

## · 文献综述 ·

## 压力记录分析技术在心脏手术围术期应用的研究进展

方英伦 综述 赵丽云\*<sup>①</sup> 审校

(北京大学第三医院麻醉科, 北京 100191)

文献标识: A

文章编号: 1009-6604(2021)07-0643-05

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2021.07.013

血流动力学指标反映循环功能、外周组织灌注等情况,血流动力学监测是心脏手术围术期麻醉管理的重要部分。目前常见的微创血流动力学监测系统有 FloTrac/Vigileo(美国 Edwards Lifesciences)、PiCCO(德国 PULSION)等,其基本原理是脉搏轮廓描记法(pulse contour method, PCM)。Mostcare(意大利 Vytech)采用压力记录分析技术(pressure recording analytical method, PRAM)。与 PCM 通常采用的 100 Hz 的取样率相比,PRAM 采用的 1000 Hz 高频采样率对每一个波形进行采样,使代表循环的重要监测指数(主动脉阻抗、收缩压、舒张压、平均动脉压和重脉压)更加精准,而且能够提供心脏做功效率相关的参数。本文对 PRAM 的技术原理及其在心脏手术围术期应用的研究进展进行综述。

## 1 PRAM 的基本原理及相关参数

### 1.1 PRAM 算法的基本原理

PRAM 只独立依靠患者的动脉压力波形进行评估,能够计算出每搏量(stroke volume, SV)和一个量化的变异度,不需要任何校准、中心静脉置管及人口统计学数据的调整。PRAM 只需要一个动脉(桡动脉、尺动脉或股动脉)通路即可工作,基本原理是:动脉血管的体积变化主要表现为血管壁的径向膨胀,以响应血压的变化,这取决于多种影响因素如心肌收缩力、动脉阻抗和顺应性及外周血管阻力等<sup>[1]</sup>。

PRAM 计算 SV 通过以下公式:  $SV = \frac{A}{\frac{P}{t} \times K}$ , 其

中,  $A$  (mm Hg · s) 代表动脉压力波形收缩期部分下的面积,  $P/t$  (mm Hg · s<sup>-1</sup>) 描述动脉压力曲线, 表示整个心动周期(收缩期和舒张期)中压力( $P$ )随时间( $t$ )的变化,  $K$  是与动脉管径横截面变化加速度成反比的参数。PRAM 可通过 SV 与心率的乘积直接计算出心排量(cardiac output, CO)。

### 1.2 PRAM 的准确性

临床上监测 CO 的“金标准”为经肺动脉插管由热稀释法(thermodilution method, ThD)测得的 CO。PRAM 的准确性在多个研究中均得到验证。

在动物实验研究中, Scolletta 等<sup>[2]</sup>使用猪模型,在多种血流动力学情况(使用多巴酚丁胺或大量失血)下,将 PRAM 测得的 CO 与电磁流量计(electromagnetic flowmetry, EM)和 ThD 测得的 CO 进行对比,认为 3 种技术所测得的结果有很好的的一致性, EM-CO 和 PRAM-CO 之间的平均偏差为 -0.03 L/min(精度 0.58 L/min), 95% 一致性界限为 -0.61 ~ +0.55 L/min, ThD-CO 和 PRAM-CO 也有一致结果。Romagnoli 等<sup>[3]</sup>在猪模型上将 PRAM 所测得的 CO 与 ThD 和经食道超声(TEE)所测得的 CO 进行比较,认为 PRAM 与 ThD 的结果在血流动力学稳定、心动过速以及使用多巴酚丁胺或精氨酸加压素时是准确的,仅当血容量减少超过 35% 时, PRAM 与 ThD ( $r^2 = 0.67$ , bias = 0.37, 百分比误差 45%), PRAM 与 TEE ( $r^2 = 0.38$ , bias = 0.4, 百分比误差 62%) 出现较大偏差。

在临床试验研究中, Scolletta 等<sup>[4]</sup>对比 PRAM 与连续 ThD 在植入搏动性左心室辅助装置(left

\* 通讯作者, E-mail: zhaoliyun1007@163.com

① (首都医科大学附属北京安贞医院麻醉科, 北京 100029)

ventricular assist device, LVAD) 患者中监测 CO 的准确性。该研究纳入 12 例植入 HeartMate I-XVE 患者, 共进行 72 次 CO 的测量, 结果表明 LVAD-CO 与 PRAM-CO ( $r = 0.86$ )、ThD-CO ( $r = 0.88$ ) 有很好的相关性, 因此认为 PRAM 在 LVAD 支持患者的血流动力学评估中可能是一种补充工具。

