

床旁超声预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的临床价值

朱肇基 叶宏伟 汪易岚 俞隼 范佳 沈耀亮 金钧

摘要 **目的** 探讨床旁超声在预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性中的临床价值。**方法** 前瞻性纳入 2019 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日我院重症医学科收治的脓毒症休克患者,分别于容量负荷试验前后应用脉搏指示连续心排量监测获得心率、平均动脉压、中心静脉压、心脏指数(CI)、胸腔内血容积指数、每搏量变异度(SVV);应用床旁超声测量颈动脉血流动力学参数,计算下腔静脉内径变异度(Δ IVCd)、颈动脉峰流速变异度(Δ CDPV)、颈动脉血流量及颈动脉血流量变异度(Δ CBF)。将容量负荷试验后 CI 增加值(Δ CI) $\geq 10\%$ 定义为容量反应阳性,根据患者有无容量反应性进行分组,比较两组容量负荷试验前后上述参数的差异;分析各血流动力学参数与 Δ CI 的相关性;绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各血流动力学参数对脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的预测价值。**结果** 最终纳入 49 例患者,其中有容量反应性者 26 例(有反应性组),无容量反应性者 23 例(无反应性组)。有反应性组容量负荷试验前 SVV、 Δ IVCd、 Δ CDPV 均高于无反应性组, Δ CBF 高于无反应性组,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。相关性分析显示,容量负荷试验前 SVV、 Δ IVCd、 Δ CDPV 和 Δ CBF 均与 Δ CI 呈正相关($r = 0.425, 0.856, 0.855, 0.874$, 均 $P < 0.05$)。ROC 曲线分析显示,SVV、 Δ IVCd、 Δ CDPV、 Δ CBF 预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的曲线下面积分别为 0.696、0.713、0.725、0.734。**结论** 应用床旁超声监测颈动脉血流动力学参数可有效预测无自主呼吸、无心律失常的脓毒症休克合并机械通气患者的容量反应性,有一定的临床价值。

关键词 超声检查,床旁;颈动脉血流动力学;脓毒症休克;机械通气;容量反应性

[中图分类号]R445.1

[文献标识码]A

Clinical value of bedside ultrasound in predicting volume responsiveness in patients with septic shock and mechanical ventilation

ZHU Zhaoji, YE Hongwei, WANG Yilan, YU Sun, FAN Jia, SHEN Yaoliang, JIN Jun

Department of Critical Care Medicine, Suzhou University Affiliated Changshu Hospital, Jiangsu 215500, China

ABSTRACT **Objective** To explore the clinical value of bedside ultrasound in predicting volume responsiveness in patients with septic shock and mechanical ventilation. **Methods** Septic shock patients admitted to the department of critical care medicine of our hospital from January 1, 2019 to December 31, 2020 were enrolled. The heart rate, mean arterial pressure, central venous pressure, cardiac index (CI), intrathoracic blood volume index and stroke volume variability (SVV) before and after volume load test were obtained by pulse indicator continuous cardiac output. Hemodynamics parameters of the carotid artery were measured by bedside ultrasound, the variability of the inferior vena cava diameter (Δ IVCd), variability of carotid peak flow velocity (Δ CDPV), carotid artery blood flow (CBF) and carotid artery blood flow variability (Δ CBF) were calculated. The increased CI (Δ CI) after the volume load test with a value of $\geq 10\%$ was defined as a positive capacity response, patients were grouped according to whether they had volume response, and the differences of the above parameters between the two groups before and after the volume load test were compared. The correlation between hemodynamics parameters and Δ CI was analyzed. Receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the predictive value of hemodynamics parameters for volume

基金项目:常熟市科技局课题项目(CS201919)

作者单位:215500 江苏省常熟市,苏州大学附属常熟医院 常熟市第一人民医院重症医学科(朱肇基、叶宏伟、汪易岚、俞隼、范佳、沈耀亮);

苏州大学附属第一医院重症医学科(金钧)

