

围手术期超声评估患者容量反应性的研究进展

高 月, 孙 涛, 李利彪*

内蒙古医科大学附属医院麻醉科, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2025年3月3日; 录用日期: 2025年3月26日; 发布日期: 2025年4月7日

摘 要

利用超声技术评估容量反应性具有便捷、短时、无创等优点, 同时超声技术在手术室内的广泛使用使得超声在围手术期评估容量成为可能。围手术期的容量管理首先需要评估的就是容量反应性。目前超声技术多应用于重症和急诊学科来评估患者的容量反应性, 对于围手术期患者的容量评估, 一些超声监测指标的可行性和可靠性仍存在诸多争议。本文就预测围手术期容量反应性超声指标静脉呼吸变异度指标(下腔静脉直径及其塌陷率、上腔静脉直径及其塌陷率、锁骨下静脉直径及其塌陷率、颈内静脉直径及其塌陷率)和动脉血流峰值呼吸变异度(主动脉峰流速和其他部位动脉峰流速等)的应用现状进行综述, 以期为其合理使用提供参考。

关键词

超声, 容量反应性, 预测, 麻醉, 静脉呼吸变异度, 动脉血流峰值呼吸变异度

Research Progress on Perioperative Ultrasound Assessment of Patients' Volume Responsiveness

Yue Gao, Tao Sun, Libiao Li*

Department of Anesthesiology, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Mar. 3rd, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 7th, 2025

Abstract

The use of ultrasound technology to assess volume responsiveness has the advantages of convenience, short-term and non-invasive, and the widespread use of ultrasound technology in the operating room

*通讯作者。

文章引用: 高月, 孙涛, 李利彪. 围手术期超声评估患者容量反应性的研究进展[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(2): 602-608. DOI: 10.12677/jcpm.2025.42220

makes it possible to evaluate volume in the perioperative period. The first thing that needs to be assessed for perioperative volume management is volume responsiveness. At present, ultrasound technology is mostly used in the volume responsiveness of patients in critical care and emergency departments, and there are still many controversies about the feasibility and reliability of some ultrasound monitoring indicators for volume assessment of perioperative patients. This article reviews the application status of predicting perioperative volume-responsive ultrasound indexes (inferior vena cava diameter and its collapse rate, superior vena cava diameter and its collapse rate, subclavian vein diameter and its collapse rate, internal jugular vein diameter and its collapse rate, and peak respiratory variability of arterial blood flow, such as peak aortic flow velocity and peak arterial flow velocity at other sites), in order to provide a reference for its rational use.

Keywords

Echocardiography, Volume Reactivity, Forecast, Anaesthesia, Respiratory Variation of the Vein, Peak Respiratory Variability of Arterial Blood Flow

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

围术期评估患者的容量状态一直是麻醉医生关注的热点问题, 过度补充容量会造成患者的容量负荷, 不利于患者的加速康复与转归, 尚无研究表明达到何种容量状态可以有效预防麻醉后低血压的发生, 或存在某种敏感且特异的预测指标指导液体治疗。因此探索某种指标预测低血压效果显著并且能够指导麻醉前液体治疗, 甚至在一定程度上能够抵消其他导致低血压的不可变因素的影响, 对于围术期患者的容量管理意义重大。

传统用于容量管理的功能性血流动力学的监测指标有中心静脉压(central venous pressure, CVP)、肺动脉楔压(pulmonary artery wedge pressure, PAWP)等静态性指标, 但其容易受到心室顺应性、心脏瓣膜功能和胸腔压力变化等因素的影响, 故准确性欠佳[1]。此外还有动态性监测指标, 其原理是基于心肺的相互作用, 如每搏量变异度(stroke volume variation, SVV)、脉搏压变异度(variability in pulse pressure, PPV)、脉搏灌注指数变异度(variability of pulse perfusion index, PVI)等, 但这些指标需要建立有创监测, 存在穿刺并发症风险。

