

# 经食管超声心动图在心脏手术心肺转流 停机困难中的应用进展

李雪杰 程静 周荣华 仲山

**【摘要】** 由于结构性或功能性心脏异常、血管麻痹综合征或心室功能障碍,心脏外科患者会出现心肺转流(CPB)停机困难。在这些情况下,需要迅速做出决策才能成功停机。自上世纪 90 年代中期以来,经食管超声心动图(TEE)为评估手术的完整性、识别异常循环状况和指导外科决策提供了帮助。本文分别从心室功能障碍、心脏结构异常、心脏通道功能异常、血管麻痹综合征四个方面分别阐述 TEE 指导 CPB 停机困难的应用进展。

**【关键词】** 经食管超声心动图;心肺转流;心脏手术;停机困难

**Application progress of transesophageal echocardiography in cardiac surgery with difficult shutdown of cardiopulmonary bypass** LI Xuejie, CHENG Jing, ZHOU Ronghua, ZHONG Shan. Department of Anesthesiology, West China Hospital, Sichuan University, 610041 Chengdu, China  
Corresponding author: ZHONG Shan, Email: tintin0211@163.com

**【Abstract】** Due to abnormal structural or functional heart, vasoplegic syndrome, or ventricular dysfunction, it is difficult for many cardiac surgery patients to separate cardiopulmonary bypass (CPB). In these cases, decisions need to be made quickly to take off the cardiopulmonary bypass successfully. Since the mid-1990s, transesophageal echocardiography (TEE) has provided an opportunity to assess the integrity of surgery, identify abnormal circulatory conditions, and guide surgical decisions. The purpose of this review is to provide TEE applications progress related to the difficulty of CPB shutdown in the four aspects of ventricular dysfunction, structural abnormalities of the heart, abnormal channel function, and vasoplegic syndrome.

**【Key words】** Transesophageal echocardiography; Cardiopulmonary bypass; Cardiac surgery; Difficult shutdown

冠状动脉旁路移植术、瓣膜修复/置换术、先天性心脏病矫治术及大血管手术等需要进行心肺转流(cardiopulmonary bypass, CPB)<sup>[1]</sup>,复杂手术的 CPB 会导致停机困难,从而危及生命,增加围术期的发病率和死亡率<sup>[2]</sup>。CPB 停机需要患者从完全 CPB 支持逐渐过渡到自主心脏活动,通过肺循环和体循环提供足够的容量负荷、压力负荷和氧供。经食管超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)通过评估心脏性能、手术修复的充分性、两个心室的相互依赖性以及心脏和循环动静脉室之间的耦合,快速评估循环系统和手术完整性,排除自体瓣膜或人工瓣膜功能障碍、瓣周漏和室壁运动异常。停机过程中,TEE 为诊疗决策提供了合理的基础,为使用正性肌力药物和血管升压药物、主动脉

内球囊反搏或机械辅助装置提供依据。自 2010 年以来,欧洲和美国工作组均建议在所有择期和紧急心脏手术中使用 TEE(除非存在使用禁忌)<sup>[3-4]</sup>。本文对 TEE 在心脏手术 CPB 停机困难中的应用进展作一综述。

## CPB 停机概述

CPB 在开始停机之前,应常规满足几个先决条件:(1)通过使用 CPB 热交换器、对流空气循环和循环水毯主动复温来实现正常体温,保证直肠或者膀胱温度高于 35.5 °C;(2)动脉血气分析以确保血液中的氧含量(Hct>25%, PaO<sub>2</sub>>100 mmHg)、电解质(K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>)、血糖和 pH 值均在正常范围内,同时保持完全抗凝(激活凝血时间>400 s);(3)手法膨肺(FiO<sub>2</sub>>0.8),恢复机械通气,心肺监护报警重新激活;(4)主动脉开放和心室电除颤(如需要)后,维持 HR 70~100 次/分,心动过缓和房室传导阻滞使用阿托品、β 肾上腺素能受体激动药或心脏起搏治疗;(5)TEE 初步检查无严重结构性或者功能性

DOI: 10.12089/jca.2023.05.018

作者单位:610041 成都市,四川大学华西医院麻醉科(李雪杰、周荣华);深圳市人民医院麻醉科(程静);南京医科大学附属医院麻醉科(仲山)

