

围手术期患者容量状态评估及液体管理研究进展

田亚丽 李冰冰

南京大学医学院附属鼓楼医院麻醉科 210008

通信作者:李冰冰, Email: icecolor@163.com

【摘要】 合理的围手术期液体管理是影响患者快速康复的关键因素之一。优化液体治疗能够提高组织灌注和氧供,有助于改善微循环,进而降低患者的病死率和术后住院时间。对患者容量状态的准确评估是围手术期管理的基础。文章对围手术期患者容量状态评估方法进行综述,内容包括静态指标、动态指标以及经胸心脏超声和肺超声下的各种参数等,为麻醉医师围手术期液体管理提供新的思路。

【关键词】 围手术期; 容量状态; 液体管理

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.08.014

Advances in assessment of volume status and perioperative fluid management for surgical patients

Tian Yali, Li Bingbing

Department of Anesthesiology, Drum Tower Hospital Affiliated to Nanjing University, Nanjing 210008, China

Corresponding author: Li Bingbing, Email: icecolor@163.com

【Abstract】 Rational perioperative fluid management is one of the key determinants responsible for enhanced recovery of patients after surgery. Hypovolemic condition or hypervolemia is closely associated with an increased postoperative mortality or morbidity. Optimal fluid administration facilitates the improvement of tissue perfusion and oxygen supply, so as to avoid microcirculation dysfunction, unnecessary fluid loading, and reduce patient mortality and hospitalization stay. Therefore, accurate assessment of volume status is one of important issues in perioperative management for these patients. In the paper, diverse methods of assessing perioperative volume status of patients including static and dynamic parameters as well as noninvasive transthoracic ultrasound are critically reviewed. The advancements in assessment of the volume status of patients and perioperative fluid management are reviewed to provide new thoughts in fluid therapy of the surgical patients in this article.

【Key words】 Perioperative period; Volume status; Fluid management

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.08.014

围手术期容量管理是临床麻醉工作的重要组成部分,对预防术后并发症以及患者顺利康复至关重要。输液不足可造成患者心、肾、脑等重要器官低灌注、微循环障碍、器官功能不全;输液过量会引起患者术后腹内高压,影响吻合口愈合、胃肠功能恢复,增加全身感染概率;两者都可导致患者术后并发症、病死率增加。因此,正确评估容量状态加上合理的液体管理,能够使得患者血流动力学最优化,避免无效甚至有害的液体输注^[1]。因此,我们对近年来围手术期容量评估方案的进展进行综述,帮助麻醉医师精准评估患者围手术期的容量状态,合理进行液体输注,从而促进患者术后快速康复。

1 静态指标

1.1 有创动脉血压

有创动脉血压能直观、动态地反映患者每一个心动周期的血压变化,并可随时进行动脉血气分析,结合内环境碱剩余、乳酸、Hct 等指标评估血容量状态。但是,只有当体液丢失达体重的 10% 以上或者急性失血量超过循环血容量的 20% 时,才会出现明显的血压下降。而且,血压容易受到血管活性药物、术中刺激、体温变化以及患者合并的心血管疾病等各种因素的影响,不能及时、准确地反映当时的容量状态^[2]。此外,低血容量患者常合并窦性心动过速、外周皮肤皴裂、黏膜干燥以及尿量下降,这些都

