

· 论著 ·

超声测量上腔静脉血流评估机械通气患者容量反应性

郭喆 何伟 侯静 李彤 周华 许媛 席修明

【摘要】目的 探讨经胸壁多普勒超声测量上腔静脉流速随呼吸变异度对机械通气患者容量反应性的评估作用。**方法** 采用前瞻性队列研究方法,选择 2011 年 4 月至 2013 年 4 月收治于首都医科大学附属北京同仁医院重症医学科接受机械通气、并存在组织灌注不足的重症患者。于 30 min 内静脉输注林格液 500 mL 进行容量负荷试验,按扩容前脉压差变异度(PPV)将患者分为有反应组(PPV \geq 13%)和无反应组(PPV $<$ 13%)。测量扩容前后同一呼吸周期中上腔静脉流速(A、S、D 峰)最大值及最小值,计算其变异度(ΔA 、 ΔS 、 ΔD),并绘制受试者工作特征曲线(ROC 曲线),评估上腔静脉流速对容量反应的价值。**结果** 共 27 例患者入选,有反应组 14 例,无反应组 13 例。有反应组患者扩容后上腔静脉 A、S、D 峰流速(cm/s)较扩容前明显增快(A 峰:34.6 \pm 2.2 比 31.3 \pm 2.1, $t=-2.493$, $P=0.027$; S 峰:39.1 \pm 1.3 比 35.3 \pm 2.1, $t=-2.564$, $P=0.024$; D 峰:28.1 \pm 1.2 比 23.3 \pm 1.4, $t=-4.995$, $P=0.000$);而扩容后 ΔA 、 ΔS 、 ΔD 无明显变化。 ΔA 、 ΔS 、 ΔD 与 PPV 呈正相关($r_1=0.040$, $P_1=0.854$; $r_2=0.350$, $P_2=0.074$; $r_3=0.749$, $P_3=0.000$)。S 峰的 ROC 曲线下面积(AUC)0.36[95%可信区间(95%CI)0.11~0.52], ΔS 的 AUC 达 0.68 (95%CI 0.47~0.89);D 峰的 AUC 0.41 (95%CI 0.19~0.63), ΔD 的 AUC 高达 0.95 (95%CI 为 0.86~1.00),说明上腔静脉峰流速随呼吸变异度预测容量反应的准确性优于单纯峰流速。以 $\Delta S \geq 20.7\%$ 为截点, 敏感度为 78.6%, 特异度为 61.5%; 以 $\Delta D \geq 12.7\%$ 为截点, 敏感度为 92.0%, 特异度为 92.3%。**结论** 经胸壁多普勒超声测量上腔静脉峰流速随呼吸变异度可用于机械通气患者容量反应性的评估。

【关键词】 机械通气; 容量反应性; 上腔静脉流速; 经胸壁多普勒超声

The assessment of ultrasonic measurement of superior vena cava blood flow for the volume responsiveness of patients with mechanical ventilation Guo Zhe, He Wei, Hou Jing, Li Tong, Zhou Hua, Xu Yuan, Xi Xiuming. Department of Critical Care Medicine, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China Corresponding author: Xu Yuan, Email: xuyuan@trhos.com

