

· 临床研究 ·

先心病术后早期外周血管阻力变化及其影响因素

李泉林¹, 鲁中原¹, 王 澎¹, 周宇子¹, 陈雪婷¹, 李守军², 王 旭¹

(中国医学科学院阜外医院小儿心脏中心: 1. 儿童重症监护室, 2. 外科, 北京 100037)

摘要: 目的 探索先心病术后早期外周血管阻力(SVR)变化情况及其影响因素。方法 随机连续纳入 2020 年 10 月~2020 年 12 月中国医学科学院阜外医院小儿外科术后恢复室接诊患儿, 共纳入 80 例, 分为非体外循环组 19 例, 体外循环组 61 例。为更好的研究 SVR 在不同疾病中的情况, 体外循环组分为非紫绀型先心病组(40 例)及紫绀型组(21 例)两个亚组。记录返回 PICU 即刻的 SVR 等血流动力学参数及相关术前术中数据等, 总结分析 SVR 情况及其影响因素。结果 与非体外循环组相比较, 体外循环组的体质量、身高、术前血氧饱和度、术后血氧饱和度的数值均下降(均 $P < 0.05$); 与非紫绀型先心病组相比较, 紫绀型先心病组术前的血氧饱和度下降、术后血氧饱和度下降、CPB 时间增加、术后 LVEF 值下降(均 $P < 0.05$)。体外循环组患儿术后 SVRI 较非体外循环组患儿明显减低 [(1357±299) vs. (1129±330), $P < 0.01$], 进一步比较体外循环各亚组与非体外循环组的 SVRI, 非紫绀型先心病患儿术后 SVRI 较非体外循环组无明显差异, 而紫绀型先心病患儿术后 SVRI 明显减低 ($P < 0.01$)。体外循环组组内比较, 紫绀型先心病患儿术后 SVRI 较非紫绀型患儿显著减低 ($P < 0.01$), 同时紫绀型先心病患儿术后 CI 较非紫绀型患儿显著升高 ($P < 0.01$), 紫绀组患儿术后 SVV 虽较非紫绀型患儿升高, 但没有明显统计学差异。回归分析示术后 SVRI 与体质量呈正相关 ($r = 25.079$, $P < 0.05$), 与体外循环时间呈负相关 ($r = -2.831$, $P < 0.05$)。结论 非紫绀型先天性心脏病术后外周血管阻力可维持基本正常水平, 紫绀型先心病患儿术后外周血管阻力会明显下降, 甚至可能会增加发生血管麻痹综合征的风险。体外循环术后患儿 SVRI 主要受体质量和体外循环时间影响, 体质量越低、体外循环时间越长, 术后其外周血管阻力可能会越低。

关键词: 外周血管阻力; 先天性心脏病; 体外循环; 血管麻痹综合征

中图分类号: R541.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-7236(2022)05-0567-06

DOI: 10.12125/j.chj.202109044

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



网络出版地址: <http://www.heartj.cn/article/doi/10.12125/j.chj.202109044>

Changes of systemic vascular resistance and its influencing factors in early postoperative period of congenital heart disease

LI Quan-lin¹, LU Zhong-yuan¹, WANG Peng¹, ZHOU Yu-zi¹, CHEN Xue-ting¹, LI Shou-jun², WANG Xu¹

(1. Pediatric ICU, 2. Department of Surgery, Pediatric Cardiac Center, Fuwai Hospital, Chinese Academy of Medical Science, Beijing 100037, China)

Abstract: **AIM** To explore the changes of systemic vascular resistance and its influencing factors in the early postoperative period of congenital heart disease (CHD). **METHODS** Randomly included in this study were the children in the PICU of Fuwai Hospital from October 2020 to December 2020. A total of 80 children were enrolled, 19 in non-cardiopulmonary bypass group and 61 in cardiopulmonary bypass group. In order to better study the status of peripheral SVR in different diseases, the cardiopulmonary bypass group was subdivided into non-cyanotic group (40 cases) and cyanotic group (21 cases). At the time when children returned to PICU, we immediately recorded SVR and other hemodynamic parameters as well as related preoperative and intraoperative data, and analyzed the SVR and its influencing factors.