通讯作者:金钧,Email:13806214010@163.com

responsiveness in patients with septic shock and mechanical ventilation. **Results** Finally, 49 patients were included, 26 cases were responsive to the volume load test (responsive group) and 23 cases were not responsive to the volume load test (non-responsive group). SVV, Δ IVCd and Δ CDPV before the volume load test of the responsive group were higher than those of the non-responsive group, and the Δ CBF was higher than that of the non-responsive group, the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). Correlation analysis showed that SVV, Δ IVCd, Δ CDPV, Δ CBF before the volume load test were all positively correlated with Δ CI ($r = 0.425, 0.856, 0.855, 0.874$, all $P < 0.05$). ROC curve analysis showed that the areas under the curve of SVV, Δ IVCd, Δ CDPV, Δ CBF in predicting volume responsiveness in patients with septic shock and mechanical ventilation were 0.696, 0.713, 0.725 and 0.734, respectively. **Conclusion** Bedside ultrasound monitoring carotid hemodynamics parameters can effectively predict volume responsiveness in patients with septic shock and mechanical ventilation without spontaneous respiration or arrhythmia, which has certain clinical value.

KEY WORDS Ultrasonography, bedside; Carotid hemodynamics; Septic shock; Mechanical ventilation; Volume responsiveness

根据 2016 版《脓毒症和脓毒症休克管理国际指南》^[1]推荐,脓毒症休克治疗的关键在于早期、合理的液体复苏,积极的液体复苏可增加患者的有效循环血容量,对微血管血流具有重要的改善作用,同时也有助于提高心输出量,改善组织灌注,从而降低病死率^[2-3]。但研究^[4]发现实际临床工作中对液体复苏有反应的患者仅占有血流动力学不稳定危重患者的一半。过度的液体治疗可能发生血管外间质水肿(如肺水肿)等严重并发症,从而影响机体的组织灌注及对组织细胞的供氧,加重组织器官缺血缺氧,使病情进一步恶化。因此,在对患者实施液体复苏前,准确评估其容量状态及预测容量反应性具有重要的意义。本研究应用床旁超声监测脓毒症休克患者容量负荷试验前后颈动脉血流动力学参数,旨在探讨其预测机械通气患者容量反应性的可行性,以期更好地指导脓毒症休克患者的液体治疗。

资料与方法

一、研究对象

前瞻性纳入 2019 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日我院重症医学科收治的脓毒症休克患者。纳入标准:①年龄 > 18 岁;②符合 2016 年发布的《脓毒症 3.0》中脓毒症休克的诊断标准^[5],即满足以下 4 点即可诊断,包括存在感染、序贯性器官衰竭评估(SOFA)评分较基线上升 ≥ 2 分、出现持续低血压且在充分容量复苏后仍需血管活性药物维持平均动脉压(MAP) ≥ 65 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)、血乳酸 > 2 mmol/L;③均行有创机械通气。排除标准:①存在中心静脉及股动脉置管禁忌症;②妊娠期及哺乳期;③持续存在心律失常;④存在瓣膜疾病、心力衰竭,以及颈动脉狭窄或畸形、斑块等。本研究经我院医学伦理委员会批准,患者或

其家属均签署知情同意书。

二、仪器与方法

1. 临床资料获取:查阅患者病历,记录性别、年龄、体质量指数、急性生理学和慢性健康状况评分系统 II (APACHE II) 评分、SOFA 评分、感染部位等。

2. 容量负荷试验方法及分组:所有患者均进行容量负荷试验,即于 5 min 内将 0.9% 生理盐水 150 ml 输注至患者体内。试验过程中调整呼吸机,采用容量控制通气模式,设定潮气量 8 ml/kg,呼吸频率 12 次/min,呼气末正压 5 cmH₂O (1 cmH₂O = 0.098 kPa),并给予患者充分镇痛镇静,暂时抑制自主呼吸,且使用的血管活性药物剂量保持不变。若试验过程中出现容量过负荷表现(如两肺底湿啰音增多)时立即停止试验,并剔除本研究。本研究将患者容量负荷试验前后心脏指数(CI)增加量(Δ CI) $\geq 10\%$ 定义为容量反应阳性^[6]。根据有无容量反应性分为有反应性组和无反应性组。