通信作者:仲山,Email: tintin0211@163.com

的异常。

CPB 停机过程中可以通过 TEE 直接检查右心室和右心房评估心脏充盈情况。通过从 CPB 储血罐中回输血液,精准静脉输液来优化心脏前负荷,可以简单有效地恢复大多数心室功能正常患者的心输出量(cardiac output, CO)和 MAP。TEE 用于帮助诊断 CPB 停机困难可见于以下几种情况:(1)心室收缩功能障碍,其特征是收缩力下降,心室舒张功能障碍和充盈受限,容量相对不足和绝对不足;(2)结构异常,如心内分流、瓣膜反流、瓣周漏,或血管旁路移植术梗阻阻塞;(3)通道功能异常,如左(或右)心室流出道梗阻;(4)血管麻痹综合征血压和全身血管阻力低,需要正常或升高的 CO 维持心室功能。

### TEE 用于心室功能及容量评估

**左心室收缩功能** 心肌收缩力是 CPB 停机成功的重要决定因素之一。MAP、体循环充盈压和 CO 是此阶段的关键参数。CO 低且充盈压高或正常时,首选肾上腺素;全身阻力和平均动脉压降低,考虑使用去甲肾上腺素。正性肌力药物的使用与住院死亡率独立相关,TEE 可以为辅助评估提供证据,使患者从用高剂量正性肌力药和血管升压药来完成 CPB 停机,转变为早期使用机械循环辅助。在 CPB 停机过程中经常观察到心室间运动不同步、矛盾的室间隔运动和束支传导阻滞等情况,会影响左心室收缩力和有效的 CO,可以通过 TEE 来鉴别传导阻滞和室壁运动异常。所以 TEE 对于左心室收缩功能的评估,及血管活性药物的使用和临床决策有重要的作用(表 1)。需要强调的是,在使用过程中要注意各种指标的适用范围,选择最简单、有效、便捷的方式来评估。三维(3D)超声心动图无需用

假设的几何形态测定左心室容积。通过断层技术,可保证从 3D 数据中提取切面重建的左心室不缩短,使 Simpson 法测得的射血分数更为准确。在左心室容积测定方面,3D 超声心动图比二维(2D)超声心动图的准确性更高,与 MRI 相关性很高<sup>[5]</sup>。

**左心室舒张功能** 舒张功能障碍易导致 CPB 停机困难。舒张功能障碍的标志是前负荷正常,但心室无法接受足够的血液量。舒张功能障碍常伴或不伴收缩功能障碍,单独的舒张功能障碍很少导致 CPB 停机失败。然而,当合并房颤、室上性快速心律失常或冠状动脉灌注减少或高血压等因素,舒张功能障碍会导致心源性休克的发生,从而导致 CPB 停机困难。在手术室中,TEE 可实时监测舒张功能和评估舒张功能障碍的程度<sup>[7]</sup>。在术中的血流动力学动态变化中,并非所有指标都容易获得<sup>[8]</sup>。因此,本文总结了 CPB 停机困难过程中用于舒张功能障碍评估的常用指标(表 2)。

**容量评估** 前负荷是容量负荷,是心室在舒张末期的容量,临床上通过测定心室充盈压间接反映前负荷。在舒张末期充盈阶段的末期,心房压和心室压基本相等。左心室前负荷的评估主要是针对左心房压力的评估<sup>[10]</sup>,可通过肺静脉频谱中舒张期血流减速时间  $DT_D$  来估测左心房压,或者使用公式  $PCWP = 1.24 \times E \div e + 1.9$  ( $E$ ,二尖瓣前向血流; $e$ ,二尖瓣瓣环侧壁和间壁组织多普勒的均值)来进行估测<sup>[11]</sup>(不能用于二尖瓣病变或者房颤等患者)。此外,通过观察左心房的大小、房间隔的运动(体现左心房和右心房压力交替)等也可估测左心房压。