通讯作者: 王旭, 主任医师, 主要从事心脏外科重症疾病研究 Email: fwpicu@163.com

作者简介: 李泉林, 住院医师, 硕士 Email: liquanlin521216@163.com

RESULTS Compared with the non-CPB group, the body mass, height, preoperative blood oxygen saturation, and postoperative blood oxygen saturation in the CPB group decreased ($P<0.05$); compared with the non-cyanotic CHD group, in the cyanotic CHD group, the preoperative blood oxygen saturation decreased, the postoperative blood oxygen saturation decreased, the CPB time increased, and the postoperative LVEF value decreased ($P<0.05$). The postoperative SVRI of the children in the CPB group was significantly lower than that in the non-CPB group ($1\ 357 \pm 299$ vs. $1\ 129 \pm 330$, $P<0.01$). The SVRI of the CPB subgroups was further compared with the non-CPB group, the postoperative SVRI of the children with non-cyanotic CHD was not significantly different from that of the non-CPB group, while the peripheral SVRI of the children with cyanotic CHD was significantly decreased ($P<0.01$). In the cardiopulmonary bypass group, the postoperative SVRI of the children with cyanotic CHD was significantly lower than that of the non-cyanotic children ($P<0.01$), while the postoperative CI of the children with cyanotic CHD was significantly higher than that of the non-cyanotic children ($P<0.01$). Although the postoperative SVV of the cyanotic group was higher than that of the non-cyanotic children, there was no significant difference. Regression analysis showed that postoperative SVRI was positively correlated with body weight ($r=25.079$, $P<0.05$) and negatively correlated with cardiopulmonary bypass time ($r=-2.831$, $P<0.05$). There were 5 cases of Vasoplegic syndrome in CPB group. **CONCLUSION** The SVR of non-cyanotic CHD children can be maintained at a normal level after surgery. The SVR of children with cyanotic CHD will decrease significantly after surgery. The exudation increases and Vasoplegic syndrome may even occur. SVRI in children after cardiopulmonary bypass is mainly affected by the weight and the time of CPB. The lower the weight and the longer the time of CPB, the lower the systemic vascular resistance may be after the operation.

Key words: systemic vascular resistance; congenital heart disease; cardiopulmonary bypass; vasoplegic syndrome

自开展先天性心脏病手术以来,人们对心、肺、脑、肾等重要脏器的保护尤其重视,对于各重要脏器的损伤机制和保护方法的研究层出不穷,对术后血管状态的研究较少。而先天性心脏病术后患儿由于解剖畸形矫治、体外循环及手术操作对心脏的影响等因素,其血流动力学会发生巨大改变,部分患儿术后会由于各种原因而致外周血管阻力(systemic vascular resistance, SVR)改变而出现起其他重要脏器及组织灌注不足、组织水肿甚至会发生严重并发症,但过度补液或使用血管活性药物会加重器官损害,导致延迟恢复^[1]。评价先心病术后早期 SVR 的改变并及时指导给予治疗有利于预防并发症的发生,减少术后呼吸机使用时间及监护室滞留时间。本研究应用 ICON 无创血流动力学监测仪(生物阻抗法)监测先心病术后 SVR 等血流动力学变化情况,总结其术后变化规律及其临床影响因素等,为指导患儿术后快速康复提供理论依据。

1 对象和方法

1.1 对象 随机连续纳入 2020 年 10 月 ~ 2020 年

12 月中国医学科学院阜外医院小儿外科术后恢复室接诊的先心病术后患儿(年龄 ≤ 7 岁)。排除标准:存在主动脉、主动脉瓣及外周血管病变影响监测结果者;术前存在感染者及其他先天性畸形及遗传性疾病者;新生儿患者。研究经中国医学科学院阜外医院伦理委员会批准通过,批准号:2020-1 311。