3. 脉搏指示连续心排量监测(PiCCO)检查:入组患者均留置颈内或锁骨下深静脉置管,经股动脉置入 PiCCO 导管,连接带有 PiCCO 模块的心电监护仪,记录心率(HR)、MAP、中心静脉压(CVP),采用热稀释法和脉搏轮廓分析测定 CI、胸腔内血容积指数(ITBVI),计算每搏量变异度(SVV),公式^[5]为: $SVV = 2 \times (\text{每搏量最大值} - \text{每搏量最小值}) / (\text{每搏量最大值} + \text{每搏量最小值}) \times 100\%$ 。上述参数由经验丰富的主治重症医师分别于容量负荷试验前后采集。

4. 超声检查:使用迈瑞 M9 便携式彩色多普勒超声诊断仪,SP5-1s 相控阵探头,频率 2~4 MHz; L12-4s 血管线阵探头,频率 5~10 MHz。患者取仰卧位,于剑突下使用相控阵探头探测肝后下腔静脉,于距右房入口 2 cm 处测量 1 个完整呼吸周期内呼气末及吸气末下腔

静脉内径(IVCd),计算下腔静脉内径变异度(Δ IVCd),公式^[7]为: Δ IVCd=(吸气末IVCd-呼气末IVCd)/呼气末IVCd \times 100%。见图1。然后将血管线阵探头置于甲状软骨下缘一侧,待查见颈总动脉及颈内静脉横切面后移动探头置于颈总动脉分叉下方2 cm处,待屏幕正中显示颈总动脉,再旋转探头90°以显示颈总动脉纵切面,应用彩色多普勒超声观察颈总动脉血流频谱,保持取样框与血管走行一致,取样位置为动脉血管中心,取样角度 $<60^\circ$,测量1个呼吸周期内颈动脉峰流速(CDPV)最大值及最小值,计算颈动脉峰流速变异度(Δ CDPV),公式^[8]为: Δ CDPV=2 \times (CDPV最大值-CDPV最小值)/(CDPV最大值+CDPV最小值) \times 100%。见图2。使用血管线阵探头于短轴切面找到颈动脉,然后将探

头旋转90°至颈动脉长轴切面,于血管中段使用频谱多普勒测量任意3个连续相邻的血流频谱,通过仪器自带软件自动描绘频谱包路线,软件自动显示时间平均血流速度,然后于取样容积部位测量血管内径(即血管内膜线之间的垂直距离),软件自动计算颈动脉血流量及颈动脉血流量变异度(Δ CBF),公式^[9]为:颈动脉血流量= $\pi \times$ (血管内径/2)² \times 时间平均血流速度 \times 60, Δ CBF=容量负荷试验后颈动脉血流量/容量负荷试验前颈动脉血流量-1。见图3。以上参数均重复测量3次取平均值;床旁超声检查均由通过重症超声检查培训的重症医师分别于容量负荷试验前后完成,并由具有一定超声检查经验的重症主治医师审核。

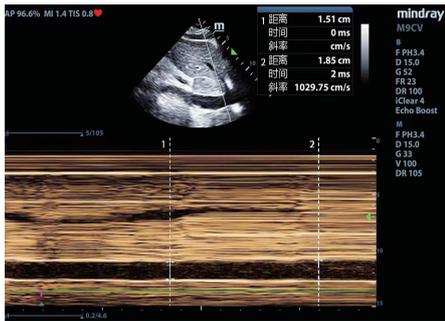


图1 床旁超声测量 Δ IVCd示意图

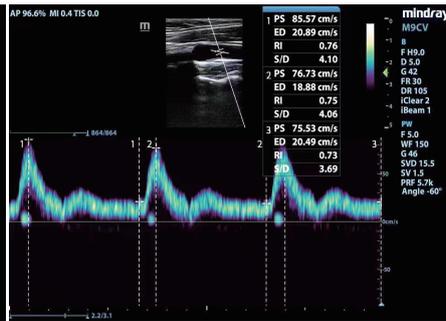


图2 床旁超声测量 Δ CDPV示意图



图3 床旁超声测量 Δ CBF示意图

三、统计学处理

应用SPSS 22.0统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 t 检验或配对 t 检验;计数资料以例或率表示,采用 χ^2 检验。采用Pearson相关分析法分析各血流动力学指标与 Δ CI的相关性。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各血流动力学指标对脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的预测价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、入组患者临床资料及分组

