

超声在容量监测中的应用进展

胡瑞良 综述 王 军* 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(2020)01-0074-04

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2020.01.019

体液包括细胞内液和细胞外液。传统分类法将细胞外液分为三个间隙: 第一间隙指组织间液; 第二间隙指血液循环中的血浆水, 血容量的增加、减少主要指的是血浆水的增加、减少, 这两者在毛细血管壁互相交换成分, 处于动态平衡, 称为功能性细胞外液; 第三间隙是不能与血浆交换的非功能性细胞外液, 主要指脑脊液、关节液等。容量监测主要是对术前和术中血容量的监测。尽管美国麻醉医师协会等允许患者在术前 2 h 内无限制地摄入透明液体^[1,2], 甚至包括含糖饮料^[3], 但是仍经常忽视术前容量, 使病人以低血容量或脱水状态进入手术室。术中容量过多或过少都会产生比较严重的并发症^[4]。“开放式”与“限制性”输液策略相比, 前者更容易出现胃肠道水肿、术后恶心呕吐、肺炎、肺水肿、二次插管和呼吸衰竭等并发症, 住院时间更长^[5,6]; 后者更容易出现低血压、急性肾损伤等并发症^[7]。因此, 容量监测至关重要。

相对于有创动脉压 (invasive artery blood pressure, IABP) 监测、肺动脉导管 (pulmonary artery catheter, PAC) 监测等传统有创技术, 应用超声进行容量监测具有直观、准确、无创或微创 [如经食道超声心动图 (transesophageal echocardiography, TEE)] 的优势, 这也与目前微创外科理念相符。合理的液体治疗的前提是准确判断容量状态, 即前负荷。超声可以直接观察心脏结构和运动, 是评估前负荷的金标准, 可以在术前或术中测量多种容量指标如每搏输出量 (stroke volume, SV) 等, 在容量监测方面有着广阔的应用前景, 应用其进行目标导向性液体治疗 (goal-directed fluid therapy, GDFT) 越来越多。本文对超声在容量监测中的应用进展进行综述。

1 超声的功能

超声可以直接观察心脏, 评估前负荷、左右心室收缩和舒张功能、瓣膜功能和室壁节段运动等。目前常通过测量左室舒张末面积、左室舒张末压等指标评估前负荷; 通过辛普森规则 (Simpson's rule) 测得左心室 20 个以上平面, 进而测出左心室容积, 计算左室射血分数, 评估左心室的整体收缩能力; 通过测量左室流出道、右室流出道、主肺动脉直径 (d), 计算相应横截面积, 再测得相应的血流速度时间积分 (velocity time integral, VTI), 计算每搏输出量 (stroke volume, SV) [$SV = VTI \times \pi(d/2)^2$] 和心输出量 (cardiac output, CO) ($CO = SV \times HR$, 正常值 4 ~ 6 L/min)^[8]。

还可以通过下腔静脉内径 (inferior vena cava diameter, IVCD) 及塌陷变异指数等反映容量状态。目前常以中心静脉压 (central venous pressure, CVP) 反映容量, 但并不精确, 压力是通过血流灌注维持的, 压力不能直接反映容量^[9]。当人体处于低血容量时, 为保证心、脑等重要器官的灌注, 机体通过牺牲其他器官 (特别是内脏) 的血流来维持血压。理论上测量血流量可以比监测压力更早地提醒麻醉医师注意到低血容量的发生^[10]。因此, 利用超声测量下腔静脉内径和塌陷变异指数比单纯测量 CVP 更加准确。根据相关指南^[11], 自主呼吸时下腔静脉直径 < 1 cm, 或直径 1 ~ 2 cm 且变异度 > 50%, 提示容量不足; 下腔静脉直径 1 ~ 2 cm 且变异度 < 50%, 提示容量正常; 下腔静脉直径 > 2 cm 且变异度 < 50%, 或下腔静脉呈正圆形, 提示容量过负荷。

* 通讯作者, E-mail: luckyoldhorse@sina.com

2 超声在容量监测中的应用

2.1 心功能评估

根据 Frank-Starling 曲线,当两心室均处于心功能曲线上期时,增加心脏前负荷便增加心输出量,即容量反应性好;而只要有一个心室处于心功能平台期,增加心脏前负荷就不易增加心输出量,即容量反应性差。所以本质上容量反应性就是心脏的前负荷反应性,也决定了容量反应性的评估重点就是从心功能评价开始的。