1.2 分组 共纳入 80 例,根据是否在体外循环下手术分为非体外循环组 19 例,体外循环组 61 例。分析外周 SVR 在不同疾病中的情况将体外循环组分为非紫绀型先心病组(40 例)及紫绀型先心病组(21 例)两个亚组。

1.3 研究方法

1.3.1 观察指标 患儿基本临床资料:年龄、性别、体质量、身高、术前诊断等;外周血管阻力指数(SVRI)相关因素数据:术前血氧饱和度、术后血氧饱和度、术前血红蛋白浓度、体外循环时间、阻断时间、术前及术后 EF 值等;术后是否发生血管麻痹综合征等。血流动力学指标:从 ICON 无创血流动力学监测仪及多参数监护仪获得,记录患儿返室即刻的心率(HR)、血压(BP)、中心静脉压(CVP),心指

数(CI)、SVRI、每搏输出量变异(SVV)、胸腔内液体水平(TFC)等,所有指标重复测量3次,取其平均值。所有术后患儿返回PICU后均常规给予治疗。

1.3.2 SVR等血流动力学指标监测 应用ICON无创血流动力学监测仪进行血流动力学监测。ICON(Osypka Medical, Germany)是一种无创、持续性的血流动力学监测仪,是利用电子心力测量法(electrical cardiometry, EC)获得血流动力学参数。其原理是在心动周期中胸主动脉内红细胞的排列顺序变化而引起电阻抗的变化(在心脏舒张期红细胞排列紊乱,而产生高阻抗;在收缩期红细胞排列一致,而处于低阻抗的状态),从而使导电性发生变化。利用这种生物电阻抗的变化来计算血流动力学的参数^[2]。根据此原理用四个心电图电极连续监测胸部电流传导的变化,可以获得每搏量及心输出量等参数,并且通过复杂计算得出一系列参数如CI、TFC、SVRI、SVV、输氧量(DO₂)、心肌收缩指数以及反应左心室收缩的能力的ICON值等,可以反映心功能、前后负荷以及肺水肿、氧供等变化趋势。而且,EC法监测先心病患儿血流动力学的准确性及临床应用已经直接FICK法及热稀释法等验证^[3]。ICON是完全无创、持续的监测方法,可监测婴幼儿血流动力学变化^[4]。

1.3.3 血管麻痹综合征(vasoplegic syndrome, VS) VS指一些心脏术后患者出现低血压、低血管张力,而心排量正常甚至增高,需要大剂量缩血管药物,以保证重要器官的灌注。诊断标准:SVRI ≤ 800 dyn/(s·cm⁵·m²)合并低血压,且依赖缩血管药物(去甲肾上腺素、垂体加压素等)和容量(2 h内>20 ml/kg),同时心功能正常或增强。

1.4 统计学处理 使用SPSS 20.0统计软件处理。计数资料用例数(%)表示;所有计量资料首先进行正态性检验。对符合正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用 t 检验。对非正态分布计量资料用中位数(最小值,最大值)表示,组间比较采用秩和检验。SVRI的回归分析:对SVRI的可能影响因素进行线性回归分析。 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各组一般情况比较 与非体外循环组相比较,体外循环组的体质量、身高、术前血氧饱和度、术后血氧饱和度的数值均下降(均 $P < 0.05$);与非紫绀型先心病组相比较,紫绀型先心病组术前的血氧饱和度下降、术后血氧饱和度下降、CPB时间增加、术后LVEF值下降(均 $P < 0.05$),见表1。