**右心室功能及肺动脉高压** CPB 后严重的右心室衰竭与高达 86% 的死亡率相关<sup>[12]</sup>。右心室衰竭可能受心肌收缩力差(继发于术前冠状动脉疾病、CPB 后心肌顿抑、心肌保护差和心律失常等因

表 1 左心室收缩功能评价指标<sup>[6]</sup>

指标	计算公式或测量方法	正常值	异常值
FS(M 型超声)	$FS = (LVIDd - LVIDs) \div LVIDd \times 100\%$	>26% ~ 45%	<25%
FAC(2D)	$FAC = (EDA - ESA) \div EDA \times 100\%$	>40% ~ 60%	<40%
EF	$EF = (EDV - ESV) \div EDV \times 100\%$	>55%	<55%
MAPSE	瓣环侧壁位移	10 ~ 14 mm	<8 mm
MPI	$MPI = (ICT + IRT) \div ET$	0.34 ~ 0.44	>0.5

注:FS,缩短分数;LVIDd,左室舒张末内径;LVIDs,左心室收缩末内径;FAC,面积变化分数;EDA,舒张末面积;ESA,收缩末面积;EF,射血分数;EDV,舒张末期容积;ESV,收缩末期容积;MAPSE,二尖瓣瓣环收缩期位移;MPI,心肌性能指数;ICT,等容收缩时间;IRT,等容舒张时间;ET,射血时间

表 2 左心室舒张功能评价指标<sup>[9]</sup>

指标	舒张受损	假正常	限制性充盈
E' (cm/s)	<10	<10	<10
E/A	0.8	0.8~1.5	≥2
DT (ms)	>200	160~200	<160
E/E'	≤8	9~12	≥13
Ar-A (ms)	<0	≥30	≥30

注: E', 二尖瓣组织多普勒运动速度; E, 跨二尖瓣血流早期充盈血流; A, 跨二尖瓣晚期充盈血流; DT, 减速时间(二尖瓣 M 峰); Ar-A, 肺静脉频谱 A 波持续时间与跨二尖瓣 A 波持续时间的差值

素)或心肌灌注不足(继发于右冠状动脉的空气栓塞或血栓栓塞、冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)后静脉移植物扭结、继发于左心室功能障碍的低主动脉-冠状动脉压差)影响<sup>[13]</sup>。通常,右心室对慢性肺动脉高压的耐受性优于急性肺动脉高压。此外,右心室冠状动脉供血发生在整个心动周期过程中。慢性肺动脉高压导致右心室收缩末期和舒张末期压力升高,使右心室在 CPB 停机期间处于缺血的风险中<sup>[14]</sup>。肺动脉高压和右心功能不全是相互联系的,因此围术期的停机困难不是因为右心功能不全,而是因为肺动脉高压。即使存在右心功能不全的情况下,如果维持较低的肺动脉压力或者肺循环阻力是有可能 CPB 顺利停机。CPB 后的急性右心室功能障碍可以通过 TEE 检查发现,显示收缩力差和右心室扩张、三尖瓣反流和低三尖瓣环平面收缩偏移(<17 mm)、肺动脉加速时间缩短(<60 ms)。斑点追踪和 3D TEE 技术的发展,近年来对新的测量指标的研究使右心室功能评估和准确性不断提高。右心室 3D TEE 测量的 EF 与 MRI 测量值的相关性在儿童和成人都非

常高<sup>[15]</sup>。TEE 评估右心功能的指标详见表 3(因 TAPSE 和 MPI 同时可以评价右心室的收缩功能和舒张功能,本文不单独对右心室舒张功能进行量化评估)。

### TEE 用于心脏结构异常的评估

人工机械瓣膜置换需关注功能异常以及瓣膜成型效果。在行二尖瓣人工机械瓣膜置换术时,要注意有无机械瓣卡瓣的情况,尤其是过多的保留二尖瓣瓣下结构及保留二尖瓣后瓣结构的手术更需要注意<sup>[17]</sup>。TEE 的三维成像有助于发现机械瓣膜卡瓣的情况,需要注意的是,机械瓣功能的评估一定要在容量负荷和压力负荷都足够的情况下进行,同时避免因为放置左心引流的导管未退出左心室而误判为机械瓣卡瓣。