随着床旁超声技术的发展, 经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)以及经食道超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)等可以测量一系列血流流速相关及腔静脉相关的血流动力学指标, 是一个重要的围手术期监测工具, 可评估血管内容量状态[2][3]。目前, 静脉呼吸变异度指标如下腔静脉直径及其塌陷率、上腔静脉直径及其塌陷率、锁骨下静脉直径及其塌陷率、颈内静脉直径及其塌陷率以及动脉血流峰值呼吸变异度, 如主动脉峰流速和其他部位动脉峰流速, 在临床上已经证实能够预测容量反应性, 本文就预测围手术期容量反应性超声指标的应用现状进行综述, 以期为其合理使用提供参考。

2. 静脉呼吸变异度指标

2.1. 下腔静脉(Inferior Vena Cava, IVC)直径及其塌陷率

由于下腔静脉(inferior vena cava, IVC)没有静脉瓣膜, 是一种高度顺应性血管, 其直径随呼吸运动及

胸腔内压力的变化而相应变化,可通过 TTE 测得。美国超声学会和急诊医学协会建议通过呼吸周期 IVC 直径的改变评估血容量,并指导液体治疗[4][5]。大量研究发现超声监测下腔静脉内径和塌陷率可以很好的反映肝硬化、急性肾功能损伤、围产期产后出血患者的容量变化[6]-[9]。研究者发现术前进行超声测量能够预测低血压的发生,Salama 等人[10][11]研究认为下腔静脉内径和塌陷率能够预测全身麻醉和脊髓麻醉后低血压的发生,是快速、即时评估血容量的方法。在国内,丁欣等在《中国重症超声专家共识解读》中建议优先评估下腔静脉以初步评价血容量情况[12]。很多文献也论证了下腔静脉内径和塌陷率评估患者容量的准确性,一些研究者[13][14]在脓毒症休克患者的液体复苏中证实下腔静脉相关指标及其变异度对于患者转归和预后有很好的疗效,姜成等[15]认为肺超声联合下腔静脉对于 ARDS 患者容量管理策略优于常规 CVP 容量指导策略。很多研究者论证了下腔静脉直径及塌陷指数评估老年患者容量状态的准确性,林益钦等[16]认为麻醉诱导前超声测量下腔静脉有助于预测机体的容量反应性和容量状态,而且下腔静脉塌陷率预测的准确性更高;刘莉等[17]基于下腔静脉塌陷率导向补液发现试验组患者麻醉后低血压发生率仅为 9.18%,而对照组高达 55.10%,表明基于 IVCCI 导向补液能预防骨科手术患者蛛网膜下腔阻滞麻醉后低血压的发生。

然而,Di Nicolò P [18]认为血容量的高低并不是影响 IVC 直径的唯一因素,体位改变、胸内压、腹内压以及右心房压均有密切关系,但大多数研究中并没有心脏指标,Millington SJ 等人[19]认为超声下从剑突下的切面测量的 IVC 无法保证完全垂直于血管的长轴而引起误差,从其他平面测量所得的直径均会被低估,无法准确预测血容量,两人都提到测量 IVC 直径的确切位置至关重要,但尚未普遍标准化,目前大多数研究者建议应在 IVC 至右心房交界处 1.5 cm 范围内进行测量。

