

· 临床研究 ·

呼气末正压抬高期间肱动脉峰流速差值对患者术中容量反应性的预测作用

瞿敏 刘天琳 姚忠岩 李婧 杨强 王娟 刘明远 闫宁

【摘要】 目的 评估呼气末正压(PEEP)抬高期间肱动脉峰流速差值对患者术中容量反应性的预测作用。方法 择期全麻下行胃肠手术患者 67 例,男 45 例,女 22 例,年龄 40~72 岁,BMI 18~25 kg/m²,ASA I 或 II 级,心功能 I 或 II 级。麻醉诱导后所有患者均先后进行 PEEP 抬高试验和容量负荷试验。将扩容后每搏量增加 $\geq 15\%$ 的患者纳入有反应组(R 组, $n = 35$),扩容后每搏量增加 $< 15\%$ 的患者纳入无反应组(NR 组, $n = 32$)。分别在 PEEP 抬高前、PEEP 抬高时记录 HR、MAP、中心静脉压(CVP)、每搏量(SV),同时超声测量肱动脉峰流速记录肱动脉峰流速最大值($V_{p_{max}}$)、肱动脉峰流速最小值($V_{p_{min}}$)、肱动脉峰流速变异度(ΔV_p),计算上述指标的差值(Δ)。采用受试者工作特征曲线(ROC 曲线)评估 $\Delta V_{p_{min}}$ 、 $\Delta \Delta V_p$ 预测容量反应性的效能。结果 PEEP 抬高期间 R 组 $\Delta V_{p_{min}}$ 、 $\Delta \Delta V_p$ 明显高于 NR 组($P < 0.05$)。 $\Delta V_{p_{min}}$ 、 $\Delta \Delta V_p$ 预测容量反应性的 ROC 曲线下面积(AUC)分别为 0.887(95%CI 0.808~0.965)和 0.817(95%CI 0.710~0.924)。讨论 PEEP 抬高期间肱动脉峰流速差值可有效预测术中容量反应性,其中 $\Delta V_{p_{min}}$ 有较好的预测作用。

【关键词】 呼气末正压;超声测量;容量反应性;肱动脉峰流速

Predictive effect of brachial artery peak velocity difference during positive end-expiratory pressure elevation on intraoperative fluid responsiveness QU Min, LIU Tianlin, YAO Zhongyan, LI Jing, YANG Qiang, WANG Juan, LIU Mingyuan, YAN Ning. Department of Anesthesiology, Cangzhou Center Hospital, Cangzhou 061001, China

Corresponding author: QU Min, Email: quminhayida@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the predictive effect of peak brachial artery velocity difference during positive end-expiratory pressure (PEEP) elevation on intraoperative fluid responsiveness. **Methods** Sixty-seven patients, 45 males and 22 females, aged 40–72 years, with a BMI 18–25 kg/m², ASA physical status I or II, cardiac function grade I or II, underwent gastrointestinal surgery under selective general anesthesia. After induction of anesthesia, all patients underwent PEEP elevation test and volumetric load test. Patients with a stroke volume (SV) increase $\geq 15\%$ after volume expansion were included in the response group (group R, $n = 35$), and stroke volume increase $< 15\%$ after volume expansion were included in the non-response group (group NR, $n = 32$). HR, MAP, CVP and SV were recorded before and during PEEP elevation, meanwhile, the peak velocity of brachial artery was measured using ultrasound, the maximum value of brachial artery flow velocity ($V_{p_{max}}$), the minimum value of brachial artery flow velocity ($V_{p_{min}}$) and the variation of peak brachial flow velocity (ΔV_p) were recorded, the difference (Δ) of the above indicators was calculated. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the predictive value of $\Delta V_{p_{min}}$, $\Delta \Delta V_p$ for predicting fluid responsiveness. **Results** $\Delta V_{p_{min}}$ and $\Delta \Delta V_p$ in group R were significantly higher than those in group NR during the elevation of PEEP ($P < 0.05$). The area under curve (AUC) for predicting volume responsiveness by $\Delta V_{p_{min}}$ and $\Delta \Delta V_p$ was 0.887 (95%CI 0.808–0.965) and 0.817 (95%CI 0.710–0.924), respectively. **Conclusion** Peak flow velocity difference of brachial artery during PEEP elevation can effectively predict fluid responsiveness of patients during operation. Among them, $\Delta V_{p_{min}}$ has a better predictive effect.

