

# 心脏外科术后桡动脉脉压变化预测每搏量变化的临床研究

侯君谊<sup>1</sup> 屠国伟<sup>1</sup> 杨晓梅<sup>1</sup> 马国光<sup>1</sup> 苏迎<sup>1</sup> 罗哲<sup>1</sup> 王浩<sup>3</sup> 郑吉莉<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 复旦大学附属中山医院重症医学科, 上海 200032; <sup>2</sup> 复旦大学附属中山医院护理部, 上海 200032; <sup>3</sup> 复旦大学附属中山医院麻醉科, 上海 200032

通信作者: 郑吉莉, Email: zheng.jili@zs-hospital.sh.cn

**【摘要】目的** 探讨心脏外科术后患者容量负荷试验中桡动脉脉压(radial artery pulse pressure, rPP)的变化能否准确预测每搏量(stroke volume, SV)的变化。**方法** 前瞻性收集了 75 例心脏外科术后接受机械通气的低血压患者, 入组患者均接受了容量负荷试验, 根据容量负荷试验的结果将患者分为阳性组(扩容后 SV 较基线水平增加 $\geq 15\%$ , 45 例)和阴性组(扩容后 SV 较基线水平增加 $< 15\%$ , 30 例)。分别在基线水平和容量负荷试验后监测患者的心率、血压、MAP、CVP、SV、每搏量变异度(stroke volume variation, SVV)等血流动力学指标的变化。计算容量负荷试验后 rPP 的变化率及其预测 SV 增加 $\geq 15\%$ 的受试者工作特征曲线下面积(area under the receiver operating characteristic curve, AUC)、敏感性和特异性。**结果** 本研究中 60% 的患者容量反应性阳性。阳性组患者容量负荷试验后血压、MAP、CVP、SV 显著增加( $P < 0.05$ ), 而心率、SVV 趋于降低。容量负荷试验 rPP 增加 $\geq 13\%$ 预测患者 SV 增加 $\geq 15\%$ 的 AUC 为 0.90(95%CI 0.81-0.96), 敏感度为 0.82, 特异度为 0.83。**结论** 容量负荷试验导致的 rPP 变化可以预测心脏外科术后患者 SV 的变化。

**【关键词】** 容量反应性; 桡动脉; 脉压; 每搏量; 容量负荷试验; 心脏手术

**基金项目:** 上海市自然科学基金(16ZR1405600); 中山医院科研基金(2018ZSQN53)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.08.004

## Clinical study on the changes in radial artery pulse pressure to predict the changes in stroke volume after cardiac surgery

Hou Junyi<sup>1</sup>, Tu Guowei<sup>1</sup>, Yang Xiaomei<sup>1</sup>, Ma Guoguang<sup>1</sup>, Su Ying<sup>1</sup>, Luo Zhe<sup>1</sup>, Wang Hao<sup>3</sup>, Zheng Jili<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; <sup>2</sup>Department of Nursing Care, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; <sup>3</sup>Department of Anesthesiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

Corresponding author: Zheng Jili, Email: zheng.jili@zs-hospital.sh.cn

**【Abstract】Objective** To evaluate whether the changes in the radial artery pulse pressure (rPP) can predict the changes in stroke volume (SV) after fluid challenge in patients after cardiac surgery. **Methods** This prospective observational study included 75 mechanically ventilated patients with hypotension after cardiac surgery, where all the patients involved underwent rPP and SV measurement after fluid challenges. Accordingly, the patients were divided into a volume responder group (increases in SV $\geq 15\%$ ,  $n=45$ ) and a non-responder group (increases in SV $< 15\%$ ,  $n=30$ ). Then, heart rate (HR), blood pressure (BP), mean arterial pressure (MAP), central venous pressure (CVP), SV and stroke volume variation (SVV) were collected at baseline level and after fluid challenges respectively. The ability of the indices to predict fluid responsiveness, the area under the receiver operating characteristic curve (AUC), sensitivity and specificity for predicting fluid responsiveness were calculated. **Results** In the study, 60% of the patients were defined as fluid responders. BP, MAP, CVP, SV increased significantly in the volume responder group ( $P < 0.05$ ), while HR and SVV tended to decrease. Increases in rPP induced by fluid challenges ( $\geq 13\%$ ) indicated SV increases ( $\geq 15\%$ ) with a sensitivity of 0.82 and a specificity of 0.83. The AUC was 0.90 [95% confidence interval (CI) 0.81-0.96]. **Conclusions** The changes in rPP induced by fluid challenges can be used to predict the changes in SV in patients after cardiac surgery.