2.2. 上腔静脉(Superior Vena Cava, SVC)直径及其塌陷率

上腔静脉受自主呼吸影响较小,因其完全处于胸腔内,收集头颈部、上肢、胸壁及部分胸腔脏器回流血液,以膈为界,上半身的静脉血经 SVC 回流入右心房。近年来,随着 TEE 的推广以及在手术室的广泛使用,使得通过即时图像预测容量状态变成可能。SVC-CI 是指上腔静脉内径在一个呼吸周期内塌陷变化的百分率。在血容量不足时 SVC 内径随机机械通气周期性的变化更为明显。TEE 因其通过调整探头的位置来获得心脏不同切面的清晰图像,可在手术过程中实时监测心功能以及 SVC 的直径,逐渐成为临床麻醉中不可缺少的技术手段[20]。有研究[21]表明 $\Delta\text{SVC}[(\text{DmaxSVC} - \text{DminSVC})/\text{DmaxSVC}] > 36\%$ 对于预测液体反应性具有良好的准确性。Hélène Charbonneau 等[22]在此基础上对 ICU 中 44 例感染性休克行机械通气的患者进行了进一步测量,测得预测液体反应性的最佳截断值为 29%,并且 ΔSVC 和 $\Delta\text{IVC}[(\text{DmaxIVC} - \text{DminIVC})/\text{DminIVC}]$ 在液体反应性评估方面的 AUC 值显示, ΔSVC 较 ΔIVC 具有更高的准确性。Bubenek-Turconi 等[23]研究提示 SVC-CI 在围手术期接受大的开放性血管手术患者的液体反应性具有良好的准确性,塌陷指数在快速补液后有所下降,其截断值为 37%。

由于腹内压或腹部手术的影响,TEE 测量 SVC-CI 的图像质量比 TTE 测量 ΔIVC 更加稳定良好,不受手术部位等影响,但是 TEE 操作需要专业人员经过一段时间的培训,而 IVC 直径可用 TTE 获得,医生稍加培训即可测量[24]。

2.3. 锁骨下静脉(Subclavian Vein, SCV)直径及其塌陷率

在测量患者 IVC 直径的实际操作中,由于患者自身因素,如肥胖、胃胀气、外伤,或者手术无菌区等多种因素使得测量部位暴露不佳或无法暴露导致 IVC 直径及其塌陷率测量受限[25],进而有必要探索一条能够替代 IVC 的血管。锁骨下静脉由于其位置相对固定,受外界其他因素的干扰较少,便于测量。已有研究证明在重症患者的容量管理中超声测量 SCV-CI 不能完全替代 IVC 但凭借其测量时间短、便捷

的优势在一定程度上可以补充 IVC 测量的不足[26]。此外 Yan Lu 等人[27]在一项包括 80 例在腰麻下行剖宫产的足月产妇的研究中表明床旁 SCV 引导的容量管理不能减轻腰麻后低血压,但减少了脊髓麻醉前所需的前负荷量。腰麻后低血压的核心机制是血管扩张,而 SCV 测量无法直接纠正血管张力的变化。然而,SCV 引导的容量管理通过精准评估和优化前负荷,减少了脊髓麻醉前所需的前负荷量,避免了不必要的液体输注。这一结果表明,SCV 在容量管理中具有一定的优势,但在预防腰麻后低血压方面仍需结合其他干预措施。

2.4. 颈内静脉(Internal Jugular Vein, VIJV)直径及其塌陷率

颈内静脉是颈部最大的静脉干,有研究表明其呼吸变异度也具有一定预测容量反应性的能力。瞿敏[28]等对 60 择期行胃肠手术的患者研究中结果提示 VIJV $\geq 18.9\%$ 评估术中患者容量反应性的诊断价值较高,敏感度 93.3%,特异度 73.3%,但 VIJV 评估容量反应性的准确性低于 VICV。2014 年欧洲危重病指南推荐使用基于心肺交互作用的功能性血流动力学指标 SVV 和 PPV 评估容量反应性[29]。Guarracino[30]等在一项 30 例脓毒血症患者行机械通气研究中表明颈内静脉呼吸变异度结合脉压变异度预测容量反应性的敏感度较好。可能是因为颈内静脉血流反映右心回流状态,脉压变异度反映左心射血量,将二者结合能很好地评估整体的容量反应性[31],并提示 IJV 扩张性和 PPV 的 ROC 曲线之间没有差异,表明其预测能力也类似于 PPV,因此对于有自主呼吸时、心律失常及低潮气量通气情况的患者预测能力下降[32]。这是因为此类指标依赖于规律胸内压的变化或心脏的搏动来反应容量反应性或计算变异度,自主呼吸或心律失常会破坏这种规律性导致无法准确反映容量状态。

3. 动脉流速变异度指标

3.1. 主动脉血流峰值流速(ΔV_{peak})