2014 年美国心脏病协会指南^[12]推荐,存在中重度瓣膜狭窄或关闭不全、不明原因的呼吸困难、心功能不全等,术前均需行经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)检查。TTE 是评估术前心功能状态并分级的常用方法。从心功能开始的容量反应性评估首先需排除心脏结构与功能的明显异常,再顺序评估右心功能、左心舒张和收缩功能、左右心收缩功能同时受累状态、动脉张力^[13]。心脏收缩功能正常[射血分数(ejection fraction, EF) > 50%]者对于液体输注的反应性良好,心功能差(EF < 35%)者对容量的反应性极小,EF 35% ~ 50%者的容量状态需要进行更精确的评估^[14]。可见,超声有助于通过心功能对容量反应性进行评估。

2.2 超声监测容量反应性

容量反应性是指实施静脉补液后出现 SV 或 CO 增加的能力,液体治疗后 SV 或 CO 增加幅度 $\geq 15\%$,说明容量反应性良好。存在容量反应性差不等于存在容量不足,容量反应性反映的是心脏前负荷对容量的反应潜能,但容量不足多存在容量反应性差。传统容量反应性试验包括补液试验或者被动抬腿试验(passive leg-raising, PLR)。然而,只有约 50%的危重病人对输液有良好的反应性^[15];且传统的补液试验,在 5 ~ 10 min 内输注 100 ~ 250 ml 液体,粗略且不可逆,增加肺水肿的风险^[7],因此仅靠容量反应试验进行容量评估是不精确的,预测容量反应性最准确的是“动态指标”。所以,在行容量反应性试验的同时利用超声监测 CO 的变化,可以使预测容量反应性的能力大大提高。

2.2.1 超声与微量静脉输液 Gan 等^[16]2002 年的研究表明,每次使用 TEE 监测 200 ml 的小容量补液试验,能准确指导术中输液,显著促进患者康复。然而单次 200 ml 的容量无法满足多次试验的需要,因此 Muller 等^[17]将冲击量减少至 100 ml,同时配合 TEE 监测降主动脉 VTI,也可以很好地预测容量反应性,指导补液。

因此,利用超声可进行一种新的补液试验,即微

量静脉输液。以每分钟输注 100 ml 胶体液并经 TTE 测量主动脉 VTI,观察这种微量输液对 CO 的影响。张春等^[18]的研究显示,主动脉 VTI 增加超过 8.75% 时,预测容量反应性的敏感性和特异性分别为 90.63% 和 85.00%。在危重症患者中,给予 50 ml 晶体溶液超过 10 秒后 CO 和 VTI 的变化(ΔCO50 和 ΔVTI50)也可以准确预测液体的反应性。 ΔCO50 的最佳临界值为 6%,敏感性为 93%,特异性为 91%; ΔVTI50 的最佳临界值为 9%,灵敏度为 74%,特异性为 95%^[19]。

2.2.2 超声与被动抬腿试验 被动抬腿试验是在临床上许多其他动态预测指标不一致的情况下也能出色应用的一种有效的评估液体反应性的方法^[20]。理想情况下,被动抬腿试验应与先进的监测容量反应性的设备如 TTE 一起运用,以更好地反映 SV 的变化^[10]。具体方法:患者取半卧位,床头抬高至 45°,利用 TTE 测得主动脉瓣环直径(d)和主动脉瓣 VTI,根据 $\text{SV} = \text{VTI} \times \pi(d/2)^2$ 计算 SV 和 CO;然后将床头放平,抬高床尾,使双下肢抬起 45°,保持 3 min,记录上述各项参数后恢复平卧位。SV 和 VTI 在被动抬腿试验前后均测试 3 次,分别取平均值。Monnet 等^[21]包括 21 项研究的 meta 分析中,6 项研究应用 TTE,3 项研究应用 TEE 测量 CO,结果显示被动抬腿试验诱导的 CO 与补液诱导的 CO 变化的总体相关性很高,为 76%,合并敏感性为 85%,合并特异性为 91%。

2.3 超声监测容量状态

2016 年《中国重症超声专家共识》^[22]建议优先评估下腔静脉以初步评价血容量情况。同理,麻醉医师可以在术前或术中应用超声观测下腔静脉内径和塌陷变异指数进行容量监测。然而很多研究表明,在机械通气情况下超声观测下腔静脉可能并不精确,因此对于全麻的病人应用超声在术中进行容量监测仍有待商榷。

3 临床应用

GDFT 是根据患者的疾病种类、术前全身状况及容量状态等采取的个体化补液方案,可以最优化心脏前负荷,精确维持有效血容量。超声指导容量监测,可以进行 GDFT。

2002 年 Conway 等^[23]利用 TEE 对 57 例开腹手术患者进行容量监测,通过计算 SV 和校正血流时间指导术中补液。结果显示实验组补充的液体量和 CO 明显高于经验性补液的对照组,其中胶体量明显多于对照组(28 vs. 19.4 ml/kg, $P = 0.02$),说明如果没有 TEE 监测,麻醉医师常规术中补液往往是趋

