

呼气末二氧化碳分压评估被动抬腿试验预测脓毒性休克患者容量反应性的价值

刘艳 唐雯 肖东

新疆维吾尔自治区人民医院重症医学科,乌鲁木齐 830000

通信作者:肖东, Email: xd87654321@sina.com

【摘要】目的 探讨呼气末二氧化碳分压($P_{ET}CO_2$)联合被动抬腿试验(PLR)预测脓毒性休克患者容量反应性的价值。**方法** 选取2019年12月至2021年6月新疆维吾尔自治区人民医院重症医学科二科收治的43例脓毒性休克患者为研究对象,分别在PLR及容量负荷试验(VE)前后监测 $P_{ET}CO_2$ 、心排血指数(CI)、每搏量变异度(SVV)、平均动脉压(MAP)等血流动力学指标。以VE试验后CI变异率(ΔCI)分组, $\Delta CI \geq 15\%$ 为有反应组, $\Delta CI < 15\%$ 为无反应组。绘制受试者工作特征曲线(ROC曲线),分析PLR后 $P_{ET}CO_2$ 的变化值对容量反应性的评估价值。**结果** 43例患者中有反应组22例,占51.2%;无反应组21例,占48.8%。PLR试验后,有反应组MAP、SVV、CI及 $P_{ET}CO_2$ 的变化值均高于无反应组,差异均有统计学意义[MAP(mmHg): 3.8 ± 2.1 比 1.4 ± 2.0 ,SVV(%): -5.3 ± 2.5 比 2.7 ± 2.0 ,CI($mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$): 0.48 ± 0.13 比 0.14 ± 0.18 , $P_{ET}CO_2$ (mmHg): 3.4 ± 1.8 比 1.1 ± 1.0 ,均 $P < 0.05$,1 mmHg ≈ 0.133 kPa]。VE试验后有反应组HR、MAP、SVV、CI及 $P_{ET}CO_2$ 的变化值均高于无反应组[HR(次/min): -8.3 ± 2.8 比 -2.3 ± 3.7 ,MAP(mmHg): 3.8 ± 2.4 比 1.2 ± 1.7 ,SVV(%): -6.3 ± 3.1 比 -3.3 ± 2.0 ,CI($mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$): 0.51 ± 0.14 比 0.16 ± 0.12 , $P_{ET}CO_2$ (mmHg): 3.3 ± 1.2 比 1.3 ± 1.1 ,均 $P < 0.05$]。PLR试验前后 $P_{ET}CO_2$ 变化值($\Delta P_{ET}CO_{2,PLR}$)评估容量反应性的ROC曲线下面积(AUC)为0.881,当临界值为5.9%时,敏感度为76.7%,特异度为89.5%,正确指数为0.68;SVV基线评估容量反应性的AUC为0.835,当临界值为12.8%时,敏感度为84.6%,特异度为80.0%,正确指数为0.65。 $\Delta P_{ET}CO_2$ 预测价值并不低于SVV基线。**结论** PLR试验后, $P_{ET}CO_2$ 的变化值可以作为预测脓毒性休克患者容量反应性的无创、简便、安全的可靠指标。

【关键词】 呼气末二氧化碳分压; 被动抬腿试验; 脓毒性休克; 容量反应性

基金项目:新疆维吾尔自治区人民医院科技引进创新项目(20180302)

临床试验注册:中国临床试验注册中心,ChiCTR 2100054204

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20211130-01810

End-tidal carbon dioxide partial pressure to assess the value of passive leg-raising test in predicting volume responsiveness in patients with septic shock

Liu Yan, Tang Wen, Xiao Dong

Department of Critical Care Medicine, People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Corresponding author: Xiao Dong, Email: xd87654321@sina.com