左心室射血入主动脉,所以每搏量(SV)随呼吸变化可以直接体现在主动脉血流的变化上。假定同时左室流出道的大小在一个呼吸和心动周期内不发生变化,因此主动脉峰值流速(ΔV_{peak})也可以预测容量反应性,建议采用脉冲多普勒(PW)测量 ΔV_{peak} 的变化[33]。Banothu 等[34]在一项 37 例行机械通气儿童的研究中证实 ΔV_{peak} 是容量反应性良好的预测因子。Karlsson 等[35]在一项研究中对比了胸骨上切迹处和心尖部的 ΔV_{peak} ($\Delta V_{peak} dAo$, $\Delta V_{peak} LVOT$),对 27 例全麻患者进行分析,结果显示 $\Delta V_{peak} dAo$ 基线水平 $> 14\%$ 可以预测液体反应性,灵敏度为 58%,特异性为 73%,表明 $\Delta V_{peak} dAo$ 确定了具有中等诊断能力的容量反应性,但是在当前研究中, $\Delta V_{peak} LVOT$ 未能预测容量反应性。

3.2. 其他部位动脉血流峰值流速

基于上述原因,也有不少研究探索颈动脉和外周等其他部位的动脉 ΔV_{peak} 预测容量反应性的能力。王宁[36]的一项 Meta 分析中系统评价了不同动脉 ΔV_{peak} ,结果表明 ΔV_{peak} 可用于评估危重症患者的容量反应性,其中颈动脉的 ΔV_{peak} 诊断价值最高,这可能是由于颈动脉相较于肱动脉更加接近心脏位置,能更加准确地反映血流速度变化情况;而相较于主动脉,颈动脉位置表浅,对于超声检测的技术要求更低,图像易于获得。但 ΔV_{peak} 的测量操作不仅复杂、费时,需要一定的技术专长,而且还有一些局限性,自主呼吸、心律失常、瓣膜性心脏病、腹腔内高压及明显右心室功能障碍等因素均可增加测量误差[37],进而衍生出颈动脉校正血流时间变异,操作简单,且不受机械通气和 PEEP 的影响。Zhou 等[38]在 43 例急性循环衰竭患者的研究中表明颈动脉校正血流时间(ΔFT_{cbolus})和颈动脉峰值流速呼吸变异($\Delta V_{peakbolus}$)均具有预测容量反应性的能力,且 ΔFT_{cbolus} 的预测性能更优,但仍有赖于大样本的进一步研究。

4. 总结与展望

综上所述, 超声作为评估围手术期患者容量状态的监测手段, 在临床有较高的诊断价值, 但不同指标在不同条件下均有其局限性, 且有赖于不同型号超声仪器精密度以及不同操作者的技术水平。本文不足之处主要基于定性研究, 缺乏量化分析的支持, 使其在普遍性和精确性方面存在一定局限未来研究可结合 Meta 分析等定量分析方法通过数据分析和模型进一步验证和深化文本的结论, 从而提供更具说服力的证据和更全面的理论框架。

尽管如此, 容量评估仍然是围手术期的重要挑战之一, 随着可视化和舒适化医疗的发展, 有创血流动力学检测的局限性变得越发明显, 超声凭借着其无创、便捷和舒适化的优点在血流动力学管理方面的优势愈发明显。未来我们可以针对下腔静脉、上腔静脉、锁骨下静脉、颈内静脉等静脉呼吸变异度指标, 以及主动脉峰流速等动脉血流峰值呼吸变异度指标, 需进一步优化测量方法和标准, 提高其准确性和可重复性。例如, 研究不同体位、通气模式、正压通气参数等对指标的影响, 建立更精确的参考值范围, 或是针对不同手术类型的患者群体进一步验证其敏感性和特异性; 其次, 探索其他可能反映容量反应性的超声指标, 如左心室流出道速度时间积分(VTI)、二尖瓣环舒张早期运动速度(e')等, 并验证其预测价值; 研究不同指标的组合应用, 如超声结合通气试验预测容量状态等, 建立多参数预测模型, 提高预测的灵敏度和特异性。同时我们可以开发基于人工智能的超声图像自动识别和分析技术, 实现指标的自动测量和计算, 减少人为误差, 提高评估效率或是研发便携式、可穿戴的超声设备, 实现围手术期容量反应性的实时监测和反馈, 为临床决策提供更及时的依据。此外, 开展多中心、大样本的临床研究, 验证超声指标预测围手术期容量反应性的有效性和安全性, 为其临床应用提供更可靠的证据。