**【Key words】** Fluid responsiveness; Radial artery; Pulse pressure; Stroke volume; Fluid challenge; Cardiac surgery

**Fund program:** Natural Science Foundation of Shanghai (16ZR1405600); The Research Funding of Zhongshan Hospital (2018ZSQN53)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.08.004

容量管理是心脏外科术后维持血流动力学稳定的重要治疗手段之一<sup>[1-2]</sup>。低血容量可导致器官灌注不足,而液体超负荷可能导致术后并发症,如充血性心力衰竭或肺水肿<sup>[3-4]</sup>。此外,接受心脏手术的患者存在一定程度的心肌顿抑<sup>[5]</sup>,因此,对于心脏储备功能有限的患者,容量管理应该更加精准<sup>[6]</sup>。目前评估容量反应性的指标包括 CVP、下腔静脉变异率、每搏量变异度(stroke volume variation, SVV)和脉压变异率等,但是上述指标对容量反应性的评估均有一定的局限性<sup>[7-8]</sup>。评估容量反应性的金标准是直接测量心排血量(cardiac output, CO)或者每搏量(stroke volume, SV)的变化<sup>[9]</sup>。然而,并非所有患者都有条件接受高级血流动力学监测<sup>[10]</sup>。动脉压力的变化在临床实践中仍然是评估容量反应性的常用手段。因此,一些研究者尝试应用脉压(pulse pressure, PP)的变化替代容量负荷试验后 CO 的变化<sup>[11]</sup>。有研究发现,股动脉 PP 的变化与容量负荷试验后 CO 的变化有一定的相关性<sup>[12-13]</sup>。在危重患者中桡动脉置管比股动脉置管更常见。心脏外科术后患者由于 CPB 引起的血管麻痹以及血管活性药物的使用均会影响动脉的脉搏波放大现象,导致桡动脉脉压(radial artery pulse pressure, rPP)的变化与股动脉 PP 的变化不一致<sup>[14]</sup>。本研究的目的是评估心脏外科术后患者容量负荷试验中 rPP 的变化能否准确预测 SV 的变化。

## 1 资料与方法

本研究经复旦大学附属中山医院伦理委员会批准通过(B2016-077),并获得所有研究参与者的知情同意。

### 1.1 研究对象

前瞻性收集了 2015 年 8 月至 2018 年 3 月入住复旦大学附属中山医院心脏外科监护室的 75 例心脏外科术后机械通气合并低血压患者资料,男 40 例,女 35 例。低血压定义为 SBP<90 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)或较基础值下降>40 mmHg,需要血管活性药物维持 MAP>65 mmHg。所有入组患者均通过桡动脉置管监测有创动脉血压,平右心房水平,在大气压下调零,通过压力波形来判断信号的质量,连接 FloTrac/Vigileo (型号:MHM1E, Edwards Lifesciences, Irvine, 美国)机器连续监测 SV、SVV。排除标准:活动性出血、心律失常、三尖瓣功能不全、

心内分流、自主呼吸、呼吸机对抗、年龄<18 岁或>80 岁、BMI>40 kg/m<sup>2</sup> 或<15 kg/m<sup>2</sup>。

### 1.2 研究方法

所有患者均输注丙泊酚中/长链脂肪乳注射液(生产批号:16IC0643/1508094,北京费森尤斯卡比医药有限公司)和瑞芬太尼(生产批号:20170801,江苏恩华药业股份有限公司)镇静,并根据呼吸机波形和监测参数判断有无自主呼吸。本研究不使用肌松药。所有患者基线采用间歇正压通气,床头抬高至 45°(图 1)。通气参数调整为:潮气量 8 ml/kg,吸气平台压<30 cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O =0.098 kPa),呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP) 5 cmH<sub>2</sub>O,呼吸频率 12~16 次/min。目标 PaCO<sub>2</sub>≤45 mmHg,氧饱和度>96%。

由主治医师(独立于研究者)根据临床判断决定是否进行容量负荷试验,由 2 名有经验的重症监护护士记录数据。患者处于半卧位,测量基线水平数据;在 10 min 内快速输注琥珀酰明胶注射液[生产批号:1646587401,贝朗医疗(苏州)有限公司] 250 ml,测量容量负荷试验后的数据(图 1)。