【Abstract】 Objective To investigate the value of partial pressure of end-tidal carbon dioxide ($P_{ET}CO_2$) combined with passive leg raising test (PLR) in predicting volume responsiveness in patients with septic shock. **Methods** A total of 43 patients with septic shock admitted to the second department of critical care medicine, People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region from December 2019 to June 2021 were selected as the research subjects. $P_{ET}CO_2$, cardiac index (CI), stroke volume variation (SVV), mean arterial pressure (MAP) and other hemodynamic indexes were monitored before and after PLR and volume stress test (VE). Subjects were grouped according to the CI variation rate (ΔCI) after VE test. Patients with $\Delta CI \geq 15\%$ were the responding group, and patients with $\Delta CI < 15\%$ were the non-responding group. The receiver operator characteristic curve (ROC curve) was drawn to analyze the evaluation value of the change in $P_{ET}CO_2$ after PLR on the evaluation value of fluid responsiveness. **Results** Among the 43 patients, 22 cases were in the responding group, accounting for 51.2%; 21 cases were in the non-responding group, accounting for 48.8%. After the PLR test, the change values of MAP, SVV, CI and $P_{ET}CO_2$ in the responding group were higher than those in the non-responding group, and the differences were statistically significant [MAP (mmHg): 3.8 ± 2.1 vs. 1.4 ± 2.0 , SVV (%): -5.3 ± 2.5 vs. 2.7 ± 2.0 , CI ($mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$): 0.48 ± 0.13 vs. 0.14 ± 0.18 , $P_{ET}CO_2$ (mmHg): 3.4 ± 1.8 vs. 1.1 ± 1.0 , all $P < 0.05$, 1 mmHg ≈ 0.133 kPa]. After the VE test, the changes of HR, MAP, SVV, CI and $P_{ET}CO_2$ in the responding group were higher than those in the non-responding group [HR (times/min): -8.3 ± 2.8 vs. -2.3 ± 3.7 , MAP (mmHg): 3.8 ± 2.4 vs. 1.2 ± 1.7 , SVV (%): -6.3 ± 3.1 vs. -3.3 ± 2.0 , CI ($mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$): 0.51 ± 0.14 vs. 0.16 ± 0.12 , $P_{ET}CO_2$ (mmHg): 3.3 ± 1.2 vs. 1.3 ± 1.1 , all $P < 0.05$]. The area under the ROC curve (AUC) of the change in $P_{ET}CO_2$ before and after the PLR test ($\Delta P_{ET}CO_{2,PLR}$) for evaluating fluid responsiveness was 0.881. When the critical value was 5.9%, the sensitivity was 76.7%, the specificity was 89.5%, and the correct index was 0.68; the AUC for SVV baseline assessment of fluid responsiveness was 0.835, and when the cut-off value was 12.8%, the sensitivity was 84.6%,

the specificity was 80.0%, and the correct index was 0.65. The predictive value of $\Delta P_{ET}CO_2$ was not lower than the SVV baseline. **Conclusion** After the PLR test, the change of $P_{ET}CO_2$ can be used as a non-invasive, simple, safe and reliable indicator for predicting the volume responsiveness of patients with septic shock.

【Key words】 Partial pressure of end-tidal carbon dioxide; Passive leg raising test; Septic shock; Volume responsiveness

Fund program: Xinjiang Uygur Autonomous Region People's Hospital Science and Technology Introduction and Innovation Project (20180302)

Trial Registration: Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR 2100054204

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20211130-01810

脓毒性休克是急危重症医学面临的重要临床问题,休克的主要治疗方法是液体复苏,液体复苏的目的是通过调节血管容积和心脏前负荷来改善心排量(cardiac output, CO)和微血管灌注,在液体复苏之前,重要的是评估血管容量和液体反应性。《中国脓毒症/脓毒性休克急诊治疗指南(2018)》推荐意见:脓毒性休克患者的液体复苏应尽早开始;对脓毒症所致的低灌注,推荐在拟诊脓毒性休克起即开始液体复苏^[1]。但液体超负荷可能导致肺水肿和血液稀释,这有可能会减少氧气供应并增加机械通气时间、重症监护病房(intensive care unit, ICU)停留时间和病死率^[2]。因此,评估患者的容量状态及容量反应性至关重要。