以提示有效循环血容量不足,但缺乏较高的敏感性和特异性。

1.2 CVP

CVP 广泛用于评价患者的有效循环血容量和指导液体管理。在一项关于高风险手术的患者血流动力学监测的调查中,美国和欧洲使用 CVP 指导液体管理的麻醉医师分别占 73%和 84%^[3]。CVP 是右心房压力的近似值[正常值 5~12 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa)],右心房压力决定了右心室充盈。由于右心室容量和左心室充盈密切相关,因此 CVP 用来间接反映左心室的前负荷。然而,由于 CVP 容易受到胸内压、心包压、静脉血管张力以及左右心室顺应性的影响,CVP 和右心室舒张末期容量的相关性较差。此外,在肺动脉高压、二尖瓣病变或者左心室顺应性下降时,CVP 也不能准确地反映左心室前负荷^[4,5]。然而,这并不意味着我们就要放弃 CVP 在容量评估方面的作用,Cherpanath 等^[6]研究认为 CVP 的动态变化可以准确预测容量反应性,当快速输注 500 ml 的液体后,CVP 的变化>12%(敏感性 100%,特异性 100%)可以判断该患者具有容量反应性,其受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC 曲线)下面积为 1。此外,低 CVP 技术在肝手术中应用仍然很广泛。麻醉医师通过限制液体、利尿以及体位变化等,维持较低的 CVP,使患者处在相对血容量不足的状态,以降低下腔静脉和肝窦内压力,从而减少肝切除手术中出血量。最早 Jones 等^[7]发现,肝手术中 CVP 低于 5 cmH₂O 患者的出血量和接受输血的比例明显低于 CVP 超过 5 cmH₂O 的患者。同年, Melendez 等^[8]也回顾性分析了 1991 至 1997 年期间大范围肝切除术(切除范围>3 肝段)的资料,496 例手术肝切除前采用了低 CVP 技术[维持 CVP<5 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)],结果患者中位失血量为 645 ml,术中和术后 12 h 内 67%的患者没有输血。约 3%的患者经历持续的 Cr 升高,但最终没有进展为肾功能不全。他们认为低 CVP 能减少肝手术的失血,还不明显影响患者的肾功能。近年来,国内学者也证实,控制性低 CVP 技术是简单、行之有效减少肝手术出血和接受异体血制品的方法,而且低 CVP 对肝肾功能没有明显的影响^[9]。Hughes 等^[10]的系统回顾和 Meta 分析也表明低 CVP 组术中患者出血量比高 CVP 组减少约 308 ml。

2 动态前负荷指导下的液体管理模式

传统的静态指标易受到心室顺应性、瓣膜功能、胸腔压力以及机械通气等众多因素影响而不能准确地评估患者的容量状态,因此,很多研究都开始使用动态参数来监测患者容量反应性。动态前负荷参数包括补液试验、直腿抬高实验、每搏量变异度(stroke volume variation, SVV)、脉搏压变异度(pulse pressure variation, PPV)以及脉氧容积指数(plethysmographic variability index, PVI),能较好地预测患者的容量状态。它们的原理在于,患者在机械通气下,胸腔内压力随着呼吸周期发生周期性改变,造成前负荷相应变化,结果表现为心排血量、动脉压力的变化。如果同样的前负荷变化可引起心排血量或动脉压力明显变化,说明患者处于心功能 Frank-Starling 曲线的陡直段,容量相对欠缺。

2.1 动态试验

动态试验主要包括直腿抬高试验和补液试验,它们的原理是诱导心脏前负荷的短暂变化,使心肺相互作用并观察对心排血量的最终影响。传统的补液试验是在 30 min 内静脉输入 300~500 ml 液体,通过评估输液前后心排血量的变化,预测患者的容量反应性,但该试验不可逆转,如在短时间内多次进行,可能造成患者的容量超负荷,同时增加肺水肿的风险^[2]。因此,现在提出了微量液体冲击试验,即在短时间内快速输入 50~100 ml 液体,检测患者液体灌注前后每搏量或者心排血量的变化来预测容量反应性。国内专家研究了 55 例机械通气患者,在 10 s 内输注 50 ml 的晶体液,在 15 min 内再灌注 450 ml,分别记录其输液前后心排血量的变化。结果发现,输入 50 ml 液体引起心排血量的变化大于 6%(敏感性 93%,特异性 91%)时,可以准确预测容量反应性。这种方法的输液量小,可减少传统补液试验的风险,降低补液试验对无容量反应性患者的不良后果^[11]。

直腿抬高试验即将患者平卧,抬高下肢 45°,此时能够促进 150~200 ml 的血液回流到右心室,引起心脏前负荷增加,这是一种可逆的“前负荷实验”。研究认为,如果下肢抬高后,心排血量增加 10%~15%,表明患者具有容量反应性^[12]。Monnet 等^[13]回顾分析了 991 例患者的液体管理过程,发现直腿抬高实验预测容量反应性的阈值是(10±2)%(敏感性 85%,特异性是 91%),与快速补液法相比,二者之间

