间的全身器官缺血预适应<sup>[11]</sup>,血液中含有氧合血红蛋白及溶解氧,还有丰富的葡萄糖、乳酸和游离脂肪酸等能量底物,为满足心肌有氧代谢和无氧酵解提供物质基础。本研究则通过对紫绀型未成熟心肌能量代谢和心肌损伤的影响的角度来探讨自体冷血心脏停搏液的作用特点。

本研究发现3组的ATP和EC在主动脉阻断前差异没有统计学意义,主动脉开放30min后ATP和EC在3组心肌组织的含量均显著降低,表明主动脉开放后心肌出现了缺血再灌注损伤,HTK组的EC含量显著高于非自体冷血停搏液组,但自体冷血停搏液组的ATP和EC含量显著高于非自体冷血停搏液组与HTK组。心脏直视手术中冠脉血流阻断后,

缺血导致心肌组织中高能磷酸键快速的消耗,此时葡萄糖酵解提供的少量ATP成为维持心肌细胞存活的唯一来源,能量不足致使游离脂肪酸氧化增强,进一步加重心肌的缺氧和细胞内酸中毒,从而可能会加重心肌细胞的损伤,大量的ATP和EC是心肌细胞完成生理功能和维护心功能的重要能量基础。所以从能量代谢角度来评价:对于紫绀型心脏病患儿,HTK液优于非自体冷血停搏液,而自体冷血停搏液优于非自体冷血停搏液和HTK液。

本研究的心肌损伤指标检测表明血清CK-MB和cTnI的浓度在体外循环术前3组之间差异无统计学意义,但均超出了正常参考范围,证明紫绀型先心病患儿均有不同程度的心肌损害;术后即刻3组的心肌损伤指标CK-MB和cTnI均显著升高,表明无论用何种停搏液,体外循环术均对心肌造成严重损伤。但术后即刻HTK液组cTnI的血清浓度显著低于非自体冷血停搏液组,而自体组血清CK-MB和cTnI浓度均显著低于非自体组与HTK组,表明HTK液组心肌损伤程度低于非自体组,而自体组心肌损伤程度低于非自体组与HTK组。

在进一步的术中和术后的心脏功能记录中发现,复跳时间、正性肌力药物依赖情况及术后2h左心射血分数在自体组与HTK组、非自体组间比较差异均有统计学意义,此3种指标在HTK液组和非自体组间的差异无统计学意义。因此无论从能量的角度还是从心肌细胞损伤和心脏功能保护的角度来评价,对于紫绀型未成熟心肌,HTK液在一定程度上优于非自体冷血停搏液,而自体冷血停搏液优于非自体冷血停搏液和HTK液。

自体冷血停搏液优于HTK液可能与HTK液难以提供血液中的特有的营养物质有关,具体原因有待进一步探索。已有研究表明,自体冷血停搏液对非紫绀型先心病患儿的未成熟心肌保护优于非自体冷血停搏液<sup>[12]</sup>,但对于体循环缺氧的紫绀型先心病患儿,自体冷血停搏液为什么会优于非自体冷血停搏

液<sup>[13]</sup>? 在慢性缺氧条件下,紫绀型先心病患儿心肌细胞中有诸如 JAK-STAT3 调节机制<sup>[14]</sup>、HIF-1 $\alpha$  因子表达增加等机制参与慢性缺氧状态下心肌代谢的适应性调节<sup>[15]</sup>,可能正是由于这种心肌细胞的自我调节和适应机制使紫绀型先心病患儿的自体冷血停搏液对心肌的保护作用优于含氧的非自体冷血停搏液。

虽然自体冷血停搏液在临床的应用优缺点仍处于研究探讨阶段,但结合本中心以往研究<sup>[10,12,16]</sup>的结果认为,在紫绀型先心病患儿体外循环中,应用自体冷血停搏液比非自体冷血停搏液与 HTK 液能更好地保存心肌细胞能量,减轻心肌损伤,有利于保护心脏及其功能,值得开展进一步的临床研究和推广应用。

### [参 考 文 献]

[1] Kaczorowski DJ, Tsung A, Billiar TR. Innate immune mechanisms in ischemia/reperfusion[J]. *Front Biosci*, 2009, 1: 91-98.  
[2] Peart JN, Headrick JP. Clinical cardioprotection and the value of conditioning responses[J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2009, 296(6): H1705-H1720.  
[3] 杨娜, 刘翊波, 刘陶文. 未成熟心肌保护的研究进展[J]. *医学综述*, 2010, 16(8): 1205-1207.  
[4] 徐树彬. 未成熟心肌再氧合损伤的研究进展[J]. *医学综述*, 2009, 15(6): 864-866.  
[5] Ihnken K. Myocardial protection in hypoxic immature hearts[J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2000, 48(1): 46-54.

[6] 王华, 李欣, 殷凤珍. 受损心脏体外循环过程中复苏困难的处理[J]. *中国体外循环杂志*, 2004, 2(1): 49-50.  
[7] Durandy Y. Pediatric myocardial protection[J]. *Curr Opin Cardiol*, 2008, 23(2): 85-90.  
[8] 刘超, 闵苏. 心肌保护液添加剂的研究进展[J]. *临床麻醉学杂志*, 2011, 27(1): 87-89.  
[9] 王鹏高, 罗淑颖, 牛松涛, 张卫东. 不同心脏停搏液对体外循环中未成熟心肌保护作用的研究[J]. *中国现代医生*, 2009, 47(12): 20-22.  
[10] 于坤, 刘迎龙. 冷血停搏液对法洛四联症婴幼儿心肌代谢的影响[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2002, 18(2): 96-98.  
[11] 沈定荣, 王涛, 张青, 马超, 孟保英. 自体冷血心脏停搏液对未成熟心肌细胞三磷酸腺苷及二磷酸腺苷的影响[J]. *中国体外循环杂志*, 2010, 8(4): 215-218.  
[12] 张青, 孟保英, 彭乐, 王涛, 马超, 陶静. 自体冷血停搏液对婴幼儿心肌保护机制的研究[J]. *中国当代儿科杂志*, 2009, 11(8): 638-640.  
[13] 刘哲亮, 吴忠仕, 胡建国, 杨一峰, 陈勇, 高华, 等. 紫绀型先天性心脏病患儿血清 VEGF 和 SDF-1 水平与循环 EPCs 的相关性研究[J]. *中国当代儿科杂志*, 2009, 11(4): 267-272.  
[14] Wang M, Wang Y, Abarbanell A, Tan J, Weil B, Herrmann J, et al. Both endogenous and exogenous testosterone decrease myocardial STAT3 activation and SOCS3 expression after acute ischemia and reperfusion[J]. *Surgery*, 2009, 146: 138-144.  
[15] 蹇朝, 马瑞彦, 王咏, 陈劲进, 陈林, 钟前进, 等. 缺氧诱导因子-1 $\alpha$  在紫绀型先心病患儿心肌中的表达[J]. *第三军医大学学报*, 2009, 31(12): 1189-1192.  
[16] 张青, 王涛, 彭乐, 马超, 孟保英, 赵春玉. 自体冷血停搏液对婴幼儿心肌保护作用[J]. *中国体外循环杂志*, 2009, 7(1): 1-3.

(本文编辑:周勇)