【Key words】 Positive end-expiratory pressure; Ultrasonic measurement; Fluid responsiveness; Peak flow velocity of brachial artery

容量反应性是患者心脏对容量负荷后的反应,

术中容量反应性的准确评估是液体治疗的基础。研究表明,超声测量肱动脉峰流速($V_{peak-BA}$)可用于评估容量反应性^[1-3],具有方便、无创、易于掌握等优点。容量负荷实验是评估容量反应性的经典方法,但其存在肺水肿等容量负荷过重风险,临床

DOI:10.12089/jca.2020.08.005

作者单位:061001 河北省沧州市中心医院麻醉科(瞿敏、刘天琳、姚忠岩、杨强、王娟、刘明远、闫宁),超声科(李婧)

通信作者:瞿敏,Email: quminhayida@163.com

中需寻求其他更加科学的方法替代容量负荷试验来预测容量反应性。呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)抬高试验是利用心肺交互机制进行的逆向容量负荷试验,且操作简单、不额外增加液体负荷。本研究选择行机械通气的胃肠手术患者为研究对象,探讨 PEEP 抬高期间 $V_{p_{peak}}$ -BA 差值对其容量反应性预测的效能,为临床提供参考。

资料与方法

一般资料 本研究已通过本院医学伦理委员会批准(2017-015-01),与患者或家属均签署知情同意书。选择我院 2017 年 5 月至 2019 年 2 月择期在全麻下行开腹胃肠手术的患者,性别不限,年龄 40~72 岁, BMI 18~25 kg/m², ASA I 或 II 级。心功能 I 或 II 级。排除标准:心律失常、心内分流、外周血管疾病及长期口服血管活性药史;严重的颅内高压、肺动脉高压、慢性肺部疾病等 PEEP 应用禁忌证;气胸、胸腔积液等胸内压增高现象;心力衰竭、急性冠脉综合征、心源性休克和容量过负荷等补液试验禁忌证。

麻醉方法 所有患者均无术前用药,入室后建立静脉通路,静脉输注钠钾钙镁葡萄糖注射液 2 ml · kg⁻¹ · h⁻¹。监测 HR、BP、ECG、SpO₂, 采用 qCON2000 型麻醉深度监护仪监测 BIS。静脉注射盐酸戊乙奎醚 0.01~0.02 mg/kg、咪达唑仑 0.05 mg/kg、芬太尼 3 μg/kg、依托咪酯 0.15~0.3 mg/kg 及顺式阿曲库铵 0.2 mg/kg 行麻醉诱导,气管插管后连接麻醉机行机械通气, V_T 8~10 ml/kg, RR 8~15 次/分,氧流量 2 L/min,维持 P_{ET} CO₂ 35~40 mmHg, PEEP = 0。吸入 1.5%~3% 七氟醚,静脉输注瑞芬太尼 0.05~0.2 μg · kg⁻¹ · min⁻¹ 维持麻醉,维持 BIS 40~60。气管插管后,行左侧桡动脉穿刺置管,连接 FloTrac/Vigileo 监测仪,连续监测每搏量(SV)。同时经右侧颈内静脉穿刺置管,放置中心静脉导管监测中心静脉压(CVP),零点位置设置在右侧腋中线第 4 肋间水平处。

上述各项操作完毕,血流动力学平稳 10 min 后,在手术开始前依次行 PEEP 抬高试验与容量负荷试验。PEEP 抬高试验:在原有 PEEP 水平上增加 10 cmH₂O,维持 60 s(若试验中患者平均气道压 > 35 mmHg,或气道峰压 > 45 mmHg 则中断试验)。在 PEEP 抬高前、PEEP 抬高时依据文献 [3] 采用 SL1543 型超声探头(3~13 MHz),于右肘窝上 5 cm 处二维超声找到肱动脉后,采用脉冲多普勒测量血