的相关性为 0.76(0.73~0.80)。因此,他认为直腿抬高试验引起的心排血量变化可以准确预测患者的容量反应性。此外,直腿抬高试验可以根据临床需要频繁操作,而不需要补充液体,这就避免了多次补液试验带来的容量超负荷。Rhodes 等^[14]也推荐将直腿抬高试验作为感染性休克患者液体复苏的动态指标。它的优点是,当患者存在自主呼吸、心律失常、低潮气量或肺顺应性显著降低时,仍可以应用。然而它的不足是其所产生的效应会在几秒钟内出现,1 min 达到最大值,继而消失,所以动脉血压的变化不能反映直腿抬高试验带来的血流动力学的变化,故需要实时监测心排血量的变化^[15]。另外,在一些特殊体位,如俯卧位或者外科手术进行中时,直腿抬高实验则无法进行。

2.2 SVV 用于术中容量管理

爱德华公司的 FloTrac/Vigileo 仪器将换能器与桡动脉测压连接,通过分析动脉压力波形,采用软件处理即可获得患者连续 SVV 和心排血量数值。Benes 等^[16]研究发现,在高危患者行腹部大手术中以 SVV<10%为目标的液体管理相对常规输液组,术中低血压、术后并发症的发生率显著下降。另外还能提示全身有效容量状态,改善吻合口微循环以及手术部位氧供需平衡,促进吻合口愈合^[17]。Kim 等^[18]研究发现,SVV 与右室舒张末期容积有很好的相关性。SVV 为 12%时评估右室舒张末期容积变化的敏感性和特异性分别为 85.5%和 66.7%。采用高 SVV 液体管理目标(10%~20%)相对于低 SVV 组(<10%)能减少失血量,提示术中保持相对容量不足能减少出血^[19]。Harimoto 等^[20]监测 14 例进行肝切除患者的 SVV 和 CVP,发现高 SVV 和低 CVP 相关($r^2=0.714, P<0.01$),根据出血量将其分为两组,结果发现低出血量组患者的 SVV>18%,明显高于高出血量组,此外手术时间也明显缩短 80 min。

然而,SVV 评估患者容量状态仍存在局限性^[21-22],它必须符合以下要求:患者在完全肌松、机械通气的条件下,无自主呼吸,潮气量>8 ml/kg,无心律不齐。术后,患者自主呼吸恢复后,SVV 监测会出现误差,有必要采用其他的方法评估患者的容量反应性。

2.3 PPV 用于术中容量管理

PPV 在临床上同样可用来评估患者的容量反应性。在机械通气患者中,PPV 预测容量反应

性的阈值是 12.4%(敏感性 88.89%,特异性 100%)^[23]。而 Cannesson 等^[24]发现,当潮气量在 6.6~9.2 ml/kg 时,PPV 处于 9%~13%的不确定区域($r=0.62, P=0.001$),此时约 25%的患者无法通过 PPV 预测容量反应性。而目前围手术期患者的通气量大多选择 6~8 ml/kg,所以他认为在应用 PPV 时要慎重。在需要实施肺保护性通气策略的患者中,低潮气量和高呼吸频率都会影响 PPV 的测量,此时 PPV 的准确度有待考量,需要结合其他参数,综合分析患者的容量状态。近年来提出了“潮气量流量实验”^[25],即在数分钟内将潮气量从 6 ml/kg 调大到 8 ml/kg,并在 10 min 内给予液体输注,根据心排血量是否增加 15%区分该患者是否具有容量反应性,结果发现如果 ΔPPV (PPV 的变化)超过 3.5%(敏感性 94%,特异性 100%),可认为具有容量反应性,并且它的准确性高于 PPV。它的优点是无需直接测量心排血量,与容量反应性具有高度相关性,且可由麻醉监测系统获得,不足之处是如果重复试验,很有可能造成容量过重。

2.4 PVI 用于术中容量管理

脉搏灌注指数是机体对红外光变量吸收与定量吸收的比值,其数值大小反映了局部灌注状态。PVI 即脉搏灌注指数在呼吸周期中的变异度,其预测容量反应性的原理是心肺相互作用,具有较高的准确性^[26]。Hood 和 Wilson^[27]研究了 25 例在全身麻醉下接受结肠、直肠切除术的患者,在麻醉诱导后根据快速输注 500 ml 液体前后每搏量的变化(stroke volume, ΔSV)将其分为有反应组($\Delta SV>10\%$)和无反应组($\Delta SV\leq 10\%$),结果发现有反应组 PVI 值明显高于无反应组,PVI 预测容量反应性的阈值 10%(敏感性 65%,特异性 67%),其 ROC 曲线下面积为 0.96(95%CI 0.88~1.00)。该研究还同时比较了从手指和耳垂处获得的 PVI 的区别,结果发现耳垂处获得的 PVI 和 SVV 无相关性,而手指处获得的 PVI 能准确、敏感地预测容量反应性。PVI 在预测容量反应性方面的敏感性和特异性均优于静态指标,同时与 SVV、PPV 比较,又具有无创、操作简单等优点。但 PVI 的不足是:与其他动态参数一样只能应用于机械通气的患者,此外还容易受到术中许多因素(如心律失常、心力衰竭)的影响。PVI 目前在国内的应用还较少,还有许多临床问题有待研究,因此应谨慎使用。