研究期间我院重症医学科共收治脓毒症休克患者74例。排除未留置PiCCO导管、未行气管插管等

25例,最终49例患者纳入本研究,分为有反应性组26例,无反应性组23例。

二、两组临床资料比较

两组性别、年龄、体质量指数、APACHE II评分、SOFA评分、感染部位比较差异均无统计学意义。见表1。

三、两组PiCCO参数比较

两组容量负荷试验前HR、MAP、CVP、ITBVI与容量负荷试验后比较差异均无统计学意义。有反应性组容量负荷试验前SVV高于无反应性组,差异有统计学意义($P=0.01$);其余参数两组比较差异均无统计学意义。见表2。

四、两组超声参数比较

表1 两组临床资料比较

组别	男/女(例)	年龄(岁)	体质量指数(kg/m ²)	APACHE II评分(分)	SOFA评分(分)	感染部位(例)				
						呼吸系统	泌尿系统	消化系统	血源性	其他
有反应性组(26)	19/7	60.85 \pm 11.55	23.66 \pm 2.23	22.96 \pm 4.07	10.46 \pm 3.17	17	3	3	1	2
无反应性组(23)	15/8	59.83 \pm 12.25	23.08 \pm 1.04	22.87 \pm 2.70	9.78 \pm 3.45	13	3	4	1	2
χ^2/t 值	1.321	0.299	1.141	0.092	0.713	0.972	0.223	0.356	0.022	0.022
P 值	0.256	0.766	0.243	0.927	0.480	0.336	0.728	0.256	0.765	0.765

APACHE II:急性生理学和慢性健康状况评分系统II;SOFA:序贯器官衰竭评估

表2 两组PiCCO参数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	HR(次/min)		MAP(mmHg)		CVP(mmHg)		ITBVI(ml/m ²)		CI(L·min ⁻¹ ·m ⁻²)		容量负荷试验前 SVV(%)
	容量负荷试验前	容量负荷试验后	容量负荷试验前	容量负荷试验后	容量负荷试验前	容量负荷试验后	容量负荷试验前	容量负荷试验后	容量负荷试验前	容量负荷试验后	
有反应性组	115.77±13.14	111.12±13.56	66.38±3.79	71.15±2.98	7.46±1.68	9.27±1.56	858.65±46.90	944.88±40.91	3.32±0.28	3.82±0.35*	12.96±1.68
无反应性组	112.78±12.14	107.83±12.20	64.57±4.28	69.61±4.37	7.30±1.49	9.30±1.49	867.17±36.63	943.65±40.23	3.45±0.27	3.54±0.25	11.43±2.21#
<i>t</i> 值	0.823		1.416		1.345		0.768		12.948		2.691
<i>P</i> 值	0.251		0.119		0.153		0.282		0.001		0.01

与有反应性组比较, #*P*<0.05;与同组容量负荷试验前比较, **P*<0.05。HR:心率;MAP:平均动脉压;CVP:中心静脉压;ITBVI:胸腔内血容积指数;CI:心脏指数;SVV:每搏量变异度。1 mmHg=0.133 kPa

有反应性组容量负荷试验前 Δ IVCd、 Δ CDPV及 Δ CBF均高于无反应性组,差异均有统计学意义(均*P*<0.05)。见表3。

表3 两组超声参数比较

组别	容量负荷试验前 Δ IVCd	容量负荷试验前 Δ CDPV	Δ CBF
有反应性组	20.38±2.43	14.31±2.54	16.65±6.86
无反应性组	18.61±2.82	11.96±3.18	10.40±6.38
<i>t</i> 值	2.907	2.872	3.288
<i>P</i> 值	0.006	0.006	0.002

Δ IVCd:下腔静脉内径变异度; Δ CDPV:颈动脉峰流速变异度; Δ CBF:颈动脉血流量变异度

五、各血流动力学参数与 Δ CI的相关性分析

相关性分析显示,容量负荷试验前SVV、 Δ IVCd、 Δ CDPV和 Δ CBF均与 Δ CI呈正相关($r=0.425$ 、 0.856 、 0.855 和 0.874 ,均*P*<0.05);容量负荷试验前CVP、ITBVI均与 Δ CI无相关性。见表4。