Giomarelli 等<sup>[5]</sup>的研究纳入 28 例体外循环冠状动脉旁路移植术, 在麻醉插管后 15 min、停止体外循环后 30 min、返回监护室后 1 h 和 3 h 这 4 个时间点, 对比 ThD 与 PRAM 所测得的 CO, 研究共获得 112 个 CO 测量值, ThD 与 PRAM 呈良好的线性相关, 相关程度最高的时间点是返回监护室后 3 h ( $R^2 = 0.78, P < 0.0001$ ), 最低的时间点是停止体外循环后 30 min ( $R^2 = 0.70, P < 0.0001$ )。

Greiwe 等<sup>[6]</sup>纳入非体外循环冠状动脉旁路移植术 41 例, 比较 PRAM 与肺动脉热稀释法 (pulmonary artery thermodilution, PATD) 测得的 CO。该研究进行 195 对 CO 的比较, PATD 和 PRAM 测得 CO 分别为 ( $4.99 \pm 1.02$ ) L/min 和 ( $4.92 \pm 1.05$ ) L/min, 范围分别为 3.04 ~ 8.74 L/min 和 2.79 ~ 8.01 L/min。2 种测量方法的均值差为 ( $-0.08 \pm 0.74$ ) L/min, 95% 一致性界限为  $-1.55 \sim 1.40$  L/min, 百分比误差为 29.8%, 四象限图分析一致率为 92%。该研究表明, PRAM 与 PATD 在成人非体外循环冠状动脉旁路移植术后监测 CO 的数值和趋势分析显示出良好的一致性。

Romagnoli 等<sup>[7]</sup>选择 26 例血管外科手术采用 FloTrac/Vigileo 和 MostCare/PRAM 测得 CO, 以超声心动测得的 CO 为标准, 结果表明 MostCare 测得的 CO 与超声结果具有高度一致性 ( $r^2 = 0.80, 95\% CI: 0.78 \sim 0.95$ ), 而 FloTrac 测得的结果与超声偏差较大 ( $r^2 = 0.27, 95\% CI: 0.16 \sim 0.75$ )。

Scolletta 等<sup>[8]</sup>纳入 15 个欧洲医学中心 ICU 的前瞻性对照研究包括脓毒血症、外伤、术后恢复阶段患者 400 例, 采用超声心动和 MostCare 监测 CO, 结果显示二者有良好的一致性 ( $r = 0.85, 95\% CI: 0.82 \sim 0.88; P < 0.0001; r^2 = 0.74$ )。

综上, 心脏手术围术期血流动力学的波动具有普遍性, 因此, 连续、准确监测血流动力学具有重要意义。多个研究证实 PRAM 与金标准 ThD 及超声心动测得的 CO 具有高度一致性, 但 PRAM 为微创、连续测量, 操作简便, 与其他 PCM 相比准确度更好且花费更少。PRAM 在心脏手术围术期监测中优势

明显。

### 1.3 MostCare/PRAM 的特殊参数

由于 PRAM 技术的独特算法, MostCare 监护仪还可以提供心脏循环效率 (cardiac cycle efficiency, CCE) 和左室压力升支最大斜率 ( $dp/dt$ ) 两个参数。

CCE 是心血管系统在心脏收缩期消耗能量与其在整个心动周期消耗能量的比值, 反映心脏、动脉系统、静脉系统、肺循环等整个循环系统的能量效率, 可通过 PRAM 分析获得。CCE 是一个无单位参数, 范围从负值到 1, 1 是理论上的最高水平<sup>[9]</sup>。

临床上  $+dp/dt_{max}$  和  $-dp/dt_{max}$  均反映心室的收缩功能, 但是传统方法测量  $\pm dp/dt_{max}$  不够便利, 而且不能连续测量。 $dp/dt$  可以通过 MostCare 监护仪直接测得, 且能够持续监测。 $dp/dt$  的持续监测能够连续反映心脏手术围术期心肌收缩力的变化, 围术期  $dp/dt$  的突然变化亦能够捕捉到, 帮助临床做出决策和分析。Scolletta 等<sup>[10]</sup>的研究结果显示, 超声和 MostCare/PRAM 测得的  $dp/dt$  呈线性相关 ( $r = 0.93, 95\% CI: 0.87 \sim 0.96, P < 0.001$ )。