3 超声技术

术后患者容量状态往往很难确定。首先,术中患者失血量和液体丢失不尽相同,麻醉医师术中的补液量和种类也有明显差异;其次,手术后创面渗血、胃肠液引流、尿液丢失和汗液蒸发都影响对患者容量状态的准确判断。目前对手术后患者在麻醉重症监护病房(anesthesia intensive care unit, AICU)如何进行容量管理鲜有文献报道,术后 AICU 患者容量的评估还缺乏有效的指标,传统的静态指标(如动脉血压、CVP 等)与机体容量状态相关性很差,不能准确预测患者的血管容量状态。动态指标中 PPV、SVV 对于已经恢复自主呼吸的术后患者,评估容量反应性具有局限性。而直腿抬高实验需改变患者体位,有可能引起循环剧烈改变、重要管道断开等不良事件,在 AICU 中还不能常规开展。因此下腔静脉直径呼吸变异度(inferior vena cava diameter variability, DIVC)、左室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV)以及肺超声在术后患者容量管理方面具有一定的价值。

3.1 DIVC

下腔静脉直径不受容量丢失后代偿性动脉收缩的影响,比动脉压、心率等更能反映患者的有效血容量,是可靠的容量评估指标。Ferrada 等^[28]选取了 118 例 MAP 低于 60 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)的低血压患者,使用经胸超声测量下腔静脉直径,以 20 mm 区分下腔静脉是否充盈,作为是否需要液体补充的标准。他对其中 73 例下腔静脉直径小于 20 mm 的低血容量患者补充晶体液至下腔静脉充盈,同时记录患者治疗前后的血乳酸含量。结果发现以下腔静脉直径为指导的液体管理的 73 例患者中血乳酸含量均下降。Feissel 等^[29]在 2004 年就提出了下腔静脉变异度的概念,将下腔静脉直径随呼吸的变化定义为 DIVC,他认为机械通气情况下, DIVC 为 12% 时可以区分患者对液体复苏是否具有容量反应性。此外,Moretti 和 Pizzi^[30]选取了 29 例颅脑手术的患者,在以 7 ml/kg 的液体输注前后测量 DIVC,发现 DIVC 预测容量反应性的阈值是 16% (敏感性 70.59%,特异性 100%),他认为下腔静脉变异度在预测容量反应性方面具有重要的参考意义。然而,近来很多研究开始质疑 DIVC 在预测容量反应性方面的准确性。de Oliveira 等^[23]选取麻醉状态的患者,设置其潮气量为 8 ml/kg,通过超声多普勒

测量患者容量改变前后左室流出道速度时间积分(velocity time integral, VTI),VTI 大于 15% 时认为对输液有反应。发现 DIVC 的 ROC 曲线下面积是 0.43 (敏感性 66.67%,特异性 100%),DIVC 和 VTI 改变(容量反应性)之间的关系不大($r=0.66$)。Long 等^[31]通过 Meta 分析也证明了这一点。研究认为在自主呼吸下, DIVC 似乎更能预测患者的容量反应性,这可能是由于机械通气期间不同的呼吸机设置和顺应性的改变会导致气道压力向胸内血管壁的传递。Muller 等^[32]研究发现在有自主呼吸的受试者中,当 DIVC 大于 40% (敏感性 70%,特异性 80%)时才对液体复苏有反应。因此,下腔静脉直径及 DIVC 是对 PPV、SVV 监测的一种补充,对于防止心血管并发症具有重要意义,但应用时需要注意患者的呼吸状态,使用时最好结合其他容量评估方法。