图 1 基线水平和容量负荷试验模式图

经桡动脉连接 FloTrac/Vigileo 机器持续监测 SV、SVV,经颈内或锁骨下静脉导管持续监测 CVP,同时通过心电监护仪记录患者的心率、血压、MAP。在进行容量负荷试验时,呼吸机参数、镇痛镇静药物、血管活性药物、正性肌力药物剂量维持不变。容量反应阳性定义为容量负荷试验后 SV 增加>15%<sup>[11,15]</sup>。根据容量负荷试验的结果将入组患者分为阳性组(45 例)和阴性组(30 例)。

### 1.3 收集资料

#### 1.3.1 患者基本情况

性别、年龄、BMI、左室射血分数、手术类型、血管活性药物输注速度、欧洲心血管手术危险因素评分(European System for Cardiac Operative Risk Evaluation, EuroSCORE)、急性生理学及慢性健康状况评分 II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation, APACHE II)及伴随的基础疾病等。

### 1.3.2 血流动力学资料

收集基线水平(T0)和容量负荷试验后(T1)的心率、SBP、DBP、MAP、CVP、SV、SVV等血流动力学数据。

### 1.4 统计学分析

应用 GraphPad Prism 统计学软件。呈正态分布的计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,组内比较采用配对 *t* 检验,组间比较采用独立样本 *t* 检验。计数资料以频数(*n*)和百分率(%)表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法。绘制受试者工作特征曲线,计算受试者工作特征曲线下面积(area under the receiver operating characteristic curve, AUC)。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结果

本研究共入组 75 例患者,其中容量反应阳性 45 例,阴性 30 例。患者平均年龄为(60±10)岁,APACHE II 评分为(8±5)分,EuroSCORE 评分为(4.3±2.4)分,术前平均左心室射血分数为 60%。阳性组和阴性组患者基线特征和临床数据比较,差异无统计学意义(*P*>0.05,表 1)。

表 1 两组患者基本资料比较

指标	阳性组( <i>n</i> =45)	阴性组( <i>n</i> =30)
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$ )	59±9	59±10
男性比例 [例(%)]	25(56)	15(50)
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	21.6±1.5	22.2±3.3
手术类型		
瓣膜手术	23(50)	14(47)
[例(%)] 冠状动脉旁路移植术	8(18)	5(17)
其他手术	9(32)	11(36)
潮气量(ml/kg)	8	8
PEEP(cmH <sub>2</sub> O)	5	5
去甲肾上腺素( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , $\bar{x}\pm s$ )	0.15±0.16	0.16±0.15
乳酸(mmol/L, $\bar{x}\pm s$ )	2.5±1.3	2.5±1.3
左室射血分数(%, $\bar{x}\pm s$ )	62±6	60±8
APACHE II(分, $\bar{x}\pm s$ )	7±4	8±5
EuroSCORE(分, $\bar{x}\pm s$ )	4.9±2.3	3.7±2.4

注:PEEP:呼气末正压;APACHE II:急性生理学及慢性健康状况评分 II;EuroSCORE:欧洲心血管手术危险因素评分

T0 和 T1 时患者的血流动力学参数见表 2。T1 时阳性组和阴性组比较患者的心率差异无统计学

意义(*P*>0.05)。T0 时两组患者的 SBP、DBP、MAP、rPP、CO、SV、SVV 差异有统计学意义(*P*<0.05)。与 T0 比较,T1 时阳性组患者 SBP、DBP、MAP 和 rPP 增加(*P*<0.05),心率、SVV 趋于降低,阴性组患者的血压、心率的变化差异无统计学意义(*P*>0.05)。T0 时阴性组 CVP 高于阳性组(*P*<0.05)。与 T0 比较,T1 时阳性组患者 CVP 显著增加(*P*<0.05),而阴性组未观察到明显差异(*P*>0.05)。与 T0 比较,T1 时阳性组患者 SV、CO 显著增加(*P*>0.05)。

表 2 两组患者血流动力学指标比较( $\bar{x}\pm s$ )