【Abstract】 Objective To approach the evaluative effect of respiratory variation of superior vena cava peak flow velocity measured using transthoracic echocardiography (TTE) on fluid responsiveness in patients with mechanical ventilation. **Methods** A prospective cohort study was conducted. All mechanical ventilated critically ill patients whose fluid therapy was planned due to hypovolemia in Department of Critical Care Medicine of Beijing Tongren Hospital of Capital Medical University from April 2011 to April 2013 were enrolled. Volume expansion was performed with 500 mL Linger solution within 30 minutes. Patients were classified as responders if pulse pressure variation (PPV) increased \geq 13% before volume expansion. The respiratory variation in superior vena cava peak velocity was calculated as the difference between maximum and minimum values of velocity in peak A, peak S and peak D over a single respiratory circle, and their variations (ΔA , ΔS , ΔD) were also calculated. The receiver operating characteristic curve (ROC curve) was plotted to assess the evaluative effect of respiratory variation of superior vena cava peak velocity on fluid responsiveness. **Results** Twenty-seven patients were enrolled in this study. Volume expansion increased PPV \geq 13% happened in 14 patients (responders). The velocity of superior vena cava in peak A, peak S, peak D was significantly increased after volume expansion compared with that before volume expansion in responders [peak A (cm/s): 34.6 \pm 2.2 vs. 31.3 \pm 2.1, $t=-2.493$, $P=0.027$; peak S (cm/s): 39.1 \pm 1.3 vs. 35.3 \pm 2.1, $t=-2.564$, $P=0.024$; peak D (cm/s): 28.1 \pm 1.2 vs. 23.3 \pm 1.4, $t=-4.995$, $P=0.000$], but there was no significant difference in ΔA , ΔS and ΔD between before and after volume expansion. The ΔA , ΔS and ΔD were positively correlated with PPV ($r=0.040$, $P=0.854$; $r=0.350$, $P=0.074$; $r=0.749$, $P=0.000$). The area under ROC curve (AUC) of peak S was 0.36 [95% confidence interval (95%CI): 0.11~0.52], but the AUC of ΔS was 0.68 (95%CI 0.47~0.89), the AUC of peak D was 0.41 (95%CI 0.19~0.63), but the AUC of ΔD was 0.95 (95%CI 0.86~1.00), so the aberration rate of superior vena cava in respiration was better than the flow rate in superior vena cava. When the cut-off value of ΔS was 20.7% for predicting fluid responsiveness, the sensitivity was 78.6% and the specificity was 61.5%. When the cut-off value of ΔD was 12.7% for predicting fluid responsiveness, the sensitivity was 92.0% and the specificity was 92.3%. **Conclusion** Respiratory variations in superior vena cava peak velocity measured by TTE could assess fluid responsiveness in patients with mechanical ventilation.

【Key words】 Mechanical ventilation; Volume responsiveness; Velocity of superior vena cava; Transthoracic echocardiography

低血压是重症患者常见的临床表现之一,持续低灌注状态会引起多器官不可逆的损害,甚至威胁生命。根据 Frank-Starling 定律,只有当心功能处于 Starling 曲线的上升支,增加前负荷才会使心排血量(CO)明显增加^[1],仅 40%~72%的危重症患者在扩容时 CO 明显增高^[2-5]。应用超声技术动态评估患者前负荷状态备受关注^[6-8]。上腔静脉血流阻力小,位置相对固定,受体位及心脏运动影响小,其测量的可重复性高于其他静脉^[9],可以用于评估患者容量负荷。但以往的研究仅限于对其流速形态及特点的探讨^[10]。本试验探讨机械通气患者采用经胸壁多普勒超声测量呼吸周期中上腔静脉流速与脉压差变异度(PPV)的相关性,评价其预测容量反应的准确性。

1 资料与方法

1.1 研究对象:采用前瞻性队列研究方法,选择 2011 年 4 月至 2013 年 4 月收治于北京同仁医院重症医学科的患者。本研究所遵循的程序符合医学伦理学标准,并得到医院伦理委员会的批准同意,受试对象或家属均知情同意。

1.1.1 入选标准:① 年龄>18 岁。② 行机械通气治疗(潮气量 ≥ 7 mL/kg)。③ 存在组织灌注不足:收缩压<90 mmHg(或高血压患者血压下降>40 mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa),或者需要血管活性药物(多巴胺 > 5 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 或去甲肾上腺素);尿量 < 0.5 mL $\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,持续 ≥ 2 h;心率(HR)>100 次/min。④ 持续动脉压监测者。

1.1.2 排除和剔除标准:排除超声检查上腔静脉显示不清者;既往有重度三尖瓣关闭不全或者引起重度肺动脉高压及心功能不全的原发性疾病,如慢性阻塞性肺疾病(COPD)和心肌纤维化、心肌病、心包积液等心功能不全者;严重心房颤动、房室传导阻滞等心律失常者;活动性失血者;上腔静脉回流障碍者。剔除中途退出研究者。

1.2 研究方法:患者取仰卧位,控制通气,持续监测动脉压,计算 PPV,测量平静状态下的上腔静脉流速;之后,30 min 内经静脉输入林格液 500 mL,复测 PPV 及上腔静脉流速。

