

# 无创超声心排量监测联合被动抬腿试验预测老年危重患者容量反应性的价值

孙乾辉 曹加明 孙婷 张健 曹宇亮

**【摘要】** 目的 评价无创超声心排量监测(USCOM)技术联合被动抬腿试验(PLR)预测老年危重患者容量反应性的价值。方法 纳入 ICU 中需要容量液体复苏的老年危重患者 56 例,先后进行 PLR 和容量负荷试验(VE),分别在 PLR 和 VE 前后应用 USCOM 进行血流动力学监测,获得每搏输出量(SV)、心排量(CO)、外周血管阻力(SVR)等血流动力学指标,同时持续监测有创平均动脉压(MAP)、心率(HR)及中心静脉压(CVP)。将 VE 后 SV 增加值( $\Delta SV_{ve}$ ) $\geq 10\%$  定义为有容量反应性,将患者分为有反应组和无反应组。采用 ROC 曲线分析 USCOM 联合 PLR 对容量反应性的预测价值。结果 (1)56 例患者中 22 例患者因无法获得满意的血流信号而终止试验。余下 34 例患者共进行容量负荷试验 42 例次,有反应组 16 例次,无反应组 26 例次。(2)当 VE 前恢复体位后,两组患者血流动力学指标与 PLR 前比较无统计学差异( $P > 0.05$ );与 PLR 前比较,有容量反应性者 PLR 及 VE 后 SV、CO 均明显增加( $P < 0.01$ ),SVR 明显下降( $P < 0.01$ ),PLR 后 CVP 无明显变化( $P > 0.05$ ),VE 后 CVP 增加( $P < 0.05$ );无容量反应性者 PLR 后 SV 有所增加( $P < 0.05$ ),VE 后 SV 无明显变化( $P > 0.05$ ),PLR 及 VE 后 CO、SVR 无明显变化( $P > 0.05$ ),CVP 均增加(均  $P < 0.05$ );(3)有反应组  $\Delta SV_{PLR}$  和  $\Delta SV_{VE}$  均明显大于无反应组(均  $P = 0.000$ )。(4)PLR 引起  $\Delta SV$  与容量负荷试验引起  $\Delta SV$  呈正相关( $r = 0.656, P = 0.000$ )。(5)以  $\Delta SV_{PLR}$  预测容量反应性,AUCROC 为 0.954(0.900 ~ 1.000);以  $\Delta CVP_{PLR}$  预测容量反应性,AUCROC 为 0.555(0.369 ~ 0.741)。以  $\Delta SV_{PLR} \geq 8.8\%$  预测容量反应性其灵敏度为 0.938,特异度为 0.808。结论 若能够获取良好多普勒血流信号,USCOM 联合 PLR 测量  $\Delta SV$  可用于预测老年危重患者容量反应性,但 USCOM 自身缺陷及血流信号采集及判读的诸多影响因素必将限制其在临床实践中的应用。

**【关键词】** 无创超声心排量监测 被动抬腿试验 容量反应性 老年 危重病

Non-invasive cardiac output monitor combined with passive leg raising test in predicting volume responsiveness of elderly critically ill patients SUN Qianhui, CAO Jiaming, SUN Ting, et al. Department of Critical Care Medicine, PLA Army 72th Group Military Hospital, Huzhou 313000, China

**【Abstract】** Objective To evaluate the application of non-invasive ultrasonic cardiac output monitor (USCOM) combined with passive leg raising (PLR) test in predicting volume responsiveness for elderly critically ill patients. Methods This prospective and self-controlled clinical study included 56 elderly critically ill patients undergoing volume resuscitation. The hemodynamic parameters stroke volume (SV), cardiac output (CO) and systemic vascular resistance (SVR) were measured non-invasively by USCOM device before and after PLR and volume expansion (VE) test. Invasive mean arterial pressure (MAP), heart rate (HR) and central venous pressure (CVP) were monitored continuously. Based on the responsiveness of volume expansion ( $\Delta SV_{ve} \geq 10\%$ ), patients were divided into responders and non-responders. PLR in predicting volume responsiveness was evaluated by receiver operating characteristic (ROC) curve. Results Twenty two of 56 cases terminated the tests because no satisfactory blood flow signals was obtained. In the remaining 34 cases, 42 PLR and VE tests were evaluated, there were 16 responders (38%) and 18 non-responders (62%). There was no significant difference between two groups in the clinical data and hemodynamic indicators at incipient stage. There were no significant differences before VE compared with the incipient stage in the hemodynamic indicators. In the responders, the SV and CO were significantly increased ( $P < 0.01$ ), the SVR were significantly

DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2019.41.19.2018-2479

基金项目: 2015 年度南京军区医学科技创新课题(15MS007)

作者单位: 313000 湖州, 中国人民解放军陆军第 72 集团军医院(原解放军 98 医院)重症医学科

通信作者: 曹加明, E-mail: sungan917@sina.com

decreased ( $P < 0.01$ ) after PLR and VE, the CVP had no changes after PLR ( $P > 0.05$ ), but increased after VE ( $P < 0.05$ ). In the non-responders, the SV was increased ( $P < 0.05$ ) after PLR, but had no changes after VE ( $P > 0.05$ ); the CO, SVR had no changes ( $P > 0.05$ ) and the CVP increased ( $P < 0.05$ ) after PLR and VE. The  $\Delta SVPLR$  and  $\Delta SVVE$  in responders were significantly higher than those in non-responders [(18.2 ± 6.7)% vs. (3.8 ± 7.2)%,  $P = 0.000$ ; (17.9 ± 5.4)% vs. (1.7 ± 5.4)%,  $P = 0.000$ ]. Correlation analysis showed that there was a positive correlation between  $\Delta SVPLR$  and  $\Delta SVVE$  ( $r = 0.656$ ,  $P = 0.000$ ). The area under the ROC curve (AUC) of  $\Delta SVPLR$  and  $\Delta CVPPLR$  for PLR predicting volume responsiveness were 0.954 and 0.555. The  $\Delta SVPLR \geq 8.8\%$  was found to predict volume responsiveness with a sensitivity of 93.8% and specificity of 80.8%. **Conclusion** If fine Doppler signals can be obtained, USCOM combined with PLR can be used to predict volume responsiveness in elderly critically ill patients, but the defects of USCOM and factors affecting the collection and interpretation of blood flow signals will limit its application in clinical practice.

【Key words】 Ultrasonic cardiac output monitor Passive leg raising test Volume responsiveness Elderly Critically ill

液体复苏是重症患者临床治疗的重要手段,但血流动力学不稳定的患者对液体复苏有反应者仅 50%<sup>[1]</sup>,而老年脓毒症患者更低<sup>[2]</sup>,输入过多的液体往往会引起诸如心力衰竭、肺水肿等并发症,尤其是老年患者基础心功能差,这些并发症发生率会更高。故准确有效的液体反应性评估对于指导老年患者容量管理至关重要。被动抬腿试验(PLR)是近年来研究发现预测液体反应性更为有效的方法,与经典的补液试验相比,PLR 没有外源性补液,下肢恢复水平位后其前负荷增加效应即消失,故相对安全性较高。因其可重复性、床旁实施简单易行等优点,已成为预测容量反应性的研究热点,并得到广泛使用<sup>[2-6]</sup>。由于 PLR 导致的血流动力学变化时间较短,故需结合能够迅速测定每搏输出量(SV)、心排量(CO)等参数的方法。无创超声心排量监测(USCOM)为床旁血流动力学实时监测提供了一种新方法,近年来许多学者在危重患者救治中进行了 USCOM 联合 PLR 预测容量反应性的研究<sup>[7-9]</sup>,但针对老年危重患者液体反应性的研究较少。本研究旨在评估 USCOM 联合 PLR 在老年危重患者液体反应性中的预测价值,以期临床指导老年危重患者液体治疗。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

选择 2015 年 2 月至 2017 年 10 月入住本院 ICU 需要液体复苏的老年危重患者 56 例。纳入标准:(1)年龄 > 65 周岁;(2)至少存在一项下述组织灌注不足表现:①收缩压 < 90 mmHg 或较基础值下降 > 40 mmHg;②每小时尿量 < 0.5 ml/kg 持续 2h 以上;③心率(HR) > 100 次/min;④皮肤出现花斑;(3)临床医生决定给予液体治疗。排除标准:(1)明确主动脉瓣、肺动脉瓣疾病者;(2)升主动脉动脉瘤者;(3)任何原因致 PLR 禁忌者:骨盆或下肢骨折,穿弹力袜或深静脉血栓形成,严重颅脑创伤,腹腔内高压。本研究经过本院