六、各血流动力学参数预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的诊断效能

ROC曲线分析显示,SVV、 Δ IVCd、 Δ CDPV、 Δ CBF预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的曲线下面积分别为0.696、0.713、0.725、0.734。见图4和表5。

表5 各血流动力学参数预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的诊断效能

参数	曲线下面积(95%可信区间)	<i>P</i> 值	截断值	灵敏度(%)	特异度(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)
CVP	0.566(0.655~1.343)	0.726	6.0 mmHg	54	58	58	58
ITBVI	0.531(0.991~1.022)	0.440	874.0 ml/m ²	54	58	54	54
SVV	0.696(0.479~0.923)	0.019	12.00%	62	60	54	54
Δ IVCd	0.713(0.506~0.917)	0.011	19.50%	66	74	70	74
Δ CDPV	0.725(0.588~0.937)	0.012	12.50%	65	70	78	66
Δ CBF	0.734(0.939~0.992)	0.005	12.72%	77	78	73	73

讨 论

脓毒症休克是目前重症加强护理病房中最危重的疾病,已成为危重病患者病死率增加的主要原因之一^[10]。液体复苏是治疗脓毒症休克的核心及首要措

表4 各血流动力学参数与 Δ CI的相关性分析

参数	Δ CI	
	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值
容量负荷试验前CVP	0.048	0.781
容量负荷试验前ITBVI	-0.247	0.087
容量负荷试验前SVV	0.425	0.020
容量负荷试验前 Δ IVCd	0.856	0.011
容量负荷试验前 Δ CDPV	0.855	0.012
Δ CBF	0.874	0.009

Δ CI:心脏指数增加量

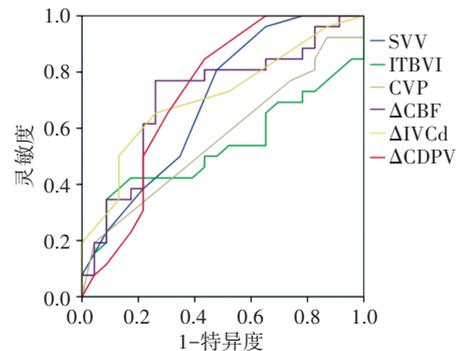


图4 各血流动力学参数预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的ROC曲线图

施^[1],虽然早期液体复苏被脓毒症休克诊断和治疗指南所提倡,但亦有研究^[11-13]表明对液体复苏有反应的重症患者仅占一半,故预测容量反应性已成为脓毒症休克患者诊疗过程中必不可少的一环。目前临床常用的反映患者容量状态的指标包括CVP、肺动脉楔

压、ITBVI 等静态压力指标,均具有一定局限^[13-15]。超声是一种无创监测血流动力学的影像学技术,可在床旁评估重症患者容量状态,且颈动脉是仅次于主动脉靠近心脏的大血管,具有管径粗、位置表浅及显像清晰等优点,因此经颈动脉超声监测患者血流动力学指标评估其容量反应性更为准确和方便。本研究旨在探讨床旁超声在预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性中的临床价值。

研究^[16]发现 CVP 作为传统静态压力指标,在预测患者容量反应性、指导液体复苏的价值有限。本研究结果显示,有反应性组及无反应性组容量负荷试验前后 CVP 比较差异均无统计学意义,且该指标与 ΔCI 无相关性;ROC 曲线分析显示 CVP 在预测容量反应性方面并无诊断价值,表明单独使用 CVP 并不能很好地预测和评估脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性,与既往研究^[17]结果一致。ITBVI 作为静态容量评估指标之一,经 PiCCO 直接测得,可直接反映心室舒张末期血容量^[18]。本研究结果显示有反应性组及无反应性组容量负荷试验前后 ITBVI 比较差异均无统计学意义,ROC 曲线分析结果表明其预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的价值也有限。临床常以 PiCCO 所测 SVV 作为预测容量反应性的动态参数^[19]。本研究结果显示,有反应性组容量负荷试验前 SVV 高于无反应性组($P < 0.05$),且 SVV 与 ΔCI 呈线性相关;ROC 曲线分析显示其诊断容量反应性的曲线下面积为 0.696,特异度为 60%,灵敏度为 62%。提示 SVV 在预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性方面有一定临床价值,但该参数的测量仅局限于完全控制性通气的患者,尚不能准确测量具有自主呼吸患者的容量反应性^[20],且 PiCCO 为有创操作,可能增加导管感染的风险,并增加患者的经济负担。