除了上述 2 个独特参数外, MostCare 监护仪还可以常规监测收缩压 (systolic blood pressure, SBP)、舒张压 (diastolic blood pressure, DBP)、重脉压 (diastolic pressure, DicP)、平均动脉压 (mean arterial pressure, MAP)、CO、SV、心排血指数 (cardiac index, CI)、每搏量指数 (stroke volume index, SVI)、脉压差变异度 (pulse pressure variability, PPV)、每搏量变异度 (stroke volume variation, SVV)、外周血管阻力 (systemic vascular resistance, SVR) 及外周血管阻力指数 (systemic vascular resistance index, SVRI), 且均为连续监测。

## 2 PRAM 在心脏手术中的应用

### 2.1 PRAM 在使用主动脉球囊反搏患者中的应用

心功能较差的心脏手术患者常需要主动脉球囊反搏 (intra-aortic balloon pump, IABP) 辅助。Zangrillo 等<sup>[11]</sup>的研究纳入 32 例 IABP 和 (或) 大剂量正性肌力药物治疗的低 CO 综合征患者心脏手术, 其中 67% 的患者使用 IABP, 以 ThD 为标准研究 PRAM 测量的准确性, 结果表明 PRAM 测量 CI 与 ThD 有显著相关性 ( $r = 0.72, P < 0.001$ )。Scolletta 等<sup>[12]</sup>选择 15 例冠状动脉旁路移植术后使用 IABP 者, 使用 PRAM 和 ThD 在球囊反搏率为 1:1、1:2、1:4 时及 IABP 移除后测量 CO, 共对比 106 对数据,

结果显示 THD-CO 和 MostCare-CO 有很好的相关性 ( $r = 0.90, 95\% \text{ CI}: 0.86 \sim 0.93, P < 0.001$ ); 在不同的主动脉内球囊反搏速率设置下, ThD-CO 和 MostCare-CO 之间有密切的一致性; 对两种方法 CO 的变化分别计算, 其相关系数为 0.82 ( $95\% \text{ CI}: 0.76 \sim 0.87, P < 0.001$ )。因此认为, MostCare/PRAM 系统没有受到 IABP 球囊充气 and 放气对动脉波形的影响, 测量值准确度高; 应用正性肌力药物或 IABP 的低 CO 患者可以应用 PRAM 测量 CO 等参数。

综上, 使用 IABP 时血流动力学会受到球囊反搏作用的影响, 对于分析患者自身的心功能及血流动力学监测都有巨大的挑战, 常规监护仪无法正确识别动脉波形的自主收缩压。PRAM 不仅可识别出自主收缩压, 而且依然可以通过识别重脉压对患者自主 SV 进行计算, 为临床监测带来便利。

## 2.2 PRAM 对围术期容量评估的应用

容量管理是心脏手术围术期管理的重点之一, 容量治疗效果的监测具有重要的指导意义。测量容量反应性的方法有很多。传统的血流动力学参数可能不能有效地反映容量治疗的效果<sup>[13]</sup>。Messina 等<sup>[14]</sup>选择 46 例外科手术患者, 潮气量  $< 8 \text{ ml/kg}$  时接受液体冲击治疗后  $5 \sim 10 \text{ min}$ , 使用 PRAM 监护仪监测 PPV、CCE、MAP、DicP 等数值, PPV、 $\Delta\text{CCE}$ 、 $\Delta\text{MAP}$ -DicP 增加反映患者对于液体冲击治疗有效, 尽管该研究不是接受心脏手术的患者, 但是对于接受心脏手术的患者补液后  $\Delta\text{CCE}$  增加也可能具有指导意义。