伦理委员会审核批准,所有治疗均获得患者及家属的知情同意。

### 1.2 测试方法

具体步骤:(1)PLR 前:患者处于半卧位,床头抬高 45°,监测 2min。(2)PLR:患者改为仰卧位且将下肢抬高 45°,监测 2min。(3)容量负荷试验前:患者恢复体位至半卧位 5min。(4)容量负荷试验(VE):患者于半卧位,10min 内经深静脉快速补充 0.9%氯化钠溶液 250ml。整个研究过程中心血管药物、呼吸机参数、镇静药物等治疗不变。分别在 PLR 和 VE 前后应用 USCOM(澳大利亚 USCOM 有限公司,USCOM 1A)进行血流动力学监测(试验后指标在试验结束后 1min 内测得)。所有患者的 USCOM 测量均由同一位操作熟练的医师完成。超声探头置于胸骨上窝采集主动脉血流频谱或置于胸骨左缘 2~5 肋间采集肺动脉血流频谱,以获取最佳血流信号。获得 SV、CO、外周血管阻力(SVR)等血流动力学指标。每个步骤测量 3 次,取平均值。所有患者经中心静脉于呼气末测定中心静脉压(CVP),同时留置桡动脉导管持续监测有创动脉压测定平均动脉压(MAP)、HR 等指标。

### 1.3 容量反应性定义

容量反应性指补液试验后患者 CO 或 SV 较前增加,目前研究标准一般将扩容后  $\Delta SV \geq 10\% \sim 15\%$  作为界定值<sup>[2-3,10]</sup>。本研究将 VE 后 SV 增加值( $\Delta SV_{ve}$ )  $\geq 10\%$  定义为有容量反应性。将患者分为有反应组和无反应组。

### 1.4 统计学处理

采用 SPSS 22.0 统计软件。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较采用两独立样本  $t$  检验,自身比较采用配对  $t$  检验;计数资料组间比较采用  $\chi^2$  检验;双变量间相关分析采用 Pearson 相关;采用受试者工作特征曲线(ROC 曲线)分析 PLR 后 SV 增加值( $\Delta SVPLR$ )、CVP 增加值( $\Delta CVPPLR$ )预测容量反应性的灵敏度和特异度等诊断试验评价指标。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 有无容量反应组患者一般资料的比较 纳入的 56 例患者中 22 例患者因无法获得满意的血流信号 (Cattermole 评分 <5 分或获取信号时间超过 1min 或无法采集信号) 而终止试验。余下 34 例患者共进行容量负荷试验 42 例次, 其中 1 例患者重复 3 次, 6 例患者重复 2 次。每次相隔时间至少 24h。有反应组 16 例次 (38.1%), 无反应组 26 例次 (61.9%)。两组患者一般临床资料、初步诊断、急性生理与慢性健康评分 (APACHE II)、机械通气、血管活性药物、心律失常病例数等资料比较差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ ), 见表 1。

表 1 有无容量反应两组患者一般资料比较

项目	所有患者	有反应组	无反应组	P 值
年龄(岁)	77.4 ± 6.8	76.2 ± 6.0	78.2 ± 7.3	0.18
性别(例次)				
男	27	10	17	0.85
女	15	6	9	
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	31.5 ± 10.5	31.6 ± 11.2	30.8 ± 10.4	0.41
APACHE II 评分(分)	24.5 ± 6.2	23.4 ± 5.8	25.2 ± 6.4	0.18
机械通气[例次(%)]	28(66.7)	10(62.5)	18(69.2)	0.65
血管活性药物[例次(%)]	31(73.8)	11(68.7)	20(76.9)	0.56
心律失常[例次(%)]	12(28.6)	4(25.0)	8(30.8)	0.69
初步诊断例次(%)]				
脓毒症	26(61.9)	9(56.3)	17(65.4)	0.55
心力衰竭	3(7.1)	0(0)	3(11.5)	0.23
失血性休克	8(19.0)	6(37.5)	2(7.7)	0.02
其他	5(11.9)	1(6.3)	4(15.4)	0.37