于保守的,易造成血容量不足,可能会过多依赖血管活性药物,不利于循环稳定,采用 TEE 监测可以更加精准地进行补液。2011 年 Hamilton 等^[24]的 meta 分析认为,使用先进的监测设备如 TEE 来优化 SV 和减少 SV 变异度的 GDFT,可以减少手术死亡率和并发症。2017 年 Som 等^[25]的 meta 分析显示,在常见的非心脏外科手术中进行 GDFT,所有并发症包括伤口感染、腹部并发症和术后低血压的发生率均有所降低。

泌尿外科患者往往年龄较大,血流动力学不稳定。李艺等^[26]在经尿道前列腺电切术中采用 TTE 监测,当 SV 升高幅度超过 15% 或呼气末 IVCD \geq 2.5 cm 时,通过早期利尿补钠处理,可以预防和控制前列腺电切综合征。肾癌中 4% ~ 10% 会出现肾静脉合并下腔静脉癌栓^[27],可能出现下腔静脉撕裂、大出血等并发症,且围术期阻断和开放下腔静脉会引起剧烈的血流动力学波动,均不利于维持循环的平稳。TEE 可以观察癌栓,动态监测容量变化,有望取代 Swan-Ganz 导管、CVP 等监测手段^[28]。

脊柱矫形手术创伤大、时间长、出血多,围术期常需大量输液及输血^[29]。TEE 动态观察容量反应性,能够实现 GDFT^[30]。TEE 探头不干扰术野,且位置更接近心脏,成像更清晰,用于脊柱矫形手术较 TTE 更具优势。术中直接肉眼观察左心室充盈情况,可以快速评估血容量;也可通过定量测量左心室舒张末期直径和面积、左心室舒张末压、左心房压力等反映血容量。

肝移植手术中,肝衰竭的终末状态、心功能不全和术中大量液体进出会对容量监测产生巨大干扰。在这种复杂的情况下,TEE 监测较许多有创的容量监测手段更具优势。终末期肝病患者普遍存在高动力循环状态、凝血功能差、内环境紊乱,通常表现为心输出量增加、心室对压力的反应减弱、全身血管阻力降低和心动过缓^[31]。Burger-Klepp 等^[32]对 396 例肝移植受者进行回顾性分析,在食管静脉曲张的 287 例肝移植受者中,只发生 1 例(0.3%)与 TEE 有关的大出血,因此认为 TEE 是一种相对安全的监测食管胃底静脉曲张患者心脏功能的方法,出血发生率较低。

4 展望

综上所述,超声准确、经济、可重复性强,在容量监测中具有重要意义,在不同的手术中进行 GDFT 效果显著。超声更便于麻醉医师对危急和重症患者容量监测和治疗,在临床麻醉中发挥重要作用。

参考文献

- 1 Practice Guidelines for Preoperative Fasting and the Use of Pharmacologic Agents to Reduce the Risk of Pulmonary Aspiration: Application to Healthy Patients Undergoing Elective Procedures. An updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Preoperative Fasting and the Use of Pharmacologic Agents to Reduce the Risk of Pulmonary Aspiration. *Anesthesiology*, 2017, 126(3):376-393.
- 2 Smith I, Kranke P, Murat I, et al. Perioperative fasting in adults and children: guidelines from the European Society of Anaesthesiology. *Eur J Anaesthesiol*, 2011, 28(8):556-569.
- 3 Thiele RH, Raghunathan K, Brudney CS, et al. American Society for Enhanced Recovery (ASER) and Perioperative Quality Initiative (POQI) joint consensus statement on perioperative fluid management within an enhanced recovery pathway for colorectal surgery. *Perioper Med (Lond)*, 2016, 5:24.
- 4 Thacker JK, Mountford WK, Ernst FR, et al. Perioperative fluid utilization variability and association with outcomes: considerations for enhanced recovery efforts in sample US surgical populations. *Ann Surg*, 2016, 263(3):502-510.
- 5 Quinn TD, Brovman EY, Urman RD, et al. Analysis of variability in intraoperative fluid administration for colorectal surgery: an argument for goal-directed fluid therapy. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2017, 27(9):892-897.
- 6 Corcoran T, Rhodes JE, Clarke S, et al. Perioperative fluid management strategies in major surgery: a stratified meta-analysis. *Anesth Analg*, 2012, 114(3):640-651.
- 7 Shin CH, Long DR, McLean D, et al. Effects of intraoperative fluid management on postoperative outcomes: a hospital registry study. *Ann Surg*, 2018, 267(6):1084-1092.
- 8 赵晓琴,主编.术中经食管超声心动图的应用.第1版.北京:北京大学医学出版社,2013.50-60.
- 9 Monnet X, Marik PE, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness: an update. *Ann Intensive Care*, 2016, 6(1):111.
- 10 Miller TE, Myles PS. Perioperative fluid therapy for major surgery. *Anesthesiology*, 2019, 130(5):825-832.
- 11 Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010, 23(7):685-713.
- 12 Fleisher LA, Fleischmann KE, Auerbach AD, et al. 2014 ACC/AHA guideline on perioperative cardiovascular evaluation and management of patients undergoing noncardiac surgery: executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*, 2014, 130(24):2215-2245.
- 13 张丽娜,王小亭.容量反应性评估:需关注心功能.中华重症医学电子杂志,2016,2(2):97-100.
- 14 熊利泽,刘克玄,主编.围术期液体管理核心问题解析.第1版.北京:人民卫生出版社,2019.107.