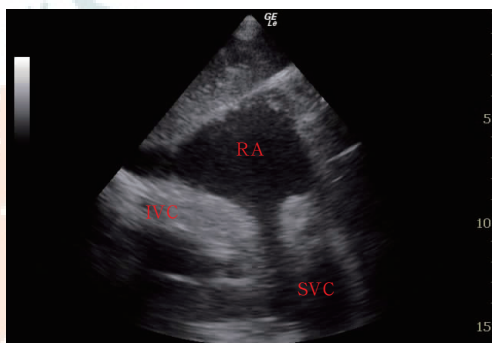
1.2.1 PPV:持续进行动脉测压,连续记录 3 个呼吸周期中脉压差的变化,选取同一呼吸周期中脉压差的最大值(PPmax)和最小值(PPmin)计算 PPV。根据 Michard 等^[2]的研究结果,将扩容前 PPV $\geq 13\%$ 定义为有反应,PPV<13%定义为无反应。

脉压差=收缩压-舒张压

$\text{PPV}(\%) = (\text{PPmax} - \text{PPmin}) / [(\text{PPmax} + \text{PPmin}) / 2] \times 100\%$

1.2.2 上腔静脉流速的测量:上腔静脉、下腔静脉形成“人”字形结构共同汇入右心房(图 1)。上腔静脉流速有 3 个波峰(图 2),包括右心房收缩、血液逆流形成的 A 峰;静脉回流入右心房形成的 S 峰;心室舒张期三尖瓣开放、右房压力进一步降低致静脉回流形成的 D 峰。患者取仰卧位,将探头置于剑突下(3.5 MHz,测量深度 16~18 cm),调整取样线角度,尽量缩小其与上腔静脉管径的角度,以上腔静脉距右心房 1 cm 处为取样部位,测量呼吸周期中 A 峰、S 峰、D 峰的最大值(Vmax)及最小值(Vmin),并计算各流速变异度(ΔV)。

$$\Delta V = (V_{\text{max}} - V_{\text{min}}) / [(V_{\text{max}} + V_{\text{min}}) / 2]$$



注:RA 为右心房,IVC 为下腔静脉,SVC 为上腔静脉
图 1 经胸壁多普勒超声剑突下测量机械通气患者上腔静脉流速

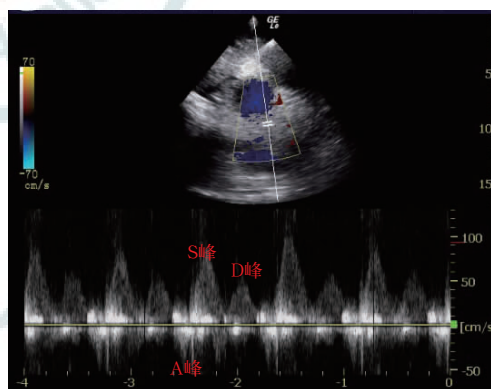


图 2 经胸壁多普勒超声剑突下测量机械通气患者上腔静脉流速

1.3 统计学方法:应用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析。对参数先进行正态性检验及方差齐性检验,呈正态分布的数据以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,用配对 t 检验比较两组扩容前后的变化;呈非正态分布的数据以中位数(四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示,用两配对样本的秩和检验进行比较。用一元线性相关分析对各参数与 PPV 的相关性进行评价;描述各参数的受试者工作特征曲线(ROC 曲线),计算曲线下面积(AUC)获得其准确性评价,并找到各参数的截点。 $P < 0.05$ 表明差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组基线资料比较(表 1):共入选 27 例患者,其中男性 13 例,女性 14 例;年龄 39~92 岁;诊断为颅内病变 7 例,结、直肠癌 5 例,失血性休克 4 例,下咽部癌 4 例,肺癌 3 例,热射病 2 例,听神经瘤 1 例,溺水 1 例。容量有反应组 14 例,无反应组 13 例。两组患者年龄、体质量指数(BMI)、急性生理学与慢性健康状况评分系统 II (APACHE II) 评分、体温、机械通气支持条件等比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$),说明两组资料均衡,具有可比性。