另外,近年来超声测量锁骨下静脉、颈内静脉、上腔静脉、股静脉、颈内动脉等的变异度来预测机体的容量反应性也广受关注,但其准确性的研究还较少,需要进一步探讨。

3.2 二维经胸心脏超声(transthoracic echocardiography, TTE)

近年来,许多研究证实 VTI、LVEDV 和容量反应性相关。国内学者在颅脑手术中使用二维超声监测患者左室流出道直径及 VTI、LVEDV,发现 LVEDV 预测容量反应性的阈值为 15.3% (敏感性 91%,特异性 81%),同时与 FloTrac/Vigileo 监测仪获得的金标准 SVV 进行比较,发现二者在预测容量反应性方面具有相关性^[33]。使用 M 型超声测量左心室短轴径计算 LVEDV 是一个可接受的监测指标,这种方法在手术期间容量和心脏功能监测方面具有重要价值。然而,与热稀释以及放射性核素心室造影的“金标准”比较,TTE 似乎一直低估了左室舒张末期容积,但舒张末期和收缩末期左心室容积均被低估,因此 TTE 确定左室每搏量和射血分数仍然准确(平均偏差<7%)^[34]。同样,Broch 等^[35]在心脏手术中评估患者容量状态时发现与 SVV、PPV 比较, VTI 的变化和容量反应性相关($r=0.54$),其 ROC 曲线下面积为 0.74,他认为二维超声技术不仅可以量化 LVEDV,同时可以评估高危患者的心脏功能。

3.3 肺超声

研究证实围手术期肺水肿与患者病死率相关,因此肺超声作为一种辅助手段可发现早期肺水肿,指导液体复苏。在休克患者中,肺超声可以动态评

估液体治疗效果,避免液体输注过度,其最主要的指标就是 A 线和 B 线^[36]。A 线是胸膜线下等距离的水平伪线,是由肺内气体反射超声波引起的伪像,它代表着正常的小叶间隔和左房压;B 线是由于超声波与肺间隔内的液体产生混响,形成的纵向的放射线,通常是肺水肿的前期征象。但 B 线并不局限于静水压肺水肿,也可以在感染、恶性肿瘤、间质性肺病等其他临床情况下观察到。如果存在静水压性肺水肿,要意识到患者处于容量超载状态,此时应当限制液体,加强利尿,使用活性药物维持血流动力学稳定,而不是盲目补充液体。肺超声已在透析患者中用于容量状态的评估。透析前,尽管患者没有呼吸困难等症状,但双侧不同肺区可见明显的 B 线,提示容量过负荷。透析结束伴有双侧 B 线和下腔静脉直径下降,与体重下降呈正相关^[37]。此外,肺超声可以早期发现和诊断胸腔积液,评估胸水的量以及胸水性状,避免过度输液,并能及时进行胸腔引流等治疗。