研究表明评估患者是否对补液有反应的标准是测量补液前后 CO 或每搏量(stroke volume, SV)的变化。被动抬腿试验(passive leg raising, PLR)是一种经过验证的动态方法,可诱导心脏前负荷的瞬时增加并预测液体反应性,它可以避免向血管容积中增加额外的液体,并且几乎不受心律失常和自主呼吸的影响^[3],但它需要实时监测心排量指数(cardiac index, CI),对不能进行实时 CO 监测的 ICU 患者来说,需要一种简单、实用、无创的方法来评估 PLR 的容量反应性。有研究证实,当肺泡通气量和二氧化碳(carbon dioxide, CO_2)生成量保持恒定时,通过 CO_2 图获得的呼气末二氧化碳分压(partial pressure of end-tidal carbon dioxide, $P_{ET}CO_2$)和 CO 的变化密切相关^[4]。本研究旨在比较 PLR 测试中 $P_{ET}CO_2$ 与 CI 以及脓毒性休克患者补液试验之间的关系。通过这种方法判断 $P_{ET}CO_2$ 是否可以评估 PLR 对脓毒性休克患者的容量反应性。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象:选取 2019 年 12 月至 2021 年 6 月新疆维吾尔自治区人民医院重症医学二科收治的 43 例脓毒性休克患者为研究对象。

1.1.1 纳入标准:①年龄 ≥ 18 岁;②按照脓毒症 3.0 定义诊断脓毒性休克;③需气管插管机械通气;

④签署知情同意书。

1.1.2 排除标准:①存在补液试验禁忌证(心力衰竭、急性冠状动脉综合征、心源性休克和容量过负荷的证据)者;②存在股动脉置管禁忌证、抬腿禁忌证者;③年龄 < 18 岁、妊娠、患者或家属拒绝行脉搏指示连续心排量监测(pulse index continuous cardiac output, PiCCO)置管等治疗者。

1.1.3 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,经医院医学伦理委员会批准同意(审批号:KY2019011613),并在中国临床试验中心进行了临床注册(注册号:ChiCTR 2100054204),患者或家属对治疗知情同意。

1.2 研究方法

1.2.1 资料采集:从住院患者电子系统获取并记录所有研究对象的基线数据,包括性别、年龄,急性生理学与慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、潮气量(tidal volume, VT)、呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)、吸入氧浓度(fraction of inspired oxygen, FiO_2)、呼吸频率(respiratory rate, RR)、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、中心静脉压(central venous pressure, CVP)、心率、CI、SV、每搏量指数(stroke volume index, SVI)、每搏量变异度(stroke volume variation, SVV)、脉压差(pulse pressure, PP)、 $P_{ET}CO_2$ 等。

1.2.2 监测指标和方法:①颈内静脉或锁骨下静脉穿刺置入双腔静脉导管监测 CVP。②经股动脉置入 PiCCO 导管。采用脉搏曲线分析及动脉热稀释法监测 CO。③热稀释法操作步骤:自静脉导管快速(5 s 内)注入 4 °C 的生理盐水 15 mL, 3 次测量后取 3 次变异量 $< 10\%$ 的数值计算平均值,并记录数值。④试验中给予患者充分镇静,无自主呼吸,呼吸机设置为容量控制通气(controlled mechanical ventilation, CMV)模式, VT 6~8 mL/kg, 频率 12 次/min, PEEP 5 cmH₂O (1 cmH₂O \approx 0.089 kPa)。在试验过程中以上参数保持不变。⑤呼气末 CO_2 的条样管连接气管插管或气切套管和呼吸机 Y 型管路之间,进行持续监测(使用 MINDRAY 旁流型 $P_{ET}CO_2$ 监测模块与

MINDRAY T8 监护仪连接测量),记录 $P_{ET}CO_2$ 。⑥ 试验期间不调整镇静药物、血管活性药物及正性肌力药物剂量,保持其他治疗液体输注速率不变。

1.2.3 PLR 试验步骤(图 1):① 受试者禁食 2 h,取 45° 半卧位(病床角度显示器显示),并保持 2 min,用热稀释法测定并记录各项血流动力学参数作为基线。② 受试者平卧位,将双腿抬高 45°(由病床角度显示器显示),保持 2 min,热稀释法测定并记录参数。③ 取步骤 1 的体位,并保持 2 min。④ 保持步骤 1 体位,在 30 min 内快速输注乳酸钠林格液 500 mL,用热稀释法测定并记录参数。输液后 SVI 变异率(ΔSVI) $\geq 15\%$ 定义为液体反应阳性。