随着机械通气患者血容量的增加,IVCd 随之增大,同时受患者呼吸运动变化幅度影响可导致 IVCd 减小;故当患者血容量不足时,随着呼吸运动变化幅度可出现 IVCd 增大,因此可以应用 $\Delta IVCd$ 预测接受机械通气患者的容量反应性^[21]。本研究结果显示,有反应性组与无反应性组容量负荷试验前 $\Delta IVCd$ 比较差异有统计学意义($P < 0.05$), $\Delta IVCd$ 与 ΔCI 呈线性相关,ROC 曲线分析显示其预测容量反应性的曲线下面积、特异度、灵敏度分别为 0.713、74%、66%,截断值为 19.50%,提示 $\Delta IVCd$ 在预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性中具有较高的临床应用价值,与 Kaur

等^[22]研究结果类似。研究^[23-24]结果显示 $\Delta CDPV$ 预测脓毒症休克患者容量反应性的特异度和灵敏度均较高。这与颈动脉与心脏距离小、局部肌肉影响小密切相关。本研究结果亦显示, $\Delta CDPV$ 预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性的价值较高, $\Delta CDPV$ 与 ΔCI 呈线性相关,以 12.50% 为截断值,其预测患者容量反应性的曲线下面积、特异度、灵敏度分别为 0.725、70%、65%。

Marik 等^[25]研究表明,对于血流动力学不稳定患者,检测被动抬腿试验前后颈动脉血流量的变化可预测患者容量反应性,其以 20% 为截断值,诊断灵敏度和特异度分别为 94% 和 86%,并发现有容量反应患者被动抬腿试验后颈动脉内径增大,但未进一步研究其截断值。本研究结果显示 $\Delta CDPV$ 和 ΔCBF 均能有效预测脓毒症休克合并机械通气患者容量反应性,且 ΔCBF 的诊断效能较 $\Delta CDPV$ 更高。Hilbert 等^[26]研究发现心脏术后机械通气患者颈动脉内径在容量负荷试验后增大,但未探讨颈动脉内径变化与 ΔCI 的相关性。而本研究超声检查时发现反应性组容量负荷试验后颈动脉内径增大,后期可进一步探讨颈动脉内径变化在评估患者容量反应性中的价值。

本研究的局限性:①样本量较小,后续可增加样本量进一步验证研究结果的准确性;②床旁超声所测数据与操作者经验和技术水平有关,结果可能产生偏差;③未分析经容量反应性指导补液是否能够改善脓毒症休克患者预后。

综上所述,应用床旁超声监测 $\Delta IVCd$ 、 $\Delta CDPV$ 和 ΔCBF 可有效预测接受机械通气治疗的脓毒症休克患者容量反应性,具有一定的临床价值。

参考文献

- [1] 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(3): 304-377.
- [2] Lesur O, Delile E, Asfar P, et al. Hemodynamic support in the early phase of septic shock: a review of challenges and unanswered questions[J]. Ann Intensive Care, 2018, 8(1): 102.
- [3] Rocha LL, Pessoa CM, Corrêa TD, et al. Current concepts on hemodynamic support and therapy in septic shock[J]. Braz J Anesthesiol, 2015, 65(5): 395-402.
- [4] Schulz LF, Geri G, Vieillard-Baron A, et al. Assessment of volume status and volume responsiveness in the ICU: protocol for an observational, multicentre cohort study[J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2019, 63(8): 1102-1108.