2.2 两组扩容前后血流动力学参数比较(表 2):有反应组扩容后平均动脉压(MAP)及 PPV 均较扩容

前明显降低($P<0.05$ 和 $P<0.01$),而 HR 仅轻度降低($P>0.05$);无反应组各血流动力学参数均无明显变化(均 $P>0.05$)。

2.3 两组扩容前后上腔静脉流速比较(表 3):有反应组患者扩容后上腔静脉 A、S、D 峰流速较扩容前明显增快($P<0.05$ 或 $P<0.01$),而各峰流速变异度无明显变化;无反应组扩容前后各峰流速及其变异度差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。

2.4 相关性分析(图 3;表 4):S 峰、D 峰与 PPV 均呈负相关 ($P=0.001, P=0.112$), ΔA 、 ΔS 、 ΔD 与 PPV 变化一致($P=0.854, P=0.074, P=0.000$),即随着容量增加,S 峰流速增快, D 峰随 PPV 减小。

表 1 脉压差变异度预测容量有无反应两组机械通气患者一般生命体征及机械通气支持条件的比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数(例)	年龄(岁)	BMI(kg/m ²)	APACHE II(分)	体温(°C)	潮气量(mL)	PEEP(cmH ₂ O)	RR(次/min)
全体患者	27	68.07 ± 16.85	21.93 ± 2.68	21.30 ± 10.08	36.79 ± 0.81	8.87 ± 2.03	5.52 ± 1.48	16.41 ± 5.15
有反应组	14	72.07 ± 4.62	21.09 ± 0.88	20.29 ± 2.55	36.82 ± 0.15	9.04 ± 0.59	5.57 ± 0.50	15.71 ± 1.27
无反应组	13	63.77 ± 4.41	22.84 ± 1.10	22.38 ± 3.03	36.76 ± 0.29	8.69 ± 0.53	5.46 ± 0.27	17.15 ± 1.56
t 值		1.296	-1.250	-0.533	0.187	0.472	0.190	-0.720
P 值		0.207	0.223	0.599	0.853	0.669	0.851	0.478

注: BMI 为体质量指数, APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分系统 II, PEEP 为呼气末正压, RR 为呼吸频率; 1 cmH₂O=0.098 kPa

表 2 脉压差变异度(PPV)预测容量有无反应两组机械通气患者扩容前后血流动力学参数变化($\bar{x} \pm s$)

组别	例数(例)	HR(次/min)				MAP(mmHg)				PPV(%)			
		扩容前	扩容后	t 值	P 值	扩容前	扩容后	t 值	P 值	扩容前	扩容后	t 值	P 值
有反应组	14	106 ± 6	103 ± 7	1.103	0.290	84 ± 3	92 ± 4	-2.479	0.028	19.9 ± 1.6	8.5 ± 1.2	7.554	0.000
无反应组	13	97 ± 7	89 ± 6	1.169	0.265	91 ± 4	89 ± 5	0.605	0.557	6.0 ± 0.9	4.5 ± 0.9	1.716	0.112