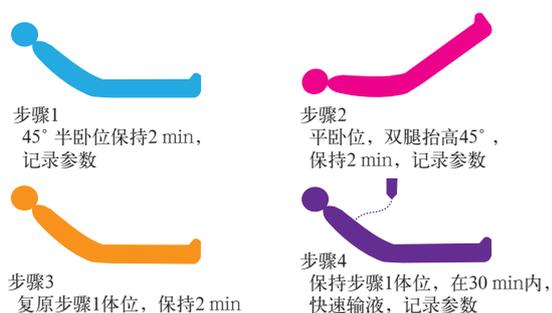


图 1 被动抬腿试验(PLR)操作流程

1.2.4 分组:以容量负荷试验(volume expansion, VE)后 CI 变异率(ΔCI)分组, $\Delta CI \geq 15\%$ 为有反应组, $\Delta CI < 15\%$ 为无反应组。

1.3 统计分析:使用 SPSS 21.0 统计软件包进行数据分析,符合正态分布的计量资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,治疗前后和组间比较采用 t 检验。用

受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线)分析各指标预测容量反应的准确性,以 ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC)和 95% 可信区间(95% confidence interval, 95%CI)表示。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般临床资料比较(表 1):43 例患者中有反应组 22 例,占 51.2%;无反应组 21 例,占 48.8%。两组患者性别、年龄、体质量指数(body mass index, BMI)、APACHE II 评分、VT、PEEP、 FiO_2 、血乳酸水平比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

2.2 PLR 和 VE 试验对两组患者血流动力学及 $P_{ET}CO_2$ 的影响(表 2):PLR 试验后,有反应组 MAP、SVV、CI、 $P_{ET}CO_2$ 变化值均高于无反应组,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。VE 试验后,有反应组 HR、MAP、SVV、CI、 $P_{ET}CO_2$ 变化值均高于无反应组,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。

2.3 各指标对容量反应性的预测价值(图 2;表 3):当 PLR 试验前后 CI 的变化值(ΔCI_{PLR})临界值为 11.3% 时,敏感度为 81.5%,特异度为 91.5%,正确指数为 0.73;当 PLR 试验前后 $P_{ET}CO_2$ 的变化值($\Delta P_{ET}CO_{2, PLR}$)临界值为 5.9% 时,敏感度为 76.7%,特异度为 89.5%,正确指数为 0.68。当 VE 试验前后 $P_{ET}CO_2$ 的变化值($\Delta P_{ET}CO_{2, VE}$)临界值为 5.5% 时,敏感度为 79.1%,特异度为 87.5%,正确指数为 0.67。当 SVV 基线临界值为 12.8% 时,敏感度为 84.6%,特异度为 80.0%,正确指数为 0.65。

表 1 脓毒性休克患者 PLR 后有容量反应性两组一般临床资料比较

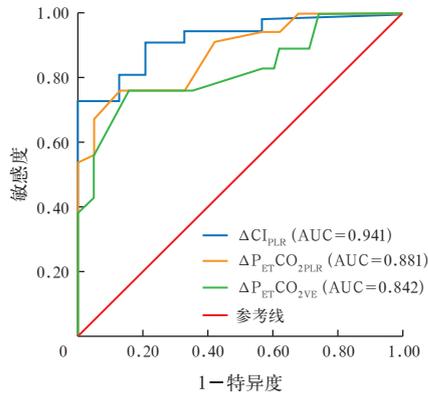
组别	例数 (例)	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	BMI ($kg/m^2, \bar{x} \pm s$)	APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	VT (mL, $\bar{x} \pm s$)	PEEP ($cmH_2O, \bar{x} \pm s$)	FiO_2	RR(次/min, $\bar{x} \pm s$)	血乳酸 ($mmol/L, \bar{x} \pm s$)
		男性	女性								
有反应组	22	14	8	58.4 \pm 10.2	23.3 \pm 2.4	11.4 \pm 6.7	542 \pm 78	5 \pm 0	0.40 \pm 0.04	14 \pm 1	4.82 \pm 2.58
无反应组	21	13	8	60.4 \pm 11.9	22.9 \pm 3.7	11.9 \pm 4.5	565 \pm 61	5 \pm 0	0.40 \pm 0.04	15 \pm 1	4.69 \pm 2.67