流速度,取样框倾斜角度与血管走向一致,取样位置位于动脉血管中心,取样角度 < 60° (图 1)。记录呼气末肱动脉峰流速最大值(V_{p_{max}})与吸气末肱动脉峰流速最小值(V_{p_{min}}),取 3 个呼吸周期 3 次测量的平均值,计算肱动脉峰流速变异度(ΔV_p)。ΔV_p = (V_{p_{max}} - V_{p_{min}}) / [(V_{p_{max}} + V_{p_{min}}) / 2] × 100%。超声测量均由同一名经验丰富的超声科医师完成。恢复 PEEP 至原水平,10 min 后给予容量负荷试验,以 0.4 ml · kg⁻¹ · min⁻¹ 的速率静脉输注 6% 羟乙基淀粉 130/0.4 氯化钠注射液,输注量 7 ml/kg^[4]。根据扩容后 SV 增加是否 ≥ 15% 分为有反应组(R 组)和无反应组(NR 组)^[5-6]。



图 1 患者肱动脉峰流速彩超图

观察指标 分别在 PEEP 抬高前、PEEP 抬高时记录 HR、CVP、V_{p_{max}}、V_{p_{min}}、ΔV_p, 计算上述指标的差值(Δ):包括 HR 差值(ΔHR)、CVP 差值(ΔCVP)、肱动脉峰流速最大值差值(ΔV_{p_{max}})、肱动脉峰流速最小值差值(ΔV_{p_{min}})、肱动脉峰流速变异度差值(ΔΔV_p)。

统计分析 采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。正态分布计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用成组 *t* 检验。对有统计学差异的指标绘制受试者工作特征(ROC)曲线,计算曲线下面积(AUC),评价各指标对容量反应性的预测作用,最大约登指数法确定诊断界值。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

本研究共纳入 67 例患者,扩容后有 35 例患者出现 SV 增加 ≥ 15%(R 组),其余患者为 NR 组。两组患者性别、年龄、BMI、ASA 分级和心功能分级差异无统计学意义(表 1)。

PEEP 抬高期间 R 组 ΔV_{p_{min}}、ΔΔV_p 明显高于 NR 组(*P* < 0.05),两组 ΔHR、ΔCVP、ΔV_{p_{max}} 差异无统计学意义(表 2)。

表 1 两组患者一般情况的比较

组别	例数	男/女 (例)	年龄 (岁)	BMI (kg/m ²)	ASA I/ II 级(例)	心功能 I/ II 级(例)
R 组	35	23/12	57.4±11.2	21.5±2.5	13/22	11/24
NR 组	32	22/10	55.2±10.3	20.7±2.1	12/20	10/22

表 2 两组患者 PEEP 抬高期间血流动力学指标与超声测量指标的比较($\bar{x}\pm s$)

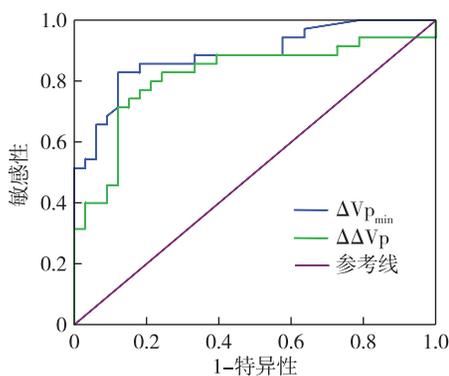
组别	例数	ΔHR (次/分)	ΔCVP (cmH ₂ O)	$\Delta V_{p_{max}}$ (cm/s)	$\Delta V_{p_{min}}$ (cm/s)	$\Delta \Delta V_p$ (%)
R 组	35	4.5±2.6	-9.2±1.7	8.3±1.9	12.6±4.7 ^a	11.5±3.4 ^a
NR 组	32	3.9±2.2	-10.7±2.1	7.7±1.8	8.5±1.4	7.1±1.5

注:与 NR 组比较,^a $P<0.05$

$\Delta V_{p_{min}}$ 和 $\Delta \Delta V_p$ 预测容量反应性的 AUC 分别为 0.887、0.817(表 3,图 2)。

表 3 $\Delta V_{p_{min}}$ 和 $\Delta \Delta V_p$ 对容量反应性的评估作用

指标	界值	敏感性 (%)	特异性 (%)	AUC	95%CI
$\Delta V_{p_{min}}$	11.3 cm/s	94.3	82.8	0.887	0.808~0.965
$\Delta \Delta V_p$	10.2%	85.7	78.8	0.817	0.710~0.924