表1 各组一般情况比较

项目	非体外循环组 (n=19)	体外循环组(n=61)	
		非紫绀型组 (n=40)	紫绀型组 (n=21)
男	9(47)	15(38)	6(28)
年龄(月)	39.0 ± 20.4	31.6 ± 19.3	27.3 ± 17.3
1月~1岁	3(16)	9(23)	7(33)
1岁~3岁	6(31)	13(32)	10(48)
3岁~7岁	10(53)	18(45)	4(19)
体质量(kg)	14 ± 4	13 ± 4	11 ± 4 ^a
身高(cm)	95 ± 16	91 ± 17	85 ± 15 ^a
术前血氧饱和度(%)	100	100(96,100)	87(62,98) ^{ac}
术后血氧饱和度(%)	100	100	100(77,100) ^{ac}
阻断时间(min)		33(5,104)	60(0,171)
CPB时间(min)		62 ± 29	119 ± 67 ^c
术前LVEF值(%)		68 ± 5	66 ± 5
术后LVEF值(%)		62 ± 5	57 ± 7 ^c

表中计数资料均为[例数(%)],与非体外循环组相比较,^a $P < 0.05$,与非紫绀型先心病组相比较,^c $P < 0.05$

2.2 各组SVRI等血流动力学数据比较 体外循环组患儿术后SVRI较非体外循环组患儿明显减低[(1357 ± 299) vs. (1129 ± 330), $P < 0.01$];比较体外循环各亚组与非体外循环组的SVRI,非紫绀型先心病患儿术后SVRI较非体外循环组无明显差异,紫绀型先心病术后患儿SVRI明显减低($P < 0.01$);体外循环组组内比较,紫绀型先心病患儿术后SVRI较非紫绀型患儿显著减低($P < 0.01$),紫绀型先心病患儿术后CI较非紫绀型患儿显著升高($P < 0.01$),紫绀组患儿术后SVV虽较非紫绀型患儿升高,但没有明显统计学差异,见表2和图1。

2.3 患儿SVRI影响因素的回归分析 将体外循环组患儿术后SVRI可能影响因素(体质量、术前SPO₂,术后SPO₂,体外循环时间,阻断时间及术后EF值等)进行线性回归分析结果显示,术后SVRI与体质量呈正相关($r = 25.079$, $P < 0.05$),与体外循环时间呈负相关($r = -2.831$, $P < 0.05$),见表3。

表2 各组患儿SVRI等血流动力学指标结果

项目	非体外循环组 (n=19)	体外循环组(n=61)	
		非紫绀型组 (n=40)	紫绀型组 (n=21)
SVRI[dyn/(s·cm ⁵ ·m ²)]	1357 ± 299	1129 ± 330 ^b	
		1205 ± 338	957 ± 260 ^{bd}
CI[L/(min·m ²)]	4.94 ± 0.84	4.81 ± 0.96	5.31 ± 1.37 ^d
SVV(%)	12.56 ± 4.30	13.33 ± 4.84	15.59 ± 5.26

与非体外循环组相比较,^b $P < 0.01$,与非紫绀型先心病组相比较,^d $P < 0.01$

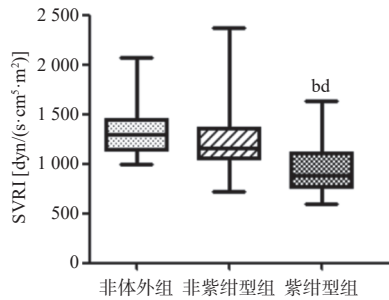


图1 三组患儿 SVRI 的比较
与非体外循环组相比较, ^b*P*<0.01, 与非紫绀型先心病组相比较, ^d*P*<0.01

表3 体外循环组患儿术后 SVRI 的影响因素线性回归分析

	非标准化系数		Sig.	共线性统计量	
	B	标准误差		容差	VIF
(常量)	271.279	1108.928	.675		
体质量(kg)	25.079	11.299	.031	.879	1.138
术前SPO ₂ (%)	4.707	8.042	.561	.275	3.632
术后SPO ₂ (%)	0.236	16.497	.989	.269	3.713
体外循环时间(min)	-2.831	1.353	.041	.309	3.237
阻断时间(min)	3.408	2.014	.096	.292	3.430
术后LVEF值(%)	2.643	7.264	.717	.859	1.165