- [5] Guo FM, Qiu HB. Definition and diagnosis of sepsis 3.0 [J]. *Zhonghua Nei Ke Za Zhi*, 2016, 55(6): 420-422.
- [6] Smorenberg A, Cherpanath TGV, Geerts BF, et al. A mini-fluid challenge of 150ml predicts fluid responsiveness using Modelflow^R pulse contour cardiac output directly after cardiac surgery [J]. *J Clin Anesth*, 2018, 46(1): 17-22.
- [7] Wang Y, Jiang Y, Wu H, et al. Assessment of fluid responsiveness by inferior vena cava diameter variation in post-pneumonectomy patients [J]. *Echocardiography*, 2018, 35(12): 1922-1925.
- [8] 刘运安, 张青青, 周婷, 等. 超声测量外周血管直径变化和峰流速变异度评估机械通气患者容量反应性的研究进展 [J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2019, 42(10): 780-782.
- [9] 刘开春, 张小用, 付建莉, 等. 三种超声技术检测颈动脉血流量的比较研究 [J]. *临床超声医学杂志*, 2014, 16(9): 625-627.
- [10] 赵瑞巧, 孙同文, 张晓娟, 等. 血清胆碱酯酶对感染性休克预后的预测价值 [J]. *中华危重病急救医学*, 2020, 32(1): 44-49.
- [11] Cecconi M, Hofer C, Teboul JL, et al. Fluid challenges in intensive care: the FENICE study: a global inception cohort study [J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41(9): 1529-1537.
- [12] Marik PE. Iatrogenic salt water drowning and the hazards of a high central venous pressure [J]. *Ann Intensive Care*, 2014, 4(1): 21-22.
- [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.
- [14] Vincent JL. Fluid management in the critically ill [J]. *Kidney Int*, 2019, 96(1): 52-57.
- [15] Celeita-Rodríguez N, Teixeira-Neto FJ, Garofalo NA, et al. Comparison of the diagnostic accuracy of dynamic and static preload indexes to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated, isoflurane anesthetized dogs [J]. *Vet Anaesth Analg*, 2019, 46(3): 276-288.
- [16] Hill B, Smith C. Central venous pressure monitoring in critical care settings [J]. *Br J Nurs*, 2021, 30(4): 230-236.
- [17] Eskesen TG, Wetterslev M, Perner A. Systematic review including re-analyses of 1148 individual data sets of central venous pressure as a predictor of fluid responsiveness [J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(3): 324-332.
- [18] Herold IH, Soliman Hamad MA, van Assen HC, et al. Pulmonary blood volume measured by contrast enhanced ultrasound: a comparison with transpulmonary thermodilution [J]. *Br J Anaesth*, 2015, 115(1): 53-60.
- [19] 张宏民, 刘大为, 王小亭, 等. 每搏量变异评价顽固性感染性休克患者容量反应性 [J]. *中华内科杂志*, 2010, 49(7): 610-614.
- [20] Kumar N, Malviya D, Nath SS, et al. Comparison of the efficacy of different arterial waveform-derived variables (pulse pressure variation, stroke volume variation, systolic pressure variation) for fluid responsiveness in hemodynamically unstable mechanically ventilated critically ill patients [J]. *Indian J Crit Care Med*, 2021, 25(1): 48-53.
- [21] Zhang Z, Xu X, Ye S, et al. Ultrasonographic measurement of the respiratory variation in the inferior vena cava diameter is predictive of fluid responsiveness in critically ill patients: systematic review and Meta-analysis [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2014, 40(5): 845-853.
- [22] Kaur KB, Nakra M, Mangal V, et al. Comparative evaluation of stroke volume variation and inferior vena cava distensibility index for prediction of fluid responsiveness in mechanically ventilated patients [J]. *Ann Card Anaesth*, 2021, 24(3): 327-332.
- [23] 卢年芳, 姜利, 朱波, 等. 外周动脉峰流速变异度评估感染性休克患者容量反应性的临床研究 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30(3): 224-229.
- [24] Ibarra-estrada MÁ, López-pulgarín JA, Mijangos-méndez JC, et al. Respiratory variation in carotid peak systolic velocity predicts volume responsiveness in mechanically ventilated patients with septic shock: a prospective cohort study [J]. *Crit Ultrasound J*, 2015, 7(1): 29.
- [25] Marik PE, Levitov A, Young A, et al. The use of bio-reactance and carotid Doppler to determine volume responsiveness and blood flow redistribution following passive leg raising in hemodynamically unstable patients [J]. *Chest*, 2013, 143(2): 364-370.
- [26] Hilbert T, Klaschik S, Ellerkmann RK, et al. Common carotid artery diameter responds to intravenous volume expansion: an ultrasound observation [J]. *Springerplus*, 2016, 5(1): 853.

(收稿日期: 2023-03-19)