2.2 PLR 和容量负荷试验对血流动力学指标的影响 PLR 前有无容量反应性两组患者血流动力学指标包括

HR、MAP、SV、CO、SVR、CVP 等比较差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ ); 当 VE 前恢复体位后, 两组患者血流动力学指标与 PLR 前比较差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ ); 与 PLR 前比较, 有反应组 PLR 及补液后 SV、CO 均明显增加 (均  $P < 0.01$ ), SVR 明显下降 ( $P < 0.01$ ), PLR 后 CVP 无明显变化 ( $P > 0.05$ ), 补液后 CVP 增加 ( $P < 0.05$ ); 无反应组 PLR 后 SV 有所增加 ( $P < 0.05$ ), 补液后 SV 无明显变化 ( $P > 0.05$ ), PLR 及补液后 CO、SVR 无明显变化 ( $P > 0.05$ ), CVP 均增加 (均  $P < 0.05$ ); 无论有无容量反应性, PLR 及补液前后两组 HR、MAP 无明显变化 ( $P > 0.05$ )。见表 2。

2.3 PLR 和容量负荷试验对两组患者  $\Delta$ SV 的影响 PLR 有反应组和无反应组  $\Delta$ SV 分别是 (18.2 ± 6.7)% 和 (3.8 ± 7.2)% ( $P < 0.01$ ); 容量负荷试验有反应组和无反应组  $\Delta$ SV 分别是 (17.9 ± 5.4)% 和 (1.7 ± 5.4)% ( $P < 0.01$ )。见图 1。

2.4 PLR 和容量负荷试验对 SV 影响的相关性分析 PLR 引起  $\Delta$ SV ( $\Delta$ SVPLR) 与容量负荷试验引起  $\Delta$ SV ( $\Delta$ SVVE) 呈正相关 ( $r = 0.656, P < 0.01$ )。见图 2。

2.5 ROC 曲线分析预测容量反应性 以  $\Delta$ SVPLR 预测容量反应性, AUCROC 为 0.954 (0.900~1.000); 以  $\Delta$ CVPPLR 预测容量反应性, AUCROC 为 0.555 (0.369~0.741)。以  $\Delta$ SVPLR  $\geq 8.8\%$  预测容量反应性其灵敏度为 0.938, 特异度为 0.808, 见图 3。

## 3 讨论

老年危重患者往往因存在基础心肺等脏器功能下降, 同时休克低灌注可导致心肌继发损伤, 液体复苏时容量空间小, 过度的液体复苏可导致心功能恶化, 增加

表 2 PLR 及容量负荷试验引起两组患者血流动力学指标变化比较

组别	指标	步骤 1	步骤 2	P 值	步骤 3	P 值	步骤 4	P 值
有反应组	HR(次/min)	90.5 ± 19.2	89.8 ± 17.5	0.36	90.8 ± 18.2	0.68	90.2 ± 16.7	0.78
	MAP(mmHg)	78.2 ± 17.4	78.6 ± 15.8	0.63	77.8 ± 16.5	0.65	79.0 ± 14.9	0.52
	SV(ml)	59.1 ± 15.3	69.3 ± 15.7	0.00	59.3 ± 15.5	0.81	69.6 ± 17.5	0.00
	CO(L/min)	5.3 ± 1.5	6.2 ± 1.6	0.00	5.4 ± 1.6	0.51	6.2 ± 1.5	0.00
	SVR(d.s.cm <sup>-5</sup> )	1029.6 ± 301.3	870.3 ± 213.3	0.00	1025.8 ± 328.8	0.88	858.2 ± 215.6	0.00
	CVP(mmHg)	12.0 ± 5.0	13.2 ± 4.2	0.08	12.1 ± 4.7	0.87	13.8 ± 5.0	0.03
无反应组	HR(次/min)	89.2 ± 20.6	88.3 ± 19.1	0.16	89.4 ± 19.6	0.81	87.4 ± 16.8	0.13
	MAP(mmHg)	75.2 ± 15.4	76.0 ± 14.3	0.36	75.5 ± 14.6	0.69	76.6 ± 13.7	0.16
	SV(ml)	57.2 ± 14.2	59.2 ± 14.6	0.01	57.4 ± 14.4	0.55	58.2 ± 15.1	0.10
	CO(L/min)	5.1 ± 1.5	5.2 ± 1.5	0.14	5.1 ± 1.5	0.51	5.0 ± 1.4	0.85
	SVR(d.s.cm <sup>-5</sup> )	1043.0 ± 352.8	997.8 ± 296.2	0.07	1043.1 ± 375.4	0.99	1028.1 ± 297.4	0.63
	CVP(mmHg)	13.3 ± 4.5	14.7 ± 4.5	0.01	13.7 ± 4.0	0.39	15.2 ± 4.5	0.02