3 讨论

SVR 反应的是血管收缩状态,是左心室所承受后负荷的大小。其数值的大小既受血管本身结构和功能的影响,也与年龄和心脏功能的状况有关,脓毒性休克、严重烧伤和肝移植的患者也可引起 SVR 减低^[5]。通常用 SVRI 比较不同个体之间的 SVR。先心病术后持续 SVR 减低可导致心、脑、肝、肾等脏器灌注不足,引起恶性心律失常、脑水肿、肝损伤、肾功能不全、内环境紊乱等严重并发症,导致术后患者临床状况复杂、甚至死亡率增加^[6]。SVR 可即时反映患者血流动力学状态,早期发现血管功能异常,有助于及时指导合理使用和调整血管活性药物,减少过度使用血管活性药物而加重器官损害,减少并发症发生^[7]。本研究对象为先心病术后患儿,术前均未合并感染,测量术后返回监护室即刻患儿 SVRI 的情况,除外感染等其他因素对 SVRI 的影响,主要探讨先心病术后早期 SVRI 的情况及其影响因素。

全麻非体外循环术后先心病患儿的 SVRI 基本正常,而在体外循环下行手术治疗的先心病患儿术后 SVRI 却减低,尤其在紫绀型先心病患儿术后 SVRI 出现明显减低。之前研究也发现在体外循环过程中 SVR 会减低,并且常温体外循环系统血管阻

力会较低温减低更明显^[8]。在体外循环过程中,各种血管活性物质被释放或改变,缓激肽、心房利钠因子、C3a、C4a、C5a、前列腺素 E2 与白细胞介素 I 和组胺都是有效的血管扩张剂,可在体外循环过程中增加浓度^[9]。非紫绀先心病患儿体外循环术后 SVRI 虽减低,但与非体外循环组并无统计学意义,这可能是因为体外循环过程中产生各种炎症因子,但经改良超滤逆转体外循环中患儿血液稀释状态,减轻组织间隙水肿,滤过炎症因子,改善患儿血流动力学^[10],使得该部分患儿术后 SVR 变化不明显。本研究也发现紫绀型先心病患儿术后的 SVRI 明显下降,可能与外循环时间过长、严重缺氧等因素有关,这些因素使毛细血管内皮受损、血管麻痹,使得血管张力减低,这与之前研究结果是相符的^[11]。其机制十分复杂,已经有多种假说提出,目前广泛接受的是体外循环导致的炎症反应。体外循环导致的炎症反应通过 NO/cGMP 途径,增加血管通透性,降低血管平滑肌对缩血管药物的反应。也有研究认为体外循环术后血管加压素缺乏导致血管阻力减低。紫绀引起 SVRI 减低可能是因为缺氧、组织中毒使三磷酸腺苷 (adenosine triphosphate, ATP) 敏感型钾离子通道 (K_{ATP} 通道) 的开放有关,诱导了 K⁺从细胞流出,从而导致血管平滑肌细胞膜超极化,这种超极化使电压门控的 Ca²⁺通道开放,阻止 Ca²⁺进入细胞内,最终通过降低细胞中 Ca²⁺水平诱发血管扩张^[12-14]。