随着临床对无创性容量管理研究的重视,超声作为一种简便、快捷、非侵入性的工具评估容量状态将会应用得越来越广泛,也将是我们麻醉医师必须具备的技能。

4 总 结

任何一种评估容量状态的方法都没有绝对的敏感性和特异性,都有其限制性和不足。不同的临床情况下我们需要选择不同的方法全面评估围手术期患者的容量状态,精准调控液体输注,促进患者的康复。因此,围手术期液体管理可采用以 SVV、PPV 等动态指标结合 CVP 等静态指标和 TTE,联合其他参数准确评估患者容量状态并指导液体治疗。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Mohsenin V. Assessment of preload and fluid responsiveness in intensive care unit. How good are we?[J]. J Crit Care, 2015, 30 (3): 567-573. DOI:10.1016/j.jcrc.2015.01.004.
- [2] Vincent JL, Weil MH. Fluid challenge revisited [J]. Crit Care Med, 2006, 34 (5): 1333-1337. DOI:10.1097/01.CCM.0000214677.76535.A5.
- [3] Cannesson M, Pestel G, Ricks C, et al. Hemodynamic monitoring and management in patients undergoing high risk surgery: a survey among North American and European anesthesiologists[J/OL]. Crit Care, 2011, 15(4): R197. DOI:10.1186/cc10364.
- [4] Marik PE, Monnet X, Teboul JL. Hemodynamic parameters to guide fluid therapy [J/OL]. Ann Intensive Care, 2011, 1 (1): 1. DOI:10.1186/2110-5820-1-1.
- [5] Cecconi M, Aya HD. Central venous pressure cannot predict fluid-responsiveness [J/OL]. Evid Based Med, 2014, 19 (2): 63. DOI:10.1136/eb-2013-101496.
- [6] Cherpanath TG, Geerts BF, Maas JJ, et al. Ventilator-induced central venous pressure variation can predict fluid responsiveness in post-operative cardiac surgery patients [J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2016, 60(10): 1395-1403. DOI:10.1111/aas.12811.
- [7] Jones RM, Moulton CE, Hardy KJ. Central venous pressure and its effect on blood loss during liver resection [J]. Br J Surg, 1998, 85(8): 1058-1060. DOI:10.1046/j.1365-2168.1998.00795.x.
- [8] Melendez JA, Arslan V, Fischer ME, et al. Perioperative outcomes of major hepatic resections under low central venous pressure anesthesia: blood loss, blood transfusion, and the risk of postoperative renal dysfunction [J]. J Am Coll Surg, 1998, 187(6): 620-625. DOI:10.1016/S1072-7515(98)00240-3.
- [9] Li Z, Sun YM, Wu FX, et al. Controlled low central venous pressure reduces blood loss and transfusion requirements in hepatectomy [J]. World J Gastroenterol, 2014, 20 (1): 303-309. DOI:10.3748/wjg.v20.i1.303.
- [10] Hughes MJ, Ventham NT, Harrison EM, et al. Central venous pressure and liver resection: a systematic review and meta-analysis[J]. HPB (Oxford), 2015, 17(10): 863-871. DOI:10.1111/hpb.12462.
- [11] Wu Y, Zhou S, Zhou Z, et al. A 10-second fluid challenge guided by transthoracic echocardiography can predict fluid responsiveness[J/OL]. Crit Care, 2014, 18(3): R108. DOI:10.1186/cc13891.
- [12] Lamia B, Ochagavia A, Monnet X, et al. Echocardiographic prediction of volume responsiveness in critically ill patients with spontaneously breathing activity [J]. Intensive Care Med, 2007, 33(7): 1125-1132. DOI:10.1007/s00134-007-0646-7.
- [13] Monnet X, Marik P, Teboul JL. Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis[J]. Intensive Care Med, 2016, 42(12): 1935-1947. DOI:10.1007/s00134-015-4134-1.
- [14] Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock: 2016 [J]. Intensive Care Med, 2017, 43: 304-377. DOI: 10.1007/s00134-017-4683-6.
- [15] Cherpanath TG, Hirsch A, Geerts BF, et al. Predicting fluid responsiveness by passive leg raising: a systematic review and meta-analysis of 23 clinical trials[J]. Crit Care Med, 2016, 44(5): 981-991. DOI:10.1097/CCM.0000000000001556.
- [16] Benes J, Chytra I, Altmann P, et al. Intraoperative fluid optimization using stroke volume variation in high risk surgical patients: results of prospective randomized study [J/OL]. Crit Care, 2010, 14(3): R118. DOI:10.1186/cc9070.
- [17] Kimberger O, Fleischmann E, Brandt S, et al. Supplemental