MostCare 具有儿科专用模式, 在小儿心脏外科监测中亦得到广泛研究。Han 等<sup>[15]</sup>在正中开胸 (26 例) 和微创侧开胸 (29 例) 室间隔修补术中, 通过 PPV 预测患儿接受液体治疗的反应性, 所有患儿在体外循环结束且超滤后接受液体冲击治疗, 使用 PRAM 监护仪记录心率、DBP、SV、CI 和 PPV, 当 CI 在液体冲击治疗后增加 15% 时认为是应答。在胸骨正中切开的婴儿中, 12 例应答, 14 例无应答, 应答组 PPV 高于无应答组 ( $24.7 \pm 6.4 \text{ vs. } 16.6 \pm 5.0, P < 0.01$ ), 曲线下面积为 0.85 ( $95\% \text{ CI}: 0.69 \sim 1, P = 0.001$ ), 临界值为 19%, 敏感性为 92%, 特异度为 71%。在接受微创右开胸手术的婴儿中, 16 例应答, 13 例无应答, 应答组 PPV 高于无应答组 ( $25.0 \pm 6.8 \text{ vs. } 18.2 \pm 5.3, P < 0.01$ ), 曲线下面积为 0.83 ( $95\% \text{ CI}: 0.66 \sim 0.98, P = 0.001$ ), 临界值为 18%,

灵敏度为 94%, 特异度为 69%。该研究表明, PPV 能灵敏地预测室间隔缺损婴儿开胸手术修复后的液体反应性。

Di Tomasso 等<sup>[16]</sup>采用 PRAM 评价动态动脉弹性以及 MAP 反应性。选择心脏手术关胸后存在前负荷相关性低血压的患者, 在 3 min 内进行 250 ml 液体冲击治疗, MAP 升高  $\geq 10\%$  为阳性; 动态动脉弹性为机械通气时 PPV 与 SVV 的比值。最终纳入 97 例, 其中阳性 50 例, 阴性 47 例。动态动脉弹性基线曲线下面积为  $0.64 \pm 0.06$  ( $95\% \text{ CI}: 0.53 \sim 0.73, P = 0.017$ )。动态动脉弹性  $\geq 1.07$ , 灰度值在 0.9 ~ 1.5 之间时, 预测 MAP 增高的敏感性为 86% ( $95\% \text{ CI}: 73\% \sim 94\%$ ), 特异性为 45% ( $95\% \text{ CI}: 30\% \sim 60\%$ )。

PRAM 可同时获得多个参数, 可以从多角度、实时、动态分析患者围术期容量情况, 给心脏手术围术期容量评估提供了量化的方法。

## 2.3 PRAM 在评估预后中应用

CCE 作为心脏在能力效率上的参数, 能够从心脏做功效率角度反映心脏功能。左室收缩末动脉弹性 (left-ventricular end-systolic arterial elastance, Ea) 与左室收缩末弹性 (left-ventricular end-systolic elastance, Ees) 的比值称为动脉-心室耦联, 是反映心血管表现的决定性因素。健康人 Ea/Ees 波动于 0.6 ~ 1.2<sup>[17]</sup>, CCE 与 Ea/Ees 呈负相关,  $\text{CCE} < 0.12, \text{Ea/Ees} \geq 1.3$ 。相同 SVI 水平, CCE 越高, 动脉-心室耦联越趋向于最佳值, 心肌能量代谢 (耗氧量) 水平越低。Scolletta 等<sup>[18]</sup>的研究纳入 70 例重症患者, 对比 PRAM 法和超声心动评价左室功能, 超声心动测得左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) 为  $(53 \pm 18)\%$ , PRAM 测得 CCE 为  $0.16 \pm 0.26$ , LVEF 与 CCE 呈线性相关 ( $r = 0.88, 95\% \text{ CI}: 0.81 \sim 0.92, P < 0.001$ ), 作者认为, 尽管 PRAM 技术测得的指标不能完全取代超声给予的信息, 但是如果存在低 CCE 和  $\text{dp/dt}$  则表明心脏功能较差, 可作为需行超声心动检查的指征。

CCE 的变化先于心功能变化, CCE 对于患者的预后有一定的预测作用。Scolletta 等<sup>[19]</sup>的研究纳入 25 例主动脉瓣置换术, 术前、停止心肺转流时、术后 3 小时 CCE 与血清 N 末端 B 型尿钠肽 (N-terminal natriuretic peptide type B, NT-proBNP) 呈负相关 ( $r = -0.91, -0.83 \text{ 和 } -0.88, P < 0.01$ )。Giglioli 等<sup>[20]</sup>左西孟旦治疗心力衰竭 31 例的研究中, 使用 PRAM