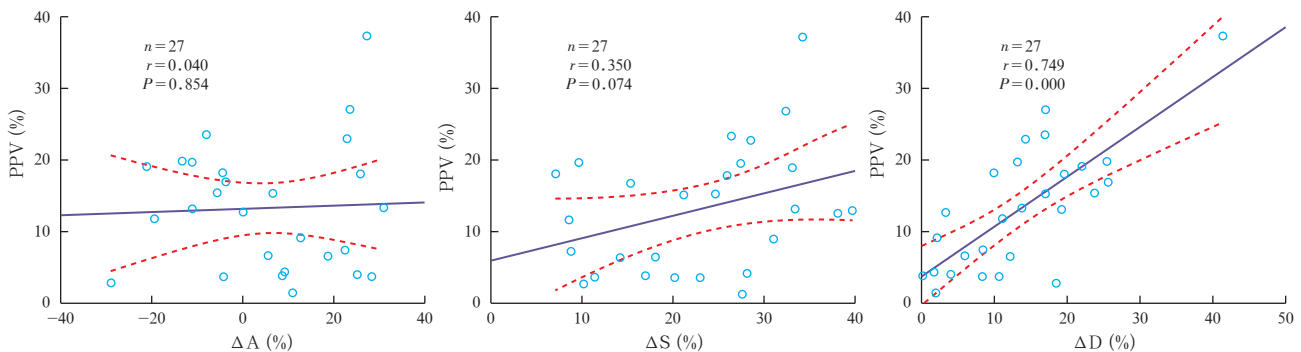
注: HR 为心率, MAP 为平均动脉压; 1 mmHg=0.133 kPa

表 3 脉压差变异度预测容量有无反应两组机械通气患者扩容前后经胸壁多普勒超声测量上腔静脉流速的变化

组别	例数(例)	A 峰流速(cm/s, $\bar{x} \pm s$)				S 峰流速(cm/s, $\bar{x} \pm s$)				D 峰流速(cm/s, $\bar{x} \pm s$)			
		扩容前	扩容后	t 值	P 值	扩容前	扩容后	t 值	P 值	扩容前	扩容后	t 值	P 值
有反应组	14	31.3 ± 2.1	34.6 ± 2.2	-2.493	0.027	35.3 ± 2.1	39.1 ± 1.3	-2.564	0.024	23.3 ± 1.4	28.1 ± 1.2	-4.955	0.000
无反应组	13	26.4 ± 2.0	28.7 ± 2.7	-1.585	0.139	42.7 ± 2.0	47.5 ± 1.8	-2.002	0.068	27.3 ± 1.2	28.3 ± 1.7	-0.873	0.399

组别	例数(例)	ΔA [% , $\bar{x} \pm s$ 或 $M(Q_1, Q_3)$]				ΔS [% , $\bar{x} \pm s$]				ΔD [% , $\bar{x} \pm s$]			
		扩容前	扩容后	t/Z 值	P 值	扩容前	扩容后	t 值	P 值	扩容前	扩容后	t 值	P 值
有反应组	14	6.8 ± 4.8	7.2 ± 4.5	-0.138	0.892	25.7 ± 2.5	24.8 ± 3.9	0.163	0.873	19.9 ± 2.1	14.5 ± 2.7	1.619	0.129
无反应组	13	9.2(-2.1, 20.5)	12.5(-7.1, 20.4)	-0.105	0.917	19.7 ± 2.6	18.1 ± 2.8	0.402	0.659	9.3 ± 2.8	6.8 ± 1.5	0.883	0.394

注: ΔA 、 ΔS 、 ΔD 分别为上腔静脉 A、S、D 峰流速在呼吸周期中的变异度



注: ΔA 、 ΔS 、 ΔD 分别为上腔静脉 A、S、D 峰流速在呼吸周期中的变异度, PPV 为脉压差变异度

图 3 机械通气患者经胸壁多普勒超声测量上腔静脉 ΔA 、 ΔS 、 ΔD 与 PPV 的相关性

表 4 机械通气患者经胸壁多普勒超声测量上腔静脉各峰流速及其变异度与 PPV 的相关性

指标	r 值	P 值	指标	r 值	P 值
A 峰与 PPV	0.312	0.113	ΔA 与 PPV	0.040	0.854
S 峰与 PPV	-0.581	0.001	ΔS 与 PPV	0.350	0.074
D 峰与 PPV	-0.313	0.112	ΔD 与 PPV	0.749	0.000

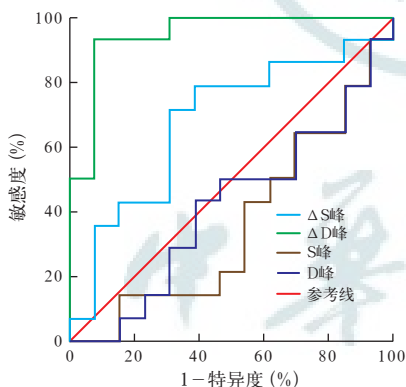
注:PPV 为脉压差变异度,ΔA、ΔS、ΔD 分别为上腔静脉 A、S、D 峰流速在呼吸周期中的变异度