注: P 值分别为步骤 2、步骤 3、步骤 4 与步骤 1 比较

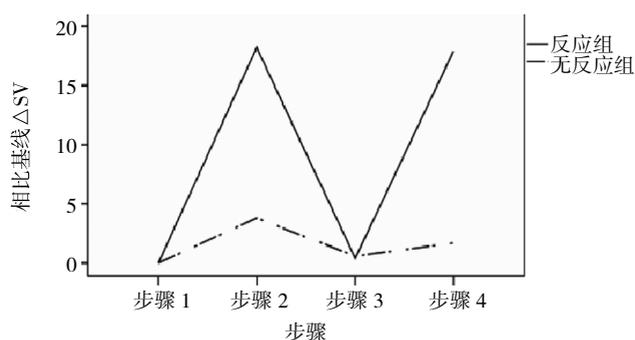
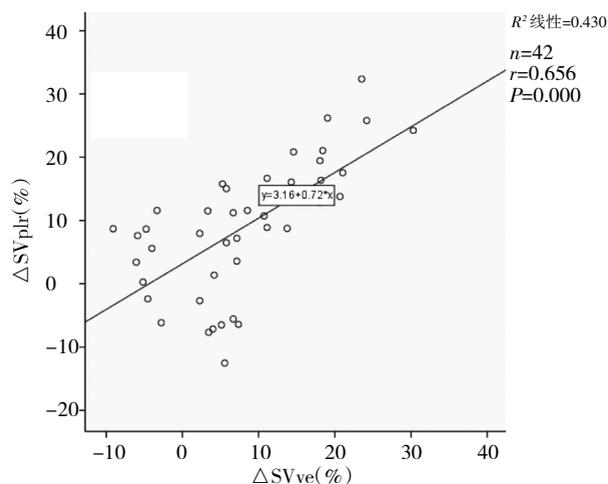
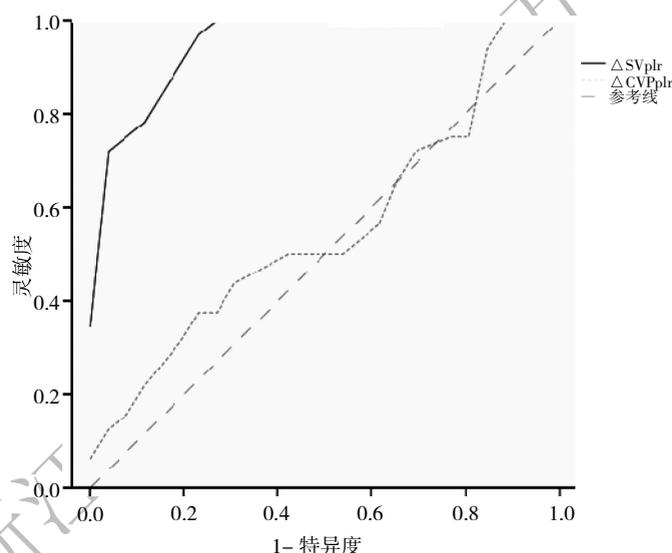


图 1 SV 在试验步骤中变化情况



注:  $\Delta SV_{plr}$ : 被动抬腿试验引起每搏量变化,  $\Delta SV_{ve}$ : 容量负荷试验引起每搏量变化

图 2  $\Delta SV_{PLR}$  与  $\Delta SV_{VE}$  的散点图图 3  $\Delta SV_{PLR}$  与  $\Delta CVP_{PLR}$  预测容量反应性的 ROC 曲线

肺水肿风险。因此,准确有效评估老年危重患者液体反应性,优化血流动力学管理至关重要。目前常规监护指标如 HR、MAP 或传统的静态前负荷压力指标如 CVP、

肺动脉楔压(PAWP)在评估患者容量负荷方面被认为是不可靠的<sup>[1]</sup>,正如本研究中 ROC 曲线分析所示,  $\Delta CVP$  同样不能有效预测容量反应性。而基于心肺交互作用的动态指标如每搏量变异度(SVV)、脉压变异度(PPV)等在患者存在自主呼吸及心律失常时难以有效预测容量反应性,应用范围较窄。