先天性心脏病纠治效果,需要通过 TEE 评估的内容相对较多<sup>[18]</sup>,尤其是复杂先天性心脏病,无论是姑息手术还是根治术,手术效果的及时有效评价是必须的。TEE 的评估可以围绕心脏的房室壁及血管壁、心腔、瓣膜、血流四个方面:(1)壁的完整性的评估,缺损修补的正确性、有效性;(2)心腔的大小、连接方式,尤其是对于 Double switch 或者 Switch 这类复杂手术要全面评估,明确心房心室与大血管之间的正确连接关系;(3)瓣膜的功能,有无狭窄及反流,特别是针对瓣膜修复术的效果,单心房单心室的共用房室瓣功能的评估尤为重要,对于能否停机意义重大;(4)血流有无加速、有无分流等方面进行评估,特别是出现血流加速的情况一定要鉴别结构性还是功能性因素,如果 TEE 声窗受限可以寻求心脏表面超声的支持,以明确诊断。

### TEE 用于心脏通道功能异常评估

CABG 手术出现停机困难时,TEE 可以通过评

表 3 右心室功能评估指标<sup>[16]</sup>

指标	计算公式或测量方法	正常值	异常值
FAC (2D)	$FAC = (EDA - ESA) \div EDA \times 100\%$	>42% ~ 56%	<35%
EF (3D)	$EF = (EDV - ESV) \div EDV \times 100\%$	>51.5% ~ 64.5%	<45%
TAPSE	瓣环侧壁位移	21 ~ 27 mm	<17 mm
MPI	$MPI = (ICT + IRT) \div ET$	0.30 ~ 0.46 (TDI)	>0.54
dP/dt	$dP/dt = 12 \text{ mmHg} \div \text{时间}$	>400 mmHg/s	<400 mmHg/s

注: FAC, 面积变化分数; EDA, 舒张末面积; ESA, 收缩末面积; EF, 射血分数; EDV, 舒张末容积; ESV, 收缩末容积; TAPSE, 三尖瓣瓣环收缩期位移; MPI, 心肌性能指数; ICT, 等容收缩时间; IRT, 等容舒张时间; ET, 射血时间; TDI, 组织多普勒; dP/dt, 压力上升速率

估局部和整体心肌运动及功能,关注冠脉灌注的不同心肌节段运动,来确认冠脉旁路是否通畅、有无发生扭结,同时 TEE 可以发现冠脉中的气体、血栓、冠脉夹层等情况<sup>[19]</sup>。在涉及到主动脉瓣、主动脉窦、升主动脉的手术中,尤其要注意冠脉血流的情况。

TEE 有助于评估先天性心脏病患者通道功能,主要是涉及左室流出道(left ventricular outflow tract, LVOT)和右心室流出道(right ventricular outflow tract, RVOT),如法洛三联症及右心室双出口(double outlet right ventricle, DORV)矫治,以及 Glenn 术、Fotan 术等需腔肺静脉连接的手术,都需要重点评估通道功能。同时 TEE 注意观察主动脉插管过粗(尤其新生儿心脏手术)引起外周体循环压力下降的情况,必要时主动脉根部测压来确认和外周动脉的压差。

二尖瓣收缩期前向运动(systolic anterior motion, SAM)是二尖瓣修复术后的常见并发症,发生率为 1%~16%<sup>[20]</sup>。对于左心室肥厚患者,如肥厚性心肌病和主动脉瓣狭窄,需密切关注 SAM 或者左心室内梗阻等情况出现。优化前负荷、后负荷和心率有助于改善 SAM 与 LVOT 阻塞和偏心性的二尖瓣反流存在,TEE 能评估是否需要更改手术决策或者重新修复瓣膜。

另外还有一些临床上的特殊情况,如 TEE 在下腔静脉切面观察到增粗的下腔静脉以及左心系统容量不足的超声表现<sup>[21]</sup>,提示下腔静脉未开放。TEE 检查通道问题一般按照上下腔静脉、三尖瓣、右心室流出道、肺动脉、肺静脉、二尖瓣、左心室流出道、主动脉瓣、主动脉的顺序进行,发现问题及时与外科医师沟通,必要时更改手术决策。

### TEE 用于血管麻痹综合征的评估

血管麻痹综合征的定义:MAP<50 mmHg 或 SBP<85 mmHg,全身血管阻力(systemic vascular resistance, SVR)<600~800 dynes·s·cm<sup>-5</sup>或全身血管阻力指数(SVRI)<1 800 dynes·s·cm<sup>-5</sup>·m<sup>-2</sup>,心脏指数>2.5 L·min<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>,CVP<10 mmHg 和肺毛细血管楔压<10 mmHg,以及对血管活性药物的需求增加(去甲肾上腺素 0.2~0.5 μg·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,血管内容量正常)<sup>[22]</sup>。在这种情况下,TEE 检查常显示收缩性好,左心室运动亢进。在心脏手术中 CPB 血管麻痹综合征的发生率约 5%~50%<sup>[23]</sup>。主要病理生理机制为血管麻痹性低血压继发于血管平滑肌细胞收缩障碍,质膜的超极化使激活的电压依赖性通