2.5 上腔静脉峰流速预测容量反应(表 5;图 4): ΔS、ΔD 的 AUC 大于相应 S 峰、D 峰的 AUC,且 ΔS、ΔD 的 AUC 远大于其他测量值,说明上腔静脉峰流速随呼吸变异度预测容量反应的准确性优于单纯峰流速。且 ΔD 是用于预测容量反应性较好的指标,而 ΔA 未体现出预测容量反应的优势。

表 5 经胸壁多普勒超声测量上腔静脉峰流速预测机械通气患者容量反应的价值

指标	截断点	AUC	95%CI	敏感度(%)	特异度(%)
A 峰(cm/s)	27.7	0.78	0.54 ~ 0.92	78.6	53.8
S 峰(cm/s)	33.4	0.36	0.11 ~ 0.52	35.7	15.4
D 峰(cm/s)	23.3	0.41	0.19 ~ 0.63	50.0	53.8
ΔA(%)	2.8	0.44	0.21 ~ 0.63	42.9	30.8
ΔS(%)	20.7	0.68	0.47 ~ 0.89	78.6	61.5
ΔD(%)	12.7	0.95	0.86 ~ 1.00	92.0	92.3

注:ΔA、ΔS、ΔD 分别为上腔静脉 A、S、D 峰流速在呼吸周期中的变异度,AUC 为受试者工作特征曲线下面积,95%CI 为 95%可信区间



注:ROC 曲线为受试者工作特征曲线,ΔS、ΔD 为上腔静脉 S、D 峰流速在呼吸周期中的变异度

图 4 经胸壁多普勒超声检测上腔静脉 S、D 峰流速及其变异度预测机械通气患者容量反应性的 ROC 曲线

3 讨论

对于前负荷的评估包括压力指标和容量指标。中心静脉压(CVP)作为压力指标的代表,被纳入到许多国家的主流临床指导液体复苏指南中。但近年来的研究却发现,CVP 仅在正常值范围内与脉搏指示连续心排血量(PiCCO)具有相关性,并不适用于

重症患者的容量评估^[11]。利用肺动脉漂浮导管进行容量监测在临床上得到了较多的应用,但长期留置导管会造成严重心律失常,发生导管相关性感染等并发症^[12]。相关研究还发现,对于国际公认的“金标准”——肺动脉漂浮导管而言,医务人员对其操作以及数据的解读不准确也会造成评估的差异^[13]。

有学者提出应用“功能性血流动力学参数”来评价机体当前的和储备的血流动力学状况^[14]。王洪亮等^[15]研究发现:被动抬腿试验前后每搏量随呼吸变异度(ΔSV)可预测自主呼吸患者的容量反应性。而 PPV 作为最容易获得的参数也被应用于临床^[16],其预测价值甚至高于 ΔSV^[17]。动脉压受心脏每搏量(SV)、有效循环血量等因素的影响。机械通气患者胸腔内压周期性改变对肺血管牵张程度、静脉回流及左室顺应性产生影响,使左室每搏量(LVSV)发生周期性变化^[18]。处于 Starling 曲线上升支的患者,由机械通气引起心室前负荷变化对 SV 的影响远高于平台期患者^[19-20]。Michard 等^[2]研究发现:扩容前 PPV 与扩容前后心排血指数(CI)变化率呈正相关($r^2=0.85$),PPV > 13%预测容量反应的敏感度为 94%,特异度为 96%,其 AUC 为 0.98 ± 0.03 ,远高于肺动脉楔压(PAWP)、CVP 等指标。所以,PPV 可作为机械通气患者可靠的容量预测指标。

多普勒超声因其便携、无创的特点被引入到容量评估的方法中。吴敬医等^[21]以 PiCCO 监测指标作为参照标准发现,经胸壁多普勒超声测量下腔静脉塌陷指数(dIVC)预测容量反应性的 AUC 为 0.887,SV、CO、CI 与 PiCCO 测量结果呈显著正相关;还有认为多普勒超声方法可替代有创漂浮导管进行容量评估^[22]。上腔静脉回流至右心房,其流速受到右心房与上腔静脉压力差及血流阻力的影响^[23-24]。

由于上腔静脉具有内径宽、管壁薄的特点,故血流阻力对流速的影响小。同时,上腔静脉走行于胸腔,跨壁压不受腹内压的影响,所以与下腔静脉相比,其测量数据稳定性更高,应用范围也更广^[25]。