指标	组别	例数	T0	T1
心率(次/min)	阳性组	45	92±19	89±14
	阴性组	30	85±16	84±15
SBP(mmHg)	阳性组	45	90±18	119±23 <sup>b</sup>
	阴性组	30	111±18 <sup>a</sup>	109±24
DBP(mmHg)	阳性组	45	48±8	59±8 <sup>b</sup>
	阴性组	30	55±10 <sup>a</sup>	52±8 <sup>a</sup>
MAP(mmHg)	阳性组	45	59±10	74±10 <sup>b</sup>
	阴性组	30	71±10 <sup>a</sup>	68±10 <sup>a</sup>
rPP(mmHg)	阳性组	45	43±15	60±20 <sup>b</sup>
	阴性组	30	56±20 <sup>a</sup>	57±22
CVP(mmHg)	阳性组	45	10±4	12±3 <sup>b</sup>
	阴性组	30	12±3 <sup>a</sup>	13±4
CO(L/min)	阳性组	45	3.6±1.4	5.1±2.2 <sup>b</sup>
	阴性组	30	4.3±0.8 <sup>a</sup>	4.5±1.0
SV(ml)	阳性组	45	39±13	57±21 <sup>b</sup>
	阴性组	30	53±17 <sup>a</sup>	55±16
SVV(%)	阳性组	45	13.9±2.9	8.7±4.3 <sup>b</sup>
	阴性组	30	9.4±2.9 <sup>a</sup>	6.9±2.9 <sup>ab</sup>

注:与阳性组比较,<sup>a</sup>*P*<0.05;与 T0 比较,<sup>b</sup>*P*<0.05;T0:基线水平;T1:容量负荷试验后;rPP:桡动脉血压;CO:心排血量;SV:每搏量;SVV:每搏量变异度

容量负荷试验 rPP 增加≥13%预测患者 SV 增加≥15%的 AUC 值为 0.90(95%CI 0.81~0.96),敏感度为 0.82,特异度为 0.83(表 3、图 2)。

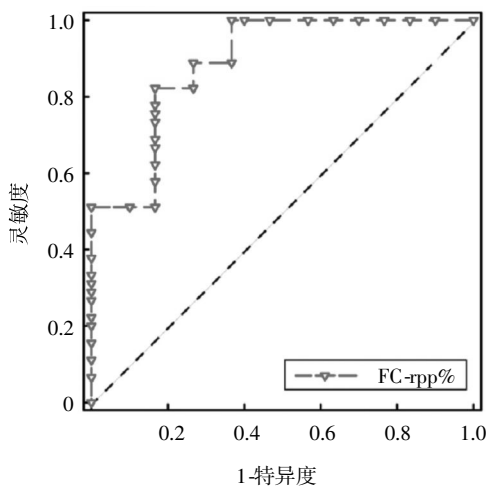
## 3 讨论

心脏外科术后患者容量的管理至关重要。有研究试图探索能预测危重患者容量反应性的可靠指标等<sup>[16-18]</sup>。本研究的主要目的是评估在心脏外科术

表 3 不同血流动力学参数预测每搏量变化的价值

指标	AUC(95%CI)	最佳临界值	敏感性(%)	特异性(%)	约登指数	阳性预测值	阴性预测值	阳性似然比	阴性似然比
SVV	0.87(0.77~0.93)	12%	73	93	0.66	0.94	0.70	11.00	0.29
FC-rPP%	0.90(0.81~0.96)	13%	82	83	0.65	0.88	0.76	4.93	0.21

注:SVV:每搏量变异度;FC-rPP%:容量负荷试验后桡动脉血压变化;AUC:受试者工作特征曲线下面积



注:FC-rPP%:容量负荷试验后桡动脉血压变化;SV:每搏量  
图2 FC-rPP%预测SV增加>15%的受试者工作特征曲线

后患者容量负荷试验中 rPP 的变化预测 SV 变化的价值,发现容量负荷试验导致的 rPP 变化可以预测心脏外科术后患者 SV 的变化。

PP 是 SBP 和 DBP 的差值,是临床常用的指标。从生理学角度来看,PP=(κ×SV)/c,其中 κ 值受脉搏波从主动脉向外周放大和从外周向主动脉反射的影响,主要取决于身高、心率、性别、动脉顺应性和血管张力。动脉顺应性反映主动脉根部的可扩张性,由近端主动脉壁的弹性蛋白/胶原蛋白比值决定。事实上,动脉顺应性的变化改变了 SV 和 PP 之间的关系,改变了脉搏波的传播和反射特性并影响血压<sup>[13-14]</sup>。