总之, 围手术期容量反应性超声评估是一个充满挑战和机遇的研究领域。未来需要多学科合作, 不断优化指标、攻克技术难题、开展临床研究, 推动该技术在围手术期的规范化应用, 最终改善患者预后。

基金项目

内蒙古医科大学附属医院青年探索项目(编号 2022NYFYTS027)。

参考文献

- [1] 何福娟, 秦晨光, 彭晶, 等. IVC_(max)及 IVC-CI 预测结直肠癌根治术患者全身麻醉诱导后低血压发生率的研究[J]. 重庆医学, 2022, 51(7): 1135-1139.
- [2] 杨勇勇. 超声颈总动脉校正血流时间预测麻醉诱导后低血压和容量反应性[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建医科大学, 2020.
- [3] Marik, P.E. and Cavallazzi, R. (2013) Does the Central Venous Pressure Predict Fluid Responsiveness? An Updated Meta-Analysis and a Plea for Some Common Sense. *Critical Care Medicine*, **41**, 1774-1781. <https://doi.org/10.1097/ccm.0b013e31828a25fd>
- [4] Nakamura, K., Tomida, M., Ando, T., Sen, K., Inokuchi, R., Kobayashi, E., et al. (2013) Cardiac Variation of Inferior Vena Cava: New Concept in the Evaluation of Intravascular Blood Volume. *Journal of Medical Ultrasonics*, **40**, 205-209. <https://doi.org/10.1007/s10396-013-0435-6>
- [5] Feissel, M., Michard, F., Faller, J. and Teboul, J. (2004) The Respiratory Variation in Inferior Vena Cava Diameter as a Guide to Fluid Therapy. *Intensive Care Medicine*, **30**, 1834-1837. <https://doi.org/10.1007/s00134-004-2233-5>
- [6] Kaptein, M.J. and Kaptein, E.M. (2021) Inferior Vena Cava Collapsibility Index: Clinical Validation and Application for Assessment of Relative Intravascular Volume. *Advances in Chronic Kidney Disease*, **28**, 218-226. <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2021.02.003>
- [7] Chong, Y., Yu, Y., Zhao, Y. and Zhang, Y. (2023) Value of Inferior Vena Cava Diameter and Inferior Vena Cava Collapse Index in the Evaluation of Peripartum Volume: A Prospective Cohort Study. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, **285**, 69-73. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2023.03.045>
- [8] Abbasi, S., Nemati, K., Alikiaii, B. and Saghaei, M. (2023) The Value of Inferior Vena Cava Ultrasonography