(上接第 76 页)

- 15 Monnet X, Teboul JL. Volume responsiveness. *Curr Opin Crit Care*, 2007, 13(5):549-553.
- 16 Gan TJ, Soppitt A, Maroof M, et al. Goal-directed intraoperative fluid administration reduces length of hospital stay after major surgery. *Anesthesiology*, 2002, 97(4):820-826.
- 17 Muller L, Toumi M, Bousquet PJ, et al. An increase in aortic blood flow after an infusion of 100 ml colloid over 1 minute can predict fluid responsiveness: the mini-fluid challenge study. *Anesthesiology*, 2011, 115(3):541-547.
- 18 张春, 薛姗姗, 林婷, 等. PLR 联合 VTI 评估急性循环衰竭容量反应性的单中心随机对照研究. *解放军预防医学杂志*, 2018, 36(3):330-335.
- 19 Wu Y, Zhou S, Zhou Z, et al. A 10-second fluid challenge guided by transthoracic echocardiography can predict fluid responsiveness. *Crit Care*, 2014, 18(3):R108.
- 20 Mesquida J, Gruartmoner G, Ferrer R. Passive leg raising for assessment of volume responsiveness: a review. *Curr Opin Crit Care*, 2017, 23(3):237-243.
- 21 Monnet X, Marik P, Teboul JL. Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med*, 2016, 42(12):1935-1947.
- 22 中国重症超声研究组, 重症血流动力学治疗协作组. 中国重症超声专家共识. *中华内科杂志*, 2016, 55(11):900-912.
- 23 Conway DH, Mayall R, Abdul-Latif MS, et al. Randomised controlled trial investigating the influence of intravenous fluid titration using oesophageal Doppler monitoring during bowel surgery. *Anaesthesia*, 2002, 57(9):845-849.
- 24 Hamilton MA, Cecconi M, Rhodes A. A systematic review and meta-analysis on the use of preemptive hemodynamic intervention to improve postoperative outcomes in moderate and high-risk surgical patients. *Anesth Analg*, 2011, 112(6):1392-1402.
- 25 Som A, Maitra S, Bhattacharjee S, et al. Goal directed fluid therapy decreases postoperative morbidity but not mortality in major non-cardiac surgery: a meta-analysis and trial sequential analysis of randomized controlled trials. *J Anesth*, 2017, 31(1):66-81.
- 26 李艺, 叶军明, 郭锐, 等. 经胸心脏超声容量监测对早期预防前列腺电切综合征发生的影响. *广东医学*, 2018, 39(11):1694-1697.
- 27 Hevia V, Ciancio G, Gomez V, et al. Surgical technique for the treatment of renal cell carcinoma with inferior vena cava tumor thrombus: tips, tricks and on cological results. Springerplus, 2016, 5:132.
- 28 王彦霞, 王军. 经食道超声心动图在肾癌合并下腔静脉癌栓切除中的应用进展. *中国微创外科杂志*, 2017, 17(8):720-724.
- 29 Yang C, Zheng Z, Liu H, et al. Posterior vertebral column resection in spinal deformity: a systematic review. *Eur Spine J*, 2015, 25(8):2368-2375.
- 30 Fayad A, Shillcutt SK. Perioperative transesophageal echocardiography for non-cardiac surgery. *Can J Anaesth*, 2018, 5(4):381-398.
- 31 Rugină M, Predescu L, Sălăgean M, et al. Pre-liver transplantation, cardiac assessment. *Chirurgia (Bucur)*, 2012, 107(3):283-290.
- 32 Burger-Klepp U, Karatosic R, Thum M, et al. Transesophageal echocardiography during orthotopic liver transplantation in patients with esophagoastric varices. *Transplantation*, 2012, 94(2):192-196.

(收稿日期:2019-08-07)

(修回日期:2019-11-10)

(责任编辑:王惠群)