一项应用下肢密闭装置逐级增加负压以改变其容量负荷并测量相应的上腔静脉流速的研究发现:随着前负荷的减少,上腔静脉 A、S、D 峰流速均显著降低^[26]。本试验通过测定上腔静脉流速来评估右心室前负荷。根据 Frank-Starling 定律,有反应组患者处于 Starling 曲线的上升支,扩容后 CO 明显增加,静脉回流亦明显增加,差异具有统计学意义。

本研究还发现:有反应组患者扩容后上腔静脉随呼吸的变异度较扩容前减小。上腔静脉血流的源

动力主要在于心脏舒缩引起的右房压周期性的变化,上腔静脉血流速度及方向是由上腔静脉与右心房的瞬时压差决定的,压差大则血流速快,反之则流速慢,压差为负则出现离心方向的血流^[27]。对于前负荷不足的有反应组患者,扩容前呼吸周期中胸腔压力的变化引起的右房压以及左心室后负荷的改变程度增大,根据 Poiseuille 定律,上腔静脉流速变异度会增加;反之则降低。本研究中,上腔静脉流速随呼吸的变异度对容量预测的准确性高于单纯流速对容量的预测,因为上腔静脉随呼吸的变异度作为一种功能性血流动力学参数,排除了血管顺应性、血流黏滞阻力及心室顺应性的影响。但本研究中两组扩容前后上腔静脉流速的变异度均无差异,可能因素有:①样本量少;②正压通气使右房压升高,影响静脉回流;③有反应组患者心率过快使心室充盈受限、右房压升高^[28]。A 峰有峰值小、时限短的特点,测量时易出现误差,在包括本研究在内的试验中得出的结论差别较大,且多不具备统计学意义^[24,29]。

本研究存在一定的局限性:首先,本研究的样本量少。其次, Kluckow 和 Evans^[30]的研究发现,休克早期首先表现为肾、胃肠等腹腔器官的灌注不足,而上腔静脉血流速主要反映包括大脑在内的上半身血液回流状况,不能对全身器官的静脉回流进行测量。另外,本试验未选用热稀释法测量 CI 作为参考指标。