紫绀型先心病患儿的血流动力学表现为 SVR 下降的同时 CI 上升,说明此组复杂先心病术后高排低阻状态的存在,且该组患儿术后 VS 发生率较高(4/22)。据既往研究提示 VS 常见于大手术后,尤以各种心脏手术后最为常见,体外循环后 VS 发病率约为 8.8%~10%。心脏手术后顽固性低血压将引起其他重要脏器的低血流灌注,甚至可导致多器官衰竭^[15]。如果 36 h 内不能得到有效治疗,死亡率可达 16%~27%。而过度补液或使用血管活性药物而加重器官损害,导致延迟恢复。本研究也发现此组患儿 SVR 减低的同时胸腔内液体水平也明显升高,说明患者在 SVRI 减低的同时组织液渗出增加,可能会出现肺渗出增加,胸腔积液、腹水等并发症。对于紫绀型先心病患儿术后在维护心功能同时应注意监测 SVR、胸腔积液和腹水以及全身水肿情况等,及时给予处理,避免 VS 等严重并发症导致术后患儿临床状况复杂、甚至死亡率增加;对于此部分紫绀型先心病患儿术后积极给予补液扩容,在适当应用正性肌力药物维持心功能同时可给予垂体后叶加压素、去甲肾上腺素等药物提高 SVR 药物维持有效的血管的

张力^[16],减少渗出,降低VS发生率,促进术后早期康复。同时,本研究也发现该组发生VS的四例患儿均是右心系统病变为主的患儿,虽然此组患儿术后左心EF值也发生了明显的减低,但在回归分析提示术后左心EF值对SVRI并没有影响。因此,本研究也大胆猜想右心系统病变为主的先心病患儿术后更容易出现低血管阻力,但这仍需进一步探讨。

在体外循环术后的先心病患儿影响因素的回归分析中,本研究发现SVRI主要受体质量和体外循环时间的影响。患儿体质量一般和年龄密切关系,虽然体外循环两组患儿年龄没有明显差异,但从年龄构成比来看,紫绀组小于3岁患儿比例是低于非紫绀组的(77% vs. 55%)。这与婴幼儿血管内皮细胞发育不完善,血管及毛细血管发育未成熟有关,在体外循环的刺激下更容易受到损伤,从而使得外周阻力减低,甚至发生毛细血管渗漏综合征,因此患儿年龄越小、体质量越小,术后血管阻力越容易减低,并且危险性更大。正如前面所述,体外循环本就是影响先心病术后血管阻力的重要因素,随着体外循环时间的延长,细胞缺氧、组织中毒,使血管平滑肌细胞内ATP不断消耗,浓度进一步下降,细胞外钙离子难以进入细胞内,导致血管平滑肌舒张,外周循环阻力减低。在早期临床中,本研究也发现一些复杂的先天性心脏病且手术时间长或者术中因特殊情况而二次转机延长体外循环时间的患儿,术后常常需大量容量输注维持循环稳定,而且经常并发肺渗出及全身组织水肿等。对于低龄、低体质量、体外循环时间长的先心病术后患儿,在维持有效循环容量同时应积极给予缩血管药物治疗,避免严重并发症发生。

本研究体外循环组患儿发生VS者有5例,分别为:①肺动脉闭锁术后右室外管道狭窄(右室肺动脉外管道置换术);②PA、VSD、PDA、先天性体肺侧枝(Sano术、肺动脉成形术);③TOF根治术、PFO修补术;④镜面右位心、大动脉异位、单心室、肺动脉瓣狭窄、双向Glenn术、全腔静脉肺动脉连接术;⑤肥厚性梗阻性心肌病、PDA、PFO、MVR(中度)、Noonan综合征(左室流出道疏通术、改良扩大morrow手术、右室流出道疏通术)。这一类问题值得重视。

本研究不足在于研究病例数较少。而且此次回归分析所建立的回归模型 $R^2=0.220$,意味着SVRI的变化仅有20%多受纳入的影响因素所影响,拟合度较低,可能与病例数少有关,研究将纳入更多病例及可能的影响因素,进一步探讨SVRI的影响

因素。

综上所述,非紫绀型先天性心脏病术后SVR可维持基本正常水平,紫绀型先心病患儿术后SVR会明显下降,渗出增加,甚至可能会发生VS,术后积极扩容同时可给予缩血管药物如垂体后叶素等提高SVR,减少渗出,促进患儿术后康复。体外循环术后患儿SVRI主要受体质量和体外循环时间影响,体质量越低、体外循环时间越长,术后其SVR可能会越低。为深入研究紫绀型先心病术后患儿SVR及术后VS等还需大样本且持续监测SVR的临床数据、寻找更多的影响因素,为紫绀型先心病术后快速康复提供理论依据。