目前关于 PP 的变化能否预测患者容量反应性仍然存在争议。Monnet 等<sup>[12]</sup>研究发现,容量负荷试验股动脉 PP 增加≥17%预测 SV 增加≥15%的 AUC 值为 0.78,敏感性为 65%,特异性为 85%;股动脉 PP 的变化可以反映 CO 的变化( $r=0.56, P<0.0001$ ),然而,在使用去甲肾上腺素的患者中,PP 的变化无法反映 CO 的变化( $r=0.21, P=0.001$ )。Dufour 等<sup>[13]</sup>研究发现,股动脉 PP 增加≥9%预测 SV 增加≥15%的 AUC 值为 0.89,敏感性为 82%,特异性为 95%。主动脉根部 PP 和股动脉 PP 的变化均可以反映 CO 的变化( $r=0.52, P<0.001; r=0.60, P<0.001$ )。Lakhali 等<sup>[19]</sup>研究发现,容量负荷试验 PP 的变化预测 CO 变化的 AUC 值为 0.82。然而, Pierrakos 等<sup>[20]</sup>发现容量负荷试验 rPP 的变化预测心指数增加≥10%的 AUC 值仅为 0.62,特异性为 85%,容量负荷试验后 rPP 的

变化无法反映心指数的变化( $r^2=0.07, P=0.16$ )。De la Puente-Diaz de Leon 等<sup>[21]</sup>亦报道,容量负荷试验 rPP 的变化预测容量反应性的 AUC 值为 0.52,容量负荷试验后 rPP 的变化无法反映 CO 的变化( $r=0.21, P=0.1$ )。

本研究结果显示:在心脏外科术后接受机械通气的低血压患者中,容量负荷试验 rPP 增加≥13%预测患者 SV 增加≥15%的 AUC 为 0.90(95%CI 0.81~0.96),敏感性为 0.82,特异性为 0.83。

本研究的结果与 Pierrakos 等<sup>[20]</sup>和 De la Puente-Diaz de Leon 等<sup>[21]</sup>报道的结果不同。在这两项研究中,入组患者全部为感染性休克患者,由于感染性休克患者全身血管舒缩功能紊乱,导致血管低反应性,甚至血管麻痹性扩张,血管活性药物(去甲肾上腺素)使用的剂量明显高于本研究( $0.43 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  比  $0.16 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )<sup>[21]</sup>。

本研究有一定的局限性。首先,所有受试者均是机械通气和镇静状态下无自主呼吸状态,结论是否可以推广到自主呼吸患者不确定。第二,在这项研究中使用未校准的血流动力学监测系统。与肺动脉导管或肺动脉热稀释装置相比, FloTrac/VigiLeo 系统可直接连接到动脉导管,理论上满足了快速评估血流动力学变化的需要。虽然 FloTrac/VigiLeo 系统在测量 CO 方面已经通过大量的研究验证,但未校准设备的可靠性仍在讨论中<sup>[22-24]</sup>。第三,本研究只使用桡动脉部位测量动脉压,是否能将本研究的结果推广到其他监测部位有待进一步研究。

综上所述,在心脏外科术后接受机械通气的低血压患者中,采用桡动脉置管监测血压,容量负荷试验导致的 rPP 变化可以预测心脏外科术后患者 SV 的变化。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] Ma GG, Hao GW, Yang XM, et al. Internal jugular vein variability predicts fluid responsiveness in cardiac surgical patients with mechanical ventilation[J/OL]. Ann Intensive Care, 2018, 8(1): 6. DOI:10.1186/s13613-017-0347-5.
- [2] Shorr AF, Abbott KC, Agadoa LY. Acute respiratory distress syndrome after kidney transplantation: epidemiology, risk factors, and outcomes[J]. Crit Care Med, 2003, 31(5): 1325-1330. DOI:10.1097/01.CCM.0000053645.38356.A6.