道与细胞质中钙的流入分离,即使使用高剂量的儿茶酚胺也不能引起血管收缩。Kim 等<sup>[13]</sup>研究表明,除了一氧化氮、利钠肽和腺苷外,激活三磷酸腺苷敏感性钾通道可拮抗平滑肌细胞收缩,从而进一步加重低血压。

TEE 可以评估心功能和心输出量。心功能的评估主要在心室功能评估部分做详细的描述。体循环阻力 SVR=(MAP-CVP)÷CO×80 来计算,因此 CO 的计算就显得非常的重要。TEE 准确计算每搏量(stroke volume, SV),然后根据心率计算 CO,可以快速推算出 SVR,从而快速、精准、有效地诊断外周血管麻痹综合征,并及时处理。TEE 计算 SV 常用方法有以下 6 种。

**左心室短轴 M 型超声** 超声根据左心室的圆锥形计算出患者的舒张末容积和收缩末容积,从而计算出 SV;但是这个几何模型是基于左心室理想的圆锥形几何形态的假设,并且要求长轴和短轴的长度比是 2:1,此方法局限性在于大部分的心脏手术左心室的形态并不规则。

**二维双平面法(改良 Simpson 法)** 相对于左心室短轴 M 型超声,这种方式对于左心室形态不规则的情况有改善,同时可以观察到左心室整体形变。但是对于合并室壁瘤情况不适用。同时,由于 TEE 很难在食管中段四腔心切面完整地显示左心室心尖部分,因此计算的 SV 容易被低估。

**LVOT 速度时间积分(VTI)和 LVOT 截面积乘积** 这个方式计算 SV 是目前常使用的方式<sup>[24]</sup>,但是需要使用经胃底的左室长轴或者深胃底五腔心切面,这两个切面可能出现操作困难。同时这个计算方式在 LVOT 不是圆锥形的情况下(比如室间隔增厚)计算不准确,所以目前的主流是采用主动脉瓣口的 VTI 和主动脉瓣口面积乘积来计算,主动脉瓣置换的患者不适用此方法。

**二尖瓣瓣口 VTI 和二尖瓣的瓣口面积乘积** 在不伴有二尖瓣病变的情况下,可以使用此方式来计算 SV,但不适用于二尖瓣置换的患者。

**RVOT 的 VTI 及 RVOT 截面积的乘积** 如果同时计算了经 LVOT 的 SV,可以计算出患者的肺循环血流和体循环血流的比值,尤其是对术后分流患者(如 ASD 术后遗漏肺静脉异位引流)有诊断作用。

**降主动脉 VTI 及降主动脉截面积的乘积** 此方式是麻醉科医师常采用的方式之一,主要原因是获取图像的速度快、质量高,测量更为便捷。通过计算降主动脉的 SV 乘以 1.4 以获得左心室的 SV<sup>[25]</sup>。

## 小 结

TEE 是一种可视化技术,可以从结构和功能上评估循环系统,为术中诊断和治疗决策提供依据,有效地提高麻醉和手术的安全性。在心脏手术 CPB 停机困难中,通过在心室功能障碍、心脏结构异常、心脏通道功能异常、血管麻痹综合征四个方面应用 TEE,有助于为麻醉科医师、心脏外科医师、CPB 灌注医师提供参考,指导 CPB 停机。