- oxygen, but not supplemental crystalloid fluid, increases tissue oxygen tension in healthy and anastomotic colon in pigs [J]. *Anesth Analg*, 2007, 105 (3): 773-779. DOI:10.1213/01.ane.0000277490.90387.96.
- [18] Kim SH, Hwang GS, Kim SO, et al. Is stroke volume variation a useful preload index in liver transplant recipients? A retrospective analysis[J]. *Int J Med Sci*, 2013, 10(6): 751-757. DOI:10.7150/ijms.6074.
- [19] Seo H, Jun IG, Ha TY, et al. High stroke volume variation method by mannitol administration can decrease blood loss during donor hepatectomy[J/OL]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95 (2): e2328. DOI:10.1097/MD.0000000000002328.
- [20] Harimoto N, Matsuyama H, Kajiyama K, et al. Significance of stroke volume variation during hepatic resection under infrahepatic inferior vena cava and portal triad clamping [J]. *Fukuoka Igaku Zasshi*, 2013, 104(10): 362-369.
- [21] McGee WT, Raghunathan K. Physiologic goal-directed therapy in the perioperative period: the volume prescription for high-risk patients [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2013, 27 (6): 1079-1086. DOI:10.1053/j.jvca.2013.04.019.
- [22] Choi SS, Kim SH, Kim YK. Fluid management in living donor hepatectomy: Recent issues and perspectives [J]. *World J Gastroenterol*, 2015, 21 (45): 12757-12766. DOI:10.3748/wjg.v21.i45.12757.
- [23] de Oliveira OH, Freitas FG, Ladeira RT, et al. Comparison between respiratory changes in the inferior vena cava diameter and pulse pressure variation to predict fluid responsiveness in postoperative patients [J]. *J Crit Care*, 2016, 34: 46-49. DOI:10.1016/j.jcrc.2016.03.017.
- [24] Cannesson M, Le Manach Y, Hofer CK, et al. Assessing the diagnostic accuracy of pulse pressure variations for the prediction of fluid responsiveness: a "gray zone" approach[J]. *Anesthesiology*, 2011, 115 (2): 231-241. DOI:10.1097/ALN.0b013e318225b80a.
- [25] Myatra SN, Prabu NR, Divatia JV, et al. The changes in pulse pressure variation or stroke volume variation after a "tidal volume challenge" reliably predict fluid responsiveness during low tidal volume ventilation[J]. *Crit Care Med*, 2017, 45(3): 415-421. DOI:10.1097/CCM.0000000000002183.
- [26] Yin JY, Ho KM. Use of plethysmographic variability index derived from the Massimo[®] pulse oximeter to predict fluid or preload responsiveness: a systematic review and meta-analysis[J]. *Anaesthesia*, 2012, 67 (7): 777-783. DOI:10.1111/j.1365-2044.2012.07117.x.
- [27] Hood JA, Wilson RJ. Pleth variability index to predict fluid responsiveness in colorectal surgery[J]. *Anesth Analg*, 2011, 113 (5): 1058-1063. DOI:10.1213/ANE.0b013e31822c10cd.
- [28] Ferrada P, Anand RJ, Whelan J, et al. Qualitative assessment of the inferior vena cava: useful tool for the evaluation of fluid status in critically ill patients [J]. *Am Surg*, 2012, 78 (4): 468-470.
- [29] Feissel M, Michard F, Faller JP, et al. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy[J]. *Intensive Care Med*, 2004, 30 (9): 1834-1837. DOI:10.1007/s00134-004-2233-5.
- [30] Moretti R, Pizzi B. Inferior vena cava distensibility as a predictor of fluid responsiveness in patients with subarachnoid hemorrhage[J]. *Neurocrit Care*, 2010, 13(1): 3-9. DOI:10.1007/s12028-010-9356-z.
- [31] Long E, Oakley E, Duke T, et al. Does respiratory variation in inferior vena cava diameter predict fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis[J]. *Shock*, 2017, 47(5): 550-559. DOI:10.1097/SHK.0000000000000801.
- [32] Muller L, Bobbia X, Toumi M, et al. Respiratory variations of inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with acute circulatory failure: need for a cautious use [J/OL]. *Crit Care*, 2012, 16 (5): R188. DOI:10.1186/cc11672.
- [33] Lan H, Zhou X, Xue J, et al. The ability of left ventricular end-diastolic volume variations measured by TEE to monitor fluid responsiveness in high-risk surgical patients during craniotomy: a prospective cohort study[J/OL]. *BMC Anesthesiol*, 2017, 17(1): 165. DOI:10.1186/s12871-017-0456-6.
- [34] Vignon P. Hemodynamic assessment of critically ill patients using echocardiography Doppler [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2005, 11(3): 227-234. DOI:10.1097/01.ccx.0000159946.89658.51.
- [35] Broch O, Renner J, Gruenewald M, et al. Variation of left ventricular outflow tract velocity and global end-diastolic volume index reliably predict fluid responsiveness in cardiac surgery patients[J]. *J Crit Care*, 2012, 27(3): 325. e7-e13. DOI:10.1016/j.jcrc.2011.07.073.
- [36] Lichtenstein D. FALLS -protocol: lung ultrasound in hemodynamic assessment of shock [J]. *Heart Lung Vessel*, 2013, 5(3): 142-147.
- [37] Trezzi M, Torzillo D, Ceriani E, et al. Lung ultrasonography for the assessment of rapid extravascular water variation: evidence from hemodialysis patients [J]. *Intern Emerg Med*, 2013, 8(5): 409-415. DOI:10.1007/s11739-011-0625-4.

(本文编辑:张丽)