图 2 $\Delta V_{p_{min}}$ 和 $\Delta \Delta V_p$ 预测术中容量反应性的 ROC 曲线

讨 论

液体治疗可增加患者前负荷,提高心输出量,改善循环稳定性,然而液体治疗仅有 50% 的患者出现容量反应性^[7],对于胃肠道手术患者过多的液体往往会引起胃肠道水肿,导致黏膜屏障受损,影响术后恢复。评估机体对液体治疗的反应性,进行适

当的液体治疗,可优化患者容量管理改善其预后^[8]。

Flotrac/Vigileo 心排量监测系统可有效评估重症监护室及术中患者的容量反应性^[9-10],且操作简单,适于术中应用^[11]。本研究采用该系统连续监测 SV 并将扩容后 SV 增加 $\geq 15\%$ 定义为容量反应阳性,这是依据文献^[4-5]报道选定的,而该截断值在临床上与经胸壁超声测得的 SV 显著升高有较好的相关性^[12]。本研究结果显示,有 35 例(52%)患者出现容量反应阳性,表明本研究纳入的患者具有一定的代表性。

有研究表明,肱动脉峰流速可反映左室 SV 变化,可对容量反应性进行有效评估^[13]。张宏民等^[14]研究表明,肱动脉峰流速结合被动抬腿试验(PLR)可对重症监护室患者的容量反应性进行有效预测,敏感性为 73%,特异性为 87%。但 PLR 作用时间短,受手术操作、体位等因素影响,而且行胃肠手术的部分患者(胃肠肿瘤等)存在腹内压增高现象,使下肢静脉回流阻力增高,导致 PLR 预测容量反应性的准确性下降^[15]。盛柳芳等^[16]表明,瓦式(Valsalva)动作过程中的肱动脉峰流速变化(ΔV_p)能有效预测自主呼吸患者的容量反应性,敏感性为 87%,特异性为 82%。然而瓦式动作不适合机械通气患者,而且需要对患者进行提前培训,临床应用不便。PEEP 抬高试验对于术中机械通气患者应用方便、安全、可重复,当 PEEP 抬高时,患者胸腔内压显著增加,引起静脉回流的减少,右心前负荷降低,同时跨肺压增加引起右心后负荷增加,引起右心室射血减少,继而左心排血减少,根据 Frank-Starling 机制,在前负荷依赖患者,其心排量最主要取决于静脉回流,PEEP 抬高时持续胸内压增加可引起 SV 及动脉流速的显著下降。对于非前负荷依赖患者,胸内压增加引起的上述效应减轻。因此 PEEP 抬高期间肱动脉峰流速差值可反映患者前负荷的变化,反映在本研究结果中表现为 PEEP 抬高期间有反应组 $\Delta V_{p_{min}}$ 、 $\Delta \Delta V_p$ 明显高于无反应组。

ROC 曲线是评估指标诊断效能的可靠方法,且 AUC 越大,说明指标诊断准确性愈高,AUC>0.7 说明指标诊断准确性良好^[17]。在评估指标对容量反应性的诊断价值方面,既往多个研究提示 ROC 曲线评估为有效方法^[18-19]。本研究通过容量负荷试验后 $\Delta SV \geq 15\%$ 作为判定容量反应性的金标准来绘制 ROC 曲线,采用最大约登指数来确定诊断界值,敏感性与特异性相对较高。本研究中 PEEP 抬高期

间 $\Delta V_{p_{\min}}$ 、 $\Delta\Delta V_p$ 的 AUC 均大于 0.7, 其中 $\Delta V_{p_{\min}} \geq 11.3 \text{ cm/s}$ 预测术中患者容量反应性的准确性较高, 敏感性 94.3%, 特异性 82.8%。

本研究有几点不足之处。一是本研究样本量较少, 这可能会对研究结果的有效性有一定影响, 研究结果尚需更大样本研究论证。二是本研究适用人群存在一定局限性, 不适合颅内高压、肺动脉高压、慢性肺部疾病等 PEEP 抬高试验禁忌的患者。