参考文献:

- [1] Orozco Vinasco DM, Triana Schoonewolff CA, Orozco Vinasco AC. Vasoplegic syndrome in cardiac surgery: definitions, pathophysiology, diagnostic approach and management[J]. *Rev Esp Anestesiol Reanim (Engl Ed)*, 2019, 66(5): 277–287.
- [2] Osypka M, Soleymani S, Seri I, et al. Chapter 6 - Assessment of Cardiac Output in Neonates: Techniques Using the Fick Principle, Pulse Wave Form Analysis, and Electrical Impedance[M]// Kleinman CS, Seri I. Hemodynamics and Cardiology: Neonatology Questions and Controversies (Second Edition). W.B. Saunders. 2012: 125–149. doi:10.1016/B978-1-4377-2763-0.00006-8.
- [3] Rao SS, Lalitha AV, Reddy M, et al. Electrocardiometry for hemodynamic categorization and assessment of fluid responsiveness in pediatric septic shock: a pilot observational study[J]. *Indian J Crit Care Med*, 2021, 25(2): 185–192.
- [4] Coté CJ, Sui J, Anderson TA, et al. Continuous noninvasive cardiac output in children: is this the next generation of operating room monitors? Initial experience in 402 pediatric patients[J]. *Paediatr Anaesth*, 2015, 25(2): 150–159.
- [5] Nash CM. Vasoplegic syndrome in patients undergoing cardiac surgery: a literature review[J]. *AACN Adv Crit Care*, 2021, 32(2): 137–145.
- [6] Raja SG, Dreyfus GD. Vasoplegic syndrome after off-pump coronary artery bypass surgery: an unusual complication[J]. *Tex Heart Inst J*, 2004, 31(4): 421–424.
- [7] Lee EP, Chu SC, Hsia SH, et al. Comparison of predictive powers for mortality between systemic vascular resistance index and serum lactate in children with persistent catecholamine-resistant shock[J]. *Biomed Res Int*, 2020, 2020: 1341326.
- [8] Christakis GT, Fremes SE, Koch JP, et al. Determinants of low systemic vascular resistance during cardiopulmonary bypass[J]. *Ann Thorac Surg*, 1994, 58(4): 1040–1049.
- [9] Shaeff S, Mittel A, Klick J, et al. Vasoplegia after cardiovascular procedures-pathophysiology and targeted therapy[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, 32(2): 1013–1022.
- [10] Milovanovic V, Bisenic D, Mimic B, et al. Reevaluating the importance of modified ultrafiltration in contemporary pediatric cardiac surgery[J]. *J Clin Med*, 2018, 7(12): 498.
- [11] van Vessel ME, Palmén M, Couperus LE, et al. Incidence and predictors of vasoplegia after heart failure surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 51(3): 532–538.
- [12] Kristof AS, Magder S. Low systemic vascular resistance state in patients undergoing cardiopulmonary bypass[J]. *Crit Care Med*, 1999, 27(6): 1121–1127.

- [13] Elgebaly AS, Sabry M. Infusion of low-dose vasopressin improves left ventricular function during separation from cardiopulmonary bypass: a double-blind randomized study[J]. *Ann Card Anaesth*, 2012, 15(2): 128 – 133.
- [14] Shin HJ, Jhang WK, Park JJ, et al. Left ventricular function after left ventriculotomy for surgical treatment of multiple muscular ventricular septal defects[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 92(4): 1490 – 1493.
- [15] Masetti P, Murphy SF, Kouchoukos NT, et al. Vasopressin therapy for vasoplegic syndrome following cardiopulmonary bypass[J]. *J Card Surg*, 2002, 17(6): 485 – 489.
- [16] Lu Z, Wang X, Yang J, et al. Vasopressin in Vasodilatory shock for both left and right heart anomalous pediatric patients after cardiac surgery[J]. *Shock*, 2018, 50(2): 173 – 177.