监测 CCE 与 CI 的变化,结果显示,对左西孟旦治疗有反应性与无反应性的患者,其 CI 在治疗前后均没有明显的变化,但是对治疗有反应的患者治疗后 CCE 呈明显升高趋势,预后也较好,而无反应性的患者 CCE 呈下降趋势,预后也较差。韩丁等<sup>[21]</sup>在小儿法洛四联症根治术中应用 PRAM 研究 CCE 的变化,以室间隔缺损修补术为对照组,结果提示,与对照组比较,接受法洛四联症根治术患儿的 CCE 在切皮前、切开心包后 ( $P < 0.01$ ) 及术毕时 ( $P < 0.05$ ) 显著降低,认为 PRAM 在小儿先天性心脏病手术中可以客观反映循环能量效率变化。我们<sup>[22]</sup>在 43 例非体外循环冠状动脉旁路移植术中应用 PRAM 监测血流动力学,结果显示 CCE 在冠脉血管吻合时下降明显,吻合后降支时 CCE 下降最低,在冠脉靶血管完全吻合后 CCE 缓慢恢复,术毕时基本恢复至术前水平,术中各时间点 CI、SVI、SVRI 等均在正常范围内,而 CCE 具有明显的变化,且恢复较其他血流动力学参数缓慢。Ristalli 等<sup>[23]</sup>在 43 例经导管主动脉瓣置换术中使用 PRAM 监测血流动力学,结果显示术后 CO、SV、CCE、dp/dt 等血流动力学参数显著改善,平均动脉压与重脉压的差值 (MAP - DicP) 能够用来分辨是否存在术后残存主动脉瓣关闭不全。

心脏手术由于其复杂性,围术期麻醉医生及外科医生对心功能及预后的判断常需要结合监测指标及临床经验进行评估,不能量化,具有一定的主观性。CCE 从心脏的能量效率角度给予动态评估心功能的量化指标,具有一定的指导意义。同时,PRAM 提供的其他参数可帮助分析影响心功能的原因,为临床调整心功能提供方向。

### 3 小结

PRAM 技术通过外周动脉置管获取动脉波形,能够实时连续准确地监测血流动力学,代表着未来血流动力学的发展方向。该技术不用校准,使用简便,多项研究表明其准确度也较高。PRAM 在左心瓣膜病、心肌病等心功能不全疾病中,对 CO 的监测精度高。此外,PRAM 还可以用于外伤、脓毒血症、儿科等疾病的血流动力学监测<sup>[24]</sup>。CCE 是其独特的参数,对于临床决策具有一定的指导意义,CCE 的提升也预示着预后的改善。同时,PRAM 技术也有一定的局限性:PRAM 主要是对左心系统的监测,对于右心系统及血管外肺水的监测,不能提供右心

系统相关的病态数据;PRAM 对于心房颤动患者监测结果的偏差值较大;PRAM 信号来源为动脉波形,所以当由于疾病或临床干预原因出现非常规动脉波形时,PRAM 监测结果也会受到影响。总之,作为一项微创血流动力学监测技术,PRAM 有其自身明显的优势,但在不同条件下应用的有效性还需进一步研究。

### 参考文献

- 1 Romagnoli S, Franchi F, Ricci Z, et al. The pressure recording analytical method (PRAM): technical concepts and literature review. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31(4): 1460 - 1470.
- 2 Scolletta S, Romano SM, Biagioli B, et al. Pressure recording analytical method (PRAM) for measurement of cardiac output during various haemodynamic states. *Br J Anaesth*, 2005, 95(2): 159 - 165.
- 3 Romagnoli S, Romano SM, Bevilacqua S, et al. Cardiac output by arterial pulse contour: reliability under hemodynamic derangements. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2009, 8(6): 642 - 646.
- 4 Scolletta S, Miraldi F, Romano SM, et al. Continuous cardiac output monitoring with an uncalibrated pulse contour method in patients supported with mechanical pulsatile assist device. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2011, 13(1): 52 - 56.
- 5 Giomarelli P, Biagioli B, Scolletta S. Cardiac output monitoring by pressure recording analytical method in cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2004, 26(3): 515 - 520.
- 6 Greiwe G, Luehsen K, Hapfelmeier A, et al. Cardiac output estimation by pulse wave analysis using the pressure recording analytical method and intermittent pulmonary artery thermodilution: a method comparison study after off-pump coronary artery bypass surgery. *Eur J Anaesthesiol*, 2020, 37(10): 920 - 925.
- 7 Romagnoli S, Ricci Z, Romano SM, et al. FloTrac/Vigileo™ (third generation) and MostCare®/PRAM versus echocardiography for cardiac output estimation in vascular surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2013, 27(6): 1114 - 1121.
- 8 Scolletta S, Franchi F, Romagnoli S, et al. Comparison between Doppler-echocardiography and uncalibrated pulse contour method for cardiac output measurement: a multicenter observational study. *Crit Care Med*, 2016, 44(7): 1370 - 1379.
- 9 Romano SM. Cardiac cycle efficiency: a new parameter able to fully evaluate the dynamic interplay of the cardiovascular system. *Int J Cardiol*, 2012, 155(2): 326 - 327.
- 10 Scolletta S, Bodson L, Donadello K, et al. Assessment of left ventricular function by pulse wave analysis in critically ill patients. *Intensive Care Med*, 2013, 39(6): 1025 - 1033.
- 11 Zangrillo A, Maj G, Monaco F, et al. Cardiac index validation using the pressure recording analytic method in unstable patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2010, 24(2): 265 - 269.
- 12 Scolletta S, Franchi F, Taccone FS, et al. An uncalibrated pulse