- [3] Carsetti A, Cecconi M, Rhodes A. Fluid bolus therapy: monitoring and predicting fluid responsiveness[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2015, 21(5): 388-394. DOI:10.1097/MCC.0000000000000240.
- [4] Lee J, de Louw E, Niemi M, et al. Association between fluid balance and survival in critically ill patients[J]. *J Intern Med*, 2015, 277(4): 468-477. DOI:10.1111/joim.12274.
- [5] Mentzer RM Jr. Myocardial protection in heart surgery [J]. *J Cardiovasc Pharmacol Ther*, 2011, 16(3-4): 290-297. DOI:10.1177/1074248411410318.
- [6] Donati A, Carsetti A, Damiani E, et al. Fluid responsiveness in critically ill patients [J]. *Indian J Crit Care Med*, 2015, 19(7): 375-376. DOI:10.4103/0972-5229.160263.
- [7] Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, et al. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review of the literature[J]. *Crit Care Med*, 2009, 37(9): 2642-2647. DOI:10.1097/CCM.0b013e3181a590da.
- [8] Suzuki S, Woinarski NC, Lipsey M, et al. Pulse pressure variation-guided fluid therapy after cardiac surgery: a pilot before-and-after trial[J]. *J Crit Care*, 2014, 29(6): 992-996. DOI:10.1016/j.jcrc.2014.07.032.
- [9] Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine [J]. *Intensive Care Med*, 2014, 40(12): 1795-1815. DOI:10.1007/s00134-014-3525-z.
- [10] Cecconi M, Hofer C, Teboul JL, et al. Fluid challenges in intensive care: the FENICE study: A global inception cohort study[J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41 (9): 1529-1537. DOI:10.1007/s00134-015-3850-x.
- [11] Cecconi M, Parsons AK, Rhodes A. What is a fluid challenge? [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2011, 17 (3): 290-295. DOI:10.1097/MCC.0b013e32834699cd.
- [12] Monnet X, Letierce A, Hamzaoui O, et al. Arterial pressure allows monitoring the changes in cardiac output induced by volume expansion but not by norepinephrine [J]. *Crit Care Med*, 2011, 39(6): 1394-1399. DOI:10.1097/CCM.0b013e31820edcf0.
- [13] Dufour N, Chemla D, Teboul JL, et al. Changes in pulse pressure following fluid loading: a comparison between aortic root (non-invasive tonometry) and femoral artery (invasive recordings) [J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37 (6): 942-949. DOI:10.1007/s00134-011-2154-z.
- [14] Augusto JF, Teboul JL, Radermacher P, et al. Interpretation of blood pressure signal: physiological bases, clinical relevance, and objectives during shock states[J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37(3): 411-419. DOI:10.1007/s00134-010-2092-1.
- [15] Vincent JL, Weil MH. Fluid challenge revisited [J]. *Crit Care Med*, 2006, 34 (5): 1333-1337. DOI:10.1097/01.CCM.0000214677.76535.A5.
- [16] Preisman S, Kogan S, Berkenstadt H, et al. Predicting fluid responsiveness in patients undergoing cardiac surgery: functional haemodynamic parameters including the Respiratory Systolic Variation Test and static preload indicators [J]. *Br J Anaesth*, 2005, 95(6): 746-755. DOI:10.1093/bja/aei262.
- [17] Marik PE, Baram M, Vahid B. Does central venous pressure predict fluid responsiveness? A systematic review of the literature and the tale of seven mares [J]. *Chest*, 2008, 134 (1): 172-178. DOI:10.1378/chest.07-2331.
- [18] Osman D, Ridet C, Ray P, et al. Cardiac filling pressures are not appropriate to predict hemodynamic response to volume challenge[J]. *Crit Care Med*, 2007, 35(1): 64-68. DOI:10.1097/01.CCM.0000249851.94101.4F.
- [19] Lakhil K, Ehrmann S, Perrotin D, et al. Fluid challenge: tracking changes in cardiac output with blood pressure monitoring (invasive or non-invasive) [J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39 (11): 1953-1962. DOI:10.1007/s00134-013-3086-6.
- [20] Pierrakos C, Velissaris D, Scolletta S, et al. Can changes in arterial pressure be used to detect changes in cardiac index during fluid challenge in patients with septic shock? [J]. *Intensive Care Med*, 2012, 38 (3): 422-428. DOI:10.1007/s00134-011-2457-0.
- [21] De la Puente-Diaz de Leon V, de Jesus Jaramillo-Rocha V, Teboul JL, et al. Changes in radial artery pulse pressure during a fluid challenge cannot assess fluid responsiveness in patients with septic shock [J/OL]. *J Intensive Care Med*, 2017: 885066617732291. DOI:10.1177/0885066617732291.
- [22] Marqué S, Gros A, Chimot L, et al. Cardiac output monitoring in septic shock: evaluation of the third-generation FloTrac-Vigileo [J]. *J Clin Monit Comput*, 2013, 27(3): 273-279. DOI:10.1007/s10877-013-9431-z.
- [23] De Backer D, Marx G, Tan A, et al. Arterial pressure-based cardiac output monitoring: a multicenter validation of the third-generation software in septic patients [J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37(2): 233-240. DOI:10.1007/s00134-010-2098-8.
- [24] Monnet X, Anguel N, Jozwiak M, et al. Third-generation FloTrac/Vigileo does not reliably track changes in cardiac output induced by norepinephrine in critically ill patients [J]. *Br J Anaesth*, 2012, 108(4): 615-622. DOI:10.1093/bja/aer491.

(本文编辑:孙婷)