PLR 被认为是自身液体治疗,能够提高回心血流量,增加前负荷,且 PLR 适用范围广,甚至在自主呼吸触发及心律失常患者中同样有良好的液体治疗预测价值<sup>[11]</sup>,同时没有外源性补液,双腿放回水平位后补液效应逆转,本研究结果当步骤 3 恢复体位后,患者血流动力学指标与 PLR 前比较差异无统计学意义,再次印证 PLR 是一种可逆性自体液体复苏,本研究结果显示最后入组患者有容量反应者仅 38%,提示对于液体治疗反应差的老年患者,PLR 具有独特安全优势。

因 PLR 诱导的血流动力学变化时间一般短暂,宜在 30~90s 内即时测定<sup>[3]</sup>,故需结合能够迅速测定 CO、SV 等参数的测定方法。USCOM 是床旁血流动力学实时监测的一种新方法,采用连续多普勒超声技术监测升主动脉或肺动脉血流速度,并根据患者身高体重估算主动脉瓣或肺动脉瓣截面积,两者乘积即 SV。既往的多项研究证实,与其他有创或无创监测方法比较,USCOM 所测得的 CO、SV 具有相关性<sup>[12-15]</sup>。近年国内许多研究特别是针对老年患者将 VE 后  $\Delta SV \geq 10\%$  定义为有容量反应性,以此为截断值预测容量反应性同样有较高的灵敏度和特异度<sup>[2,16]</sup>。本研究将 VE 后 SV 增加值( $\Delta SV_{ve}$ )  $\geq 10\%$  定义为有容量反应性,结果显示,  $\Delta SV_{PLR}$  和  $\Delta SV_{ve}$  有相关性( $r=0.656$ ),以  $\Delta SV_{PLR}$  预测容量反应性,其 AUCROC 为 0.954 (0.900~1.000),以  $\Delta SV_{PLR} \geq 8.8\%$  预测容量反应性其灵敏度为 0.938,特异度为 0.808,提示 USCOM 联合被动抬腿试验能够预测自主呼吸老年危重患者容量反应性。

USCOM 作为一个简便无创的心输出量监测工具,其有效性和准确性受到质疑<sup>[17]</sup>。Chong 等<sup>[13]</sup>进行 Meta 分析显示 USCOM 心输出量测定失败率约 5%~24%,而 Huang 等<sup>[18]</sup>在老年麻醉患者中发现超过 60 岁患者中甚至有近半数无法获得可接受的血流信号,同时他们指出当 Cattermole 评分  $< 5$  分或获取信号时间超过 1min 时测量结果均不可靠。本研究中 56 例患者纳入试验后其中 22 例因无法获得满意的血流信号而终止,故其在老年危重患者运用时真实有效性和可靠性值得怀疑。笔者认为原因与 USCOM 的自身缺点和老年患者临床特点相关:(1)作为一项无创超声技术,受到操作者因

素影响大,即使按照声像评分标准评估,其结论仍依赖于检查者水平,在低 CO 和老年患者中误差较大<sup>[9]</sup>。有研究发现在新生儿患者中 USCOM “使用者间变异率”较大<sup>[9]</sup>,故本研究均由同一位操作熟练的医师完成测量工作以排除“使用者间变异率”影响。有研究指出经过 20 次测量训练,医生即可通过 USCOM 获取可靠 CO 结果<sup>[20]</sup>,但在我们看来这是远远不够的。(2)USCOM 准确性依赖于速度时间积分(VTI)和瓣膜截面积(CSA),截面积计算基于内置公式,其真实情况未知,可导致结果误差,但截面积恒定,估测心输出量前后变化率时不应受影响。(3)波普勒波束与血流方向夹角趋向于 0°时测量结果最准确,当探头位置与血流方向产生夹角时可导致数据误差,使 USCOM 倾向于低估 SV。同时肺组织、脂肪、骨骼等均可影响多普勒信号采集,肺气肿等慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者有时难以获取有效肺动脉信号,而随年龄增长胸骨逐渐上抬致胸骨上窝探头放置路径受阻,纵隔内脂肪组织增多、大动脉钙化等干扰超声信号因素在老年患者中愈加明显,特别是颈短、气管切开或明显呼吸窘迫患者常常难以获得满意信号,限制了其临床应用。

本研究存在下述缺点:(1)研究纳入的样本数量偏少;(2)研究中较多病例因无法获取有效血流信号而排除,可能影响试验结论准确性;(3)本研究缺乏有创血流动力学监测工具作为对照;(4)本研究未对患者休克或补液原因进行分组观察,病因不同往往导致患者容量反应性差异,有待于在今后研究中进一步观察。