综上所述,经胸壁多普勒超声测量上腔静脉峰流速随呼吸变异度作为一种无创检测手段,可用于机械通气患者容量反应性的评估。

参考文献

- [1] 齐志伟,王仲,梁璐,等.全心舒张末容量作为判定心脏前负荷指标在犬失血性休克模型中的研究[J].中国急救医学,2006,26(5):360-362.
- [2] Michard F, Boussat S, Chemla D, et al. Relation between respiratory changes in arterial pulse pressure and fluid responsiveness in septic patients with acute circulatory failure [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000, 162(1): 134-138.
- [3] Feissel M, Michard F, Mangin I, et al. Respiratory changes in aortic blood velocity as an indicator of fluid responsiveness in ventilated patients with septic shock [J]. *Chest*, 2001, 119(3): 867-873.
- [4] 杨万杰,冯庆国,魏凯,等.早期限制性液体正平衡策略对严重创伤患者预后的影响[J].中华危重病急救医学,2013,25(1):36-39.
- [5] 陈齐红,郑瑞强,林华,等.不同液体管理策略对感染性休克患者病死率的影响[J].中国危重病急救医学,2011,23(3):142-145.
- [6] Funk DJ, Moretti EW, Gan TJ. Minimally invasive cardiac output monitoring in the perioperative setting [J]. *Anesth Analg*, 2009, 108(3): 887-897.
- [7] Gunn SR, Fink MP, Wallace B. Equipment review: the success of early goal-directed therapy for septic shock prompts evaluation of current approaches for monitoring the adequacy of resuscitation [J]. *Crit Care*, 2005, 9(4): 349-359.
- [8] 贾洪艳,武子霞,赵春玲. B 型脑钠肽联合 Tei 指数评估慢性阻塞性肺疾病患者的右心功能 [J]. *中华危重病急救医学*, 2013, 25(8): 495-496.
- [9] Ghio S, Recusani F, Sebastiani R, et al. Doppler velocimetry in superior vena cava provides useful information on the right circulatory function in patients with congestive heart failure [J]. *Echocardiography*, 2001, 18(6): 469-477.
- [10] 贾化平,段云友,曹铁生,等.右心功能衰竭患者上腔静脉频谱呼吸性变化特点研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2006, 15(5): 350-353.
- [11] 王助衡,张静,李玉伟,等.严重脓毒症液体复苏中全心舒张期末容积指数与中心静脉压的相关性研究 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2013, 20(4): 248-249.
- [12] Gómez CM, Palazzo MG. Pulmonary artery catheterization in anaesthesia and intensive care [J]. *Br J Anaesth*, 1998, 81(6): 945-956.
- [13] Sandham JD, Hull RD, Brant RF, et al. A randomized, controlled trial of the use of pulmonary-artery catheters in high-risk surgical patients [J]. *N Engl J Med*, 2003, 348(1): 5-14.
- [14] 祁慧,顾勤,刘宁,等.平均动脉压对脓毒性休克液体反应性的预测价值 [J]. *中华危重病急救医学*, 2013, 25(1): 32-35.
- [15] 王洪亮,刘海涛,于凯江.被动抬腿试验联合微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.
- [16] 蒋宗明,吴秀娟,仲俊峰,等.每搏出量变异和脉搏压变异用于感染性休克患者容量治疗反应的评价 [J]. *医学研究杂志*, 2012, 41(12): 153-155.
- [17] 黄磊,张卫星,蔡文训,等.被动抬腿试验预测严重感染和感染性休克患者的容量反应性 [J]. *中国危重病急救医学*, 2011, 23(3): 154-157.
- [18] Michard F. Changes in arterial pressure during mechanical ventilation [J]. *Anesthesiology*, 2005, 103(2): 419-428.
- [19] Guyton AC, Hall JE. *Textbook of Medical Physiology* [M]. 8th ed. Philadelphia: Saunders (W. B) Co., Ltd., 1991: 221-233.
- [20] Magder S. The cardiovascular management of the critically ill patients [M]. *Physiology: Cardiovascular*, 1997: 28-35.
- [21] 吴敬医,张霞,王箴,等.超声心动图评价感染性休克患者液体反应性的临床研究 [J]. *中华危重病急救医学*, 2014, 26(1): 36-40.
- [22] 褚铭肄,李春盛,安向光.超声心排量监测仪与连续温度稀释法测量心排血量和心排血指数的比较研究 [J]. *中国危重病急救医学*, 2009, 21(6): 367-368.
- [23] 陈勇,许迪,孔祥清,等.健康成人上腔静脉血流频谱特点的观察 [J]. *实用临床医药杂志*, 2008, 12(12): 19-21, 33.
- [24] 孙丹丹,陈洪茂,段云友,等.健康新西兰兔上腔静脉的二维超声及多普勒血流频谱分析 [J]. *中国医学影像技术*, 2011, 27(1): 8-11.
- [25] Shujaat A, Bajwa AA. Optimization of preload in severe sepsis and septic shock [J]. *Crit Care Res Pract*, 2012, 2012: 761051.
- [26] Liu J, Cao TS, Yuan LJ, et al. Comparison of tricuspid inflow and superior vena caval Doppler velocities in acute simulated hypovolemia: new non-invasive indices for evaluating right ventricular preloa [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2006, 4: 23.
- [27] 张赛丹,周小雄,余国龙.肺动脉高压上腔静脉多普勒血流频谱特点 [J]. *中南大学学报(医学版)*, 2009, 34(6): 543-549.
- [28] 吕发勤,段云友,曹铁生,等.正常成人上腔静脉多普勒血流频谱分析 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2001, 10(8): 470-472.
- [29] Ghio S, Klersy C, Magrini G, et al. Prognostic relevance of the echocardiographic assessment of right ventricular function in patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension [J]. *Int J Cardiol*, 2010, 140(3): 272-278.
- [30] Kluckow M, Evans N. Superior vena cava flow in newborn infants: a novel marker of systemic blood flow [J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2000, 82(3): F182-187.

(收稿日期:2014-06-30)

(本文编辑:李银平)