- contour method to measure cardiac output during aortic counterpulsation. *Anesth Analg*, 2011, 113(6):1389 – 1395.
- 13 Giglioli C, Landi D, Cecchi E, et al. Effects of ULTRAFiltration vs. DIureticS on clinical, biohumoral and haemodynamic variables in patients with deCOmpensated heart failure: the ULTRADISCO study. *Eur J Heart Fail*, 2011, 13(3):337 – 346.
- 14 Messina A, Romano SM, Bonicolini E, et al. Cardiac cycle efficiency and dirotic pressure variations: new parameters for fluid therapy. *Eur J Anaesthesiol*, 2017, 34(11):755 – 763.
- 15 Han D, Liu YG, Luo Y, et al. Prediction of fluid responsiveness using pulse pressure variation in infants undergoing ventricular septal defect repair with median sternotomy or minimally invasive right thoracotomy. *Pediatr Cardiol*, 2017, 38(1):184 – 190.
- 16 Di Tomasso N, Lerosé CC, Licheri M, et al. Dynamic arterial elastance measured with pressure recording analytical method, and mean arterial pressure responsiveness in hypotensive preload dependent patients undergoing cardiac surgery: a prospective cohort study. *Eur J Anaesthesiol*, 2021, 38(4):402 – 410.
- 17 Chantler PD, Lakatta EG, Najjar SS. Arterial-ventricular coupling: mechanistic insights into cardiovascular performance at rest and during exercise. *J Appl Physiol* (1985), 2008, 105(4):1342 – 1351.
- 18 Scolletta S, Bodson L, Donadello K, et al. Assessment of left ventricular function by pulse wave analysis in critically ill patients. *Intensive Care Med*, 2013, 39(6):1025 – 1033.
- 19 Scolletta S, Ranaldi G, Carlucci F, et al. Relationship between N-terminal pro-B-type natriuretic peptide (Nt-proBNP) and cardiac cycle efficiency in cardiac surgery. *Biomed Pharmacother*, 2010, 64(8):511 – 515.
- 20 Giglioli C, Cecchi E, Landi D, et al. Levosimendan produces an additional clinical and hemodynamic benefit in patients with decompensated heart failure successfully submitted to a fluid removal treatment. *Congest Heart Fail*, 2012, 18(1):47 – 53.
- 21 韩丁, 罗毅, 贾清彦, 等. 压力记录分析法用于小儿法洛四联症根治术中循环能量效率研究. *心肺血管病杂志*, 2016, 35(8):623 – 627.
- 22 方英伦, 吕誉芳, 赵丽云, 等. 非心肺转流冠状动脉旁路移植术中心脏循环效率变化趋势的分析. *临床麻醉学杂志*, 2018, 34(10):979 – 983.
- 23 Ristalli F, Romano SM, Stolicova M, et al. Hemodynamic monitoring by pulse contour analysis during trans-catheter aortic valve replacement: a fast and easy method to optimize procedure results. *Cardiovasc Revasc Med*, 2019, 20(4):332 – 337.
- 24 Franchi F, Silvestri R, Cubattoli L, et al. Comparison between an uncalibrated pulse contour method and thermodilution technique for cardiac output estimation in septic patients. *Br J Anaesth*, 2011, 107(2):202 – 208.

(收稿日期:2020 – 12 – 03)

(修回日期:2021 – 05 – 03)

(责任编辑:王惠群)