## 参 考 文 献

- [1] Ailawadi G, Zacour RK. Cardiopulmonary bypass/extracorporeal membrane oxygenation/left heart bypass: indications, techniques, and complications. *Surg Clin North Am*, 2009, 89(4): 781-796.
- [2] Denault AY, Tardif JC, Mazer CD, et al. Difficult and complex separation from cardiopulmonary bypass in high-risk cardiac surgical patients: a multicenter study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2012, 26(4): 608-616.
- [3] American Society of Anesthesiologists and Society of Cardiovascular Anesthesiologists task force on transesophageal echocardiography. Practice guidelines for perioperative transesophageal echocardiography. An updated report by the American Society of Anesthesiologists and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists task force on transesophageal echocardiography. *Anesthesiology*, 2010, 112(5): 1084-1096.
- [4] Flachskampf FA, Badano L, Daniel WG, et al. Recommendations for transoesophageal echocardiography: update 2010. *Eur J Echocardiogr*, 2010, 11(7): 557-576.
- [5] O'Dell WG. Accuracy of left ventricular cavity volume and ejection fraction for conventional estimation methods and 3D surface fitting. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8(6): e009124.
- [6] Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(1): 1-39.
- [7] Win TT, Alomari IB, Awad K, et al. Transesophageal versus transthoracic echocardiography for assessment of left ventricular diastolic function. *J Integr Cardiol Open Access*, 2020, 3(1).
- [8] Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29(4): 277-314.
- [9] Balaney B, Medvedofsky D, Mediratta A, et al. Invasive validation of the echocardiographic assessment of left ventricular filling pressures using the 2016 diastolic guidelines: head-to-head comparison with the 2009 guidelines. *J Am Soc Echocardiogr*, 2018, 31(1): 79-88.
- [10] Nagueh SF. Non-invasive assessment of left ventricular filling pressure. *Eur J Heart Fail*, 2018, 20(1): 38-48.
- [11] Thomas L, Muraru D, Popescu BA, et al. Evaluation of left atrial size and function: relevance for clinical practice. *J Am Soc Echocardiogr*, 2020, 33(8): 934-952.
- [12] Haddad F, Couture P, Tousignant C, et al. The right ventricle in cardiac surgery, a perioperative perspective: I. Anatomy, physiology, and assessment. *Anesth Analg*, 2009, 108(2): 407-421.
- [13] Kim JH, Lerose CC, Landoni G, et al. Differences in biomarkers pattern between severe isolated right and left ventricular dysfunction after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34(3): 650-658.
- [14] Monaco F, Di Prima AL, Kim JH, et al. Management of challenging cardiopulmonary bypass separation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34(6): 1622-1635.
- [15] Muraru D, Spadotto V, Cecchetto A, et al. New speckle-tracking algorithm for right ventricular volume analysis from three-dimensional echocardiographic data sets: validation with cardiac magnetic resonance and comparison with the previous analysis tool. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016, 17(11): 1279-1289.
- [16] Mitchell C, Rahko PS, Blauwet LA, et al. Guidelines for performing a comprehensive transthoracic echocardiographic examination in adults: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(1): 1-64.
- [17] Rajiah P, Moore A, Saboo S, et al. Multimodality imaging of complications of cardiac valve surgeries. *Radiographics*, 2019, 39(4): 932-956.
- [18] Puchalski MD, Lui GK, Miller-Hance WC, et al. Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination in children and all patients with congenital heart disease: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2019, 32(2): 173-215.
- [19] Metkus TS, Thibault D, Grant MC, et al. Transesophageal echocardiography in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 78(2): 112-122.
- [20] Nenna A, Nappi F, Spadaccio C, et al. Systolic anterior motion (SAM) complicating mitral valve repair: current concepts of intraoperative and postoperative management. *Surg Technol Int*, 2020, 37: 225-232.
- [21] Orso D, Paoli I, Piani T, et al. Accuracy of ultrasonographic measurements of inferior vena cava to determine fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care Med*, 2020, 35(4): 354-363.
- [22] Liu H, Yu L, Yang L, et al. Vasoplegic syndrome: an update on perioperative considerations. *J Clin Anesth*, 2017, 40: 63-71.
- [23] Busse LW, Barker N, Petersen C. Vasoplegic syndrome following cardiothoracic surgery-review of pathophysiology and update of treatment options. *Crit Care*, 2020, 24(1): 36.
- [24] Sangkum L, Liu GL, Yu L, et al. Minimally invasive or noninvasive cardiac output measurement: an update. *J Anesth*, 2016, 30(3): 461-480.
- [25] Singer M. Esophageal Doppler monitoring of aortic blood flow: beat-by-beat cardiac output monitoring. *Int Anesthesiol Clin*, 1993, 31(3): 99-125.

(收稿日期:2022-04-10)