综上所述, PEEP 抬高期间肱动脉峰流速差值可有效预测术中患者容量反应性, 其中 $\Delta V_{p_{\min}}$ 有较好的预测作用。

参 考 文 献

- [1] 瞿敏, 于莉莉, 李婧, 等. 不同体位肱动脉峰流速差值对产妇产后腰麻后仰卧位低血压综合征的预测作用. 临床麻醉学杂志, 2018, 34(4): 345-347.
- [2] 姚忠岩, 刘问宾, 瞿敏, 等. 颈内静脉内径和肱动脉峰流速变异率预测患者容量反应性的比较. 中华麻醉学杂志, 2018, 38(2): 215-218.
- [3] Lu N, Xi X, Jiang L, et al. Exploring the best predictors of fluid responsiveness in patients with septic shock. *Am J Emerg Med*, 2017, 35(9): 1258-1261.
- [4] 邓小明, 姚尚龙, 于布为. 现代麻醉学. 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2014: 367-370.
- [5] Jalil B, Thompson P, Cavallazzi R, et al. Comparing changes in carotid flow time and stroke volume induced by passive leg raising. *Am J Med Sci*, 2018, 355(2): 168-173.
- [6] Montenij LJ, Sonneveld JP, Nierich AP, et al. Diagnostic accuracy of stroke volume variation measured with uncalibrated arterial waveform analysis for the prediction of fluid responsiveness in patients with impaired left ventricular function: a prospective, observational study. *J Clin Monit Comput*, 2016, 30(4): 481-486.
- [7] Teboul JL, Monnet X, Chemla D, et al. Arterial pulse pressure variation with mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(1): 22-31.
- [8] Zhang X, Zheng W, Chen C, et al. Goal-directed fluid therapy does not reduce postoperative ileus in gastrointestinal surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(45): e13097.
- [9] Krige A, Bland M, Fanshawe T. Fluid responsiveness prediction using Vigileo FloTrac measured cardiac output changes during passive leg raise test. *J Intensive Care*, 2016, 6(4): 63.
- [10] Vos JJ, Kalmar AF, Hendriks HGD, et al. The effect of fluid-resuscitation on the effective circulating volume in patients undergoing liver surgery: a post-hoc analysis of a randomized controlled trial. *J Clin Monit Comput*, 2018, 32(1): 73-80.
- [11] Zhao F, Wang P, Pei S, et al. Automated stroke volume and pulse pressure variations predict fluid responsiveness in mechanically ventilated patients with obstructive jaundice. *Int J Clin Exp Med*, 2015, 8(11): 20751-20759.
- [12] Cheng YW, Xu F, Li J. Identification of volume parameters monitored with a noninvasive ultrasonic cardiac output monitor for predicting fluid responsiveness in children after congenital heart disease surgery. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(39): e12289.
- [13] Yao B, Liu JY, Sun YB. Respiratory variation in peripheral arterial blood flow peak velocity to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiol*, 2018, 18(1): 168.
- [14] 张宏民, 刘大为, 王小亭, 等. 肱动脉峰流速结合被动抬腿试验判断容量反应性. 中华医学杂志, 2013, 93(3): 195-199.
- [15] Mahjoub Y, Touzeau J, Airapetian N, et al. The passive leg-raising maneuver cannot accurately predict fluid responsiveness in patients with intra-abdominal hypertension. *Crit Care Med*, 2010, 38(9): 1824-1829.
- [16] 盛柳芳, 严敏, 张冯江, 等. 肱动脉峰流速结合瓦式动作预测容量反应性的价值. 中华医学杂志, 2017, 97(6): 434-437.
- [17] Hajian-Tilaki K. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis for medical diagnostic test evaluation. *Caspian J Intern Med*, 2013, 4(2): 627-635.
- [18] 王晓颖, 张扬, 高巨, 等. 颈动脉峰值流速变异率评估腹腔镜手术患者容量反应性的价值. 临床麻醉学杂志, 2018, 34(2): 109-113.
- [19] 瞿敏, 刘天琳, 于丽丽, 等. 锁骨下静脉呼吸变异度对老年患者术中容量反应性的评估作用. 临床麻醉学杂志, 2019, 35(9): 866-869.

(收稿日期: 2019-08-26)