- Administration for Hypovolemia Detection in Patients with Acute Kidney Injury Hospitalized in Intensive Care Unit. *Advanced Biomedical Research*, **12**, 38. https://doi.org/10.4103/abr.abr_394_21
- [9] Yoshimura, M., Shiramoto, H., Koga, M. and Morimoto, Y. (2022) Preoperative Echocardiography Predictive Analytics for Postinduction Hypotension Prediction. *PLOS ONE*, **17**, e0278140. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278140>
- [10] Moschovaki, N., Saranteas, T., Spiliotaki, E., Giannoulis, D., Anagnostopoulos, D., Talliou, C., *et al.* (2023) Point of Care Transthoracic Echocardiography for the Prediction of Post—Spinal Anesthesia Hypotension in Elderly Patients with Cardiac Diseases and Left Ventricular Dysfunction. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **37**, 1207-1218. <https://doi.org/10.1007/s10877-023-00981-y>
- [11] Szabó, M., Bozó, A., Darvas, K., Horváth, A. and Iványi, Z.D. (2019) Role of Inferior Vena Cava Collapsibility Index in the Prediction of Hypotension Associated with General Anesthesia: An Observational Study. *BMC Anesthesiology*, **19**, Article No. 139. <https://doi.org/10.1186/s12871-019-0809-4>
- [12] 丁欣, 王小亭, 张宏民, 晁彦公. 中国重症超声专家共识解读[J]. 中国实用内科杂志, 2017, 37(5): 434-436.
- [13] 李坤鹏. 基于床旁超声监测下腔静脉内径的个体化液体治疗策略对脓毒症患者预后的影响[J]. 中外医学研究, 2023, 21(12): 156-160.
- [14] 王平, 李辉, 苑晓姣, 等. 基于下腔静脉相关指标及其变异性对脓毒症休克液体复苏效果预测价值分析[J]. 疑难病杂志, 2023, 22(5): 505-509.
- [15] 姜城, 马晓妍, 卢燕. 肺部超声联合下腔静脉变异度指导 ARDS 患者容量管理的临床研究[J]. 宁夏医学杂志, 2023, 45(4): 354-357.
- [16] 林益钦, 陈英勒, 吴黄辉, 等. 超声下腔静脉预测容量反应性和容量状态的临床应用[J]. 安徽医学, 2023, 44(5): 534-540.
- [17] 刘莉, 王莹莹, 吕瑞兆, 柳洁, 张慧娟, 井郁陌. 基于下腔静脉塌陷指数导向补液预防骨科手术患者蛛网膜下腔阻滞麻醉后低血压的研究[J]. 中国医刊, 2023, 58(3): 316-320.
- [18] Di Nicolò, P., Tavazzi, G., Nannoni, L. and Corradi, F. (2023) Inferior Vena Cava Ultrasonography for Volume Status Evaluation: An Intriguing Promise Never Fulfilled. *Journal of Clinical Medicine*, **12**, Article 2217. <https://doi.org/10.3390/jcm12062217>
- [19] Millington, S.J. (2019) Ultrasound Assessment of the Inferior Vena Cava for Fluid Responsiveness: Easy, Fun, but Unlikely to Be Helpful. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesthésie*, **66**, 633-638. <https://doi.org/10.1007/s12630-019-01357-0>
- [20] 程志, 张小宝, 冯继英, 刘金东, 赵志斌. 超声测量静脉内径和变异率应用于容量评估的研究进展[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2018, 39(3): 230-233, 238.
- [21] Vieillard-Baron, A., Chergui, K., Rabiller, A., Peyrouset, O., Page, B., Beauchet, A., *et al.* (2004) Superior Vena Caval Collapsibility as a Gauge of Volume Status in Ventilated Septic Patients. *Intensive Care Medicine*, **30**, 1734-1739. <https://doi.org/10.1007/s00134-004-2361-y>
- [22] Charbonneau, H., Riu, B., Faron, M., Mari, A., Kurrek, M.M., Ruiz, J., *et al.* (2014) Predicting Preload Responsiveness Using Simultaneous Recordings of Inferior and Superior Vena Cavae Diameters. *Critical Care*, **18**, Article No. 473. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0473-5>
- [23] Bubenek-Turconi, Ş., Hendy, A., Băilă, S., Drăgan, A., Chioncel, O., Văleanu, L., *et al.* (2019) The Value of a Superior Vena Cava Collapsibility Index Measured with a Miniaturized Transoesophageal Monoplane Continuous Echocardiography Probe to Predict Fluid Responsiveness Compared to Stroke Volume Variations in Open Major Vascular Surgery: A Prospective Cohort Study. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **34**, 491-499. <https://doi.org/10.1007/s10877-019-00346-4>
- [24] 闫雁, 董士民. 超声评估容量反应性的研究进展[J]. 中国急救医学, 2017, 37(4): 295-297.
- [25] Seif, D., Perera, P., Mailhot, T., Riley, D. and Mandavia, D. (2012) Bedside Ultrasound in Resuscitation and the Rapid Ultrasound in Shock Protocol. *Critical Care Research and Practice*, **2012**, Article ID: 503254. <https://doi.org/10.1155/2012/503254>
- [26] Kent, A., Bahner, D.P., Boulger, C.T., Eiferman, D.S., Adkins, E.J., Evans, D.C., *et al.* (2013) Sonographic Evaluation of Intravascular Volume Status in the Surgical Intensive Care Unit: A Prospective Comparison of Subclavian Vein and Inferior Vena Cava Collapsibility Index. *Journal of Surgical Research*, **184**, 561-566. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.05.040>
- [27] Lu, Y., Zhang, Y., Xu, Z., Shen, F., Wang, J. and Liu, Z. (2023) Subclavian Vein Ultrasound-Guided Fluid Management to Prevent Post-Spinal Anesthetic Hypotension during Cesarean Delivery: A Randomized Controlled Trial. *BMC Anesthesiology*, **23**, Article No. 288. <https://doi.org/10.1186/s12871-023-02242-6>
- [28] 瞿敏, 张秀青, 李婧, 等. 颈内静脉呼吸变异度评估患者术中容量反应性的作用[J]. 国际麻醉学与复苏杂志,