(收稿日期: 2021-09-12; 接受日期: 2022-02-11)

- (上接第 561 页)
- [2] Méndez Landa CE. Renal effects of hyperuricemia[J]. *Contrib Nephrol*, 2018, 192: 8 – 16.
- [3] 朱丽梅, 李显丽. 高尿酸血症导致糖代谢异常相关机制的研究进展[J]. *医学综述*, 2019, 25(22): 4509 – 4514.
- [4] Wang Q, Tan K, Xia H, et al. Left ventricular structural alterations are accompanied by subclinical systolic dysfunction in type 2 diabetes mellitus patients with concomitant hyperlipidemia: an analysis based on 3D speckle tracking echocardiography[J]. *Echocardiography*, 2018, 35(7): 965 – 974.
- [5] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2020年版)[J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315 – 409.
- [6] Shi W, Xing L, Jing L, et al. Usefulness of triglyceride-glucose index for estimating hyperuricemia risk: insights from a general population[J]. *Postgrad Med*, 2019, 131(5): 348 – 356.
- [7] Gu Q, Hu X, Meng J, et al. Associations of triglyceride-glucose index and its derivatives with hyperuricemia risk: a cohort study in chinese general population[J]. *Int J Endocrinol*, 2020, 2020: 3214716.
- [8] 杨曦, 柳怡莹, 万沁. TG/HDL-C、TyG指数对T2DM患者高尿酸血症的预测价值[J]. *天津医药*, 2021, 49(6): 603 – 608.
- [9] Wen J, Yuan H. Independent association between the visceral adiposity index and microalbuminuria in patients with newly diagnosed type 2 diabetes[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2020, 36(1): e3198.
- [10] 由露莎, 郑曙琴. 胰岛素原与2型糖尿病合并高尿酸血症中医证型及相关危险因素分析[J]. *辽宁中医杂志*, 2018, 45(4): 686 – 688.
- [11] Wang Q, Tan K, Xia H, et al. The further negative effect of hyperuricemia on left ventricular structure and function in patients with type 2 diabetes mellitus: a transthoracic 3d speckle tracking imaging study[J]. *Metab Syndr Relat Disord*, 2019, 17(9): 436 – 443.
- [12] Zhang S, Wang Y, Cheng J, et al. Hyperuricemia and cardiovascular disease[J]. *Curr Pharm Des*, 2019, 25(6): 700 – 709.
- [13] Zhang H, Ma Y, Cao R, et al. Soluble uric acid induces myocardial damage through activating the NLRP3 inflammasome[J]. *J Cell Mol Med*, 2020, 24(15): 8849 – 8861.
- [14] Kim SM, Lee SH, Kim YG, et al. Hyperuricemia-induced NLRP3 activation of macrophages contributes to the progression of diabetic nephropathy[J]. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2015, 308(9): F993 – F1003.
- [15] Braunwald E. Diabetes, heart failure, and renal dysfunction: The vicious circles[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2019, 62(4): 298 – 302.
- [16] 宣艳艳, 余晶波. 老年2型糖尿病患者血尿酸水平与周围神经病变的相关性[J]. *中华老年医学杂志*, 2017, 36(6): 655 – 659.
- [17] 丁俊, 张维, 安民, 等. 2型糖尿病患者血尿酸水平与周围神经病变的相关性[J]. *河北医药*, 2019, 41(16): 2473 – 2475, 2479.
- [18] 曾钢, 丁群芳. 糖尿病微血管并发症及其相关分子机制研究进展[J]. *海南医学院学报*, 2019, 25(1): 77 – 80.

(收稿日期: 2021-11-02; 接受日期: 2022-01-10)