注:PLR 为被动抬腿试验, BMI 为体质量指数, APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II, VT 为潮气量, PEEP 为呼气末正压, FiO_2 为吸入氧浓度, RR 为呼吸频率; 1 $cmH_2O \approx 0.089$ kPa

表 2 PLR 和 VE 试验对两组脓毒性休克患者血流动力学及 $P_{ET}CO_2$ 的影响($\bar{x} \pm s$)

试验	有反应组						无反应组						
	HR (次/min)	MAP (mmHg)	CVP (mmHg)	SVV (%)	CI ($mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)	$P_{ET}CO_2$ (mmHg)	HR (次/min)	MAP (mmHg)	CVP (mmHg)	SVV (%)	CI ($mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)	$P_{ET}CO_2$ (mmHg)	
PLR 试验	试验前	107.4 \pm 5.9	80.1 \pm 8.5	8.2 \pm 2.8	15.7 \pm 4.1 ^a	2.83 \pm 0.57	36.4 \pm 3.5	105.7 \pm 6.7	81.3 \pm 7.9	9.4 \pm 3.1	10.9 \pm 5.1	2.95 \pm 0.66	37.5 \pm 3.8
	试验后	101.4 \pm 5.7	83.9 \pm 6.7	9.5 \pm 3.1	10.4 \pm 3.1 ^a	3.31 \pm 0.62	39.8 \pm 4.0	102.1 \pm 6.8	82.7 \pm 8.1	11.9 \pm 3.3	8.2 \pm 2.7	3.12 \pm 0.57	38.6 \pm 4.5
	差值	-3.0 \pm 3.8	3.8 \pm 2.1 ^a	1.3 \pm 0.8 ^a	-5.3 \pm 2.5 ^a	0.48 \pm 0.13 ^a	3.4 \pm 1.8 ^a	-3.6 \pm 5.0	1.4 \pm 2.0	2.5 \pm 0.7	2.7 \pm 2.0	0.14 \pm 0.18	1.1 \pm 1.0
VE 试验	试验前	106.9 \pm 5.7	80.1 \pm 8.7	8.1 \pm 3.7	15.8 \pm 3.9 ^a	2.85 \pm 0.63	36.5 \pm 3.3	105.4 \pm 5.9	81.6 \pm 6.8	9.5 \pm 3.9	10.8 \pm 4.1	2.99 \pm 0.71	37.4 \pm 3.1
	试验后	98.6 \pm 3.7 ^a	83.9 \pm 9.1	9.8 \pm 2.9 ^a	9.5 \pm 3.6 ^a	3.36 \pm 0.60	39.8 \pm 3.1	103.1 \pm 5.2	82.8 \pm 9.4	13.5 \pm 4.2	7.5 \pm 2.7	3.15 \pm 0.64	38.7 \pm 4.8
	差值	-8.3 \pm 2.8 ^a	3.8 \pm 2.4 ^a	1.7 \pm 1.2 ^a	-6.3 \pm 3.1 ^a	0.51 \pm 0.14 ^a	3.3 \pm 1.2 ^a	-2.3 \pm 3.7	1.2 \pm 1.7	4.0 \pm 2.1	-3.3 \pm 2.0	0.16 \pm 0.12	1.3 \pm 1.1

注:PLR 为被动抬腿试验, VE 为容量负荷试验, $P_{ET}CO_2$ 为呼气末二氧化碳分压, HR 为心率, MAP 为平均动脉压, CVP 为中心静脉压, SVV 为每搏量变异度, CI 为心排血量指数; 与无反应组比较, ^a $P < 0.05$; 1 mmHg ≈ 0.133 kPa



注: ROC 曲线为受试者工作特征曲线, ΔCI_{PLR} 为被动抬腿试