- 2019, 40(4): 307-312.
- [29] Cecconi, M., De Backer, D., Antonelli, M., Beale, R., Bakker, J., Hofer, C., *et al.* (2014) Consensus on Circulatory Shock and Hemodynamic Monitoring. Task Force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Medicine*, **40**, 1795-1815. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3525-z>
- [30] Guarracino, F., Ferro, B., Forfori, F., Bertini, P., Magliacano, L. and Pinsky, M.R. (2014) Jugular Vein Distensibility Predicts Fluid Responsiveness in Septic Patients. *Critical Care*, **18**, Article No. 647. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0647-1>
- [31] 栗亚茹, 姜陆洋, 冯艺, 等. 围手术期超声对全身麻醉患者容量反应性的评估作用[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2021, 42(9): 966-972.
- [32] Monnet, X. and Teboul, J. (2018) Assessment of Fluid Responsiveness: Recent Advances. *Current Opinion in Critical Care*, **24**, 190-195. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000000501>
- [33] Ashley, M. and Justin, M. (2016) Predicting and Measuring Fluid Responsiveness with Echocardiography. *Echo Research & Practice*, **3**, G1-G12. <https://doi.org/10.1530/erp-16-0008>
- [34] Banothu, K.K., Sankar, J., Pathak, M., Kandasamy, D., Gupta, P., Kabra, S.K., *et al.* (2023) Utility of Inferior Vena Cava Distensibility and Respiratory Variation in Peak Aortic Blood Flow Velocity to Predict Fluid Responsiveness in Children with Shock. *Indian Journal of Pediatrics*, **90**, 1077-1082. <https://doi.org/10.1007/s12098-023-04585-x>
- [35] Karlsson, J., Peters, E., Denault, A., Beaubien-Souligny, W., Karsli, C. and Roter, E. (2023) Assessment of Fluid Responsiveness in Children Using Respiratory Variations in Descending Aortic Flow. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, **67**, 1045-1053. <https://doi.org/10.1111/aas.14265>
- [36] 王宁, 宋伟, 王岩, 等. 动脉血流峰值流速变异度评价危重症患者容量反应状态的 Meta 分析[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(4): 270-274.
- [37] 裴颖皓, 杨洋, 冯颖, 等. 床旁即时超声测量动脉峰流速呼吸变异度评价危重症患者容量反应性的 Meta 分析[J]. 中华危重病急救医学, 2020, 32(1): 99-105.
- [38] Zhou, K., Ran, S., Guo, Y. and Ye, H. (2023) Carotid Artery Ultrasound for Assessing Fluid Responsiveness in Patients Undergoing Mechanical Ventilation with Low Tidal Volume and Preserved Spontaneous Breathing. *Shock*, **61**, 360-366. <https://doi.org/10.1097/shk.0000000000002288>