综上所述,USCOM 作为一项无创、便携的心输出量监测工具,当能够获取良好多普勒血流信号时,USCOM 联合被动抬腿试验测量 $\Delta$ SV 可用于预测老年危重患者容量反应性,用以临床指导老年危重患者液体治疗,值得在临床实践中推广。但同时其自身缺陷及血流信号采集及判读的诸多影响因素必将限制其在临床实践中的应用。

#### 4 参考文献

- [1] Monnet X, Teboul JL. Volume responsiveness[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2007, 13(5):549-553. DOI: 10.1097/MCC.0b013e3282ec68b2.
- [2] 童洪杰,胡才宝,严静,等.无创心排监测技术引导被动抬腿试验对老年脓毒症患者液体反应性的预测价值[J]. *中华内科杂志*, 2015, 54(2): 130-133. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2015.02.010.
- [3] Monnet X, Teboul JL. Passive leg raising[J]. *Intensive Care Med*, 2008, 34(4):659-663. DOI: 10.1007/s00134-008-0994-y.
- [4] Jabot J, Teboul JL, Richard C, et al. Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: importance of the postural change[J]. *Intensive Care Med*, 2009, 35(1):85-90. DOI: 10.1007/s00134-008-1293-3.
- [5] 董绉筠,方强.被动直腿抬高试验在严重脓毒症患者容量判断中的作用[J]. *中华急诊医学杂志*, 2012, 21(4):361-365. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2012.04.007.
- [6] Preau S, Saulnier F, Dewavrin F, et al. passive leg raising is predictive of fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with severe sepsis or acute pancreatitis[J]. *Crit Care Med*, 2010, 38(3):819-825. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181c8fe7a.
- [7] Thiel SW, Kollef MH, Isakow W. Non-invasive stroke volume measurement and passive leg raising predict volume responsiveness in medical ICU patients: an observational cohort study[J]. *Crit Care*, 2009, 13:R111. DOI:10.1186/cc7955.
- [8] 武宇辉,刘晓红,何颜霞,等.无创心排量监测技术联合被动抬腿试验预测脓毒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*, 2014, 26(1):46-50. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.01.010.
- [9] 王洪亮,刘海涛,于凯江.被动抬腿试验联合无创心排量监测系统预测容量反应性的临床研究[J]. *中国危重病急救医学*, 2011, 23(3):146-149. DOI:10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2011.03.007.
- [10] Monnet X, Rienzo M, Osman D, et al. Passive leg raising predicts fluid responsiveness in the critically ill[J]. *Crit Care Med*, 2006, 34(5):1402-1407. DOI: 10.1097/01.CCM.0000215453.11735.06.
- [11] 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: https://doi.org/10.1007/s00134-007-0646-7.
- [12] Chong SW, Peyton PJ. A meta-analysis of the accuracy and precision of the ultrasonic cardiac output monitor (USCOM) [J]. *Anaesthesia*, 2012, 67(11):1266-1271. DOI:10.1111/j.1365-2044.2012.07311.x.
- [13] Horster S, Stemmler HJ, Sparrer J, et al. Mechanical ventilation with positive end-expiratory pressure in critically ill patients: comparison of CW-Doppler ultrasound cardiac output monitoring (USCOM) and thermodilution (PICCO) [J]. *Acta Cardiol*, 2012, 67(2):177-185. DOI:10.1080/AC.67.2.2154208.
- [14] Phillips R, Lichtenthal P, Sloniger J, et al. Noninvasive cardiac output measurement in heart failure subjects on circulatory support [J]. *Anesth Analg*, 2009, 108(3):881-886. DOI:10.1213/ane.0b013e318193174b.
- [15] Elgendy A, Seppelt IM, Lane AS. Comparison of continuous-wave Doppler ultrasound monitor and echocardiography to assess cardiac output in intensive care patients [J]. *Crit Care Resusc*, 2017, 19(3):222-229. PMID: 28866972.
- [16] 卢年芳,郑瑞强,林华,等.脉搏灌注变异指数评价感染性休克患者容量状态的前瞻性临床研究[J]. *中华危重病急救医学*, 2015, 27(1):17-21. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.01.005.
- [17] Huang L, Critchley LA. Accuracy and precision of the USCOM: does a meta-analysis provide the answer? [J]. *Anaesthesia*, 2013, 68(4):431-432. DOI:10.1111/anae.12199.
- [18] Huang L, Critchley LA. Study to determine the repeatability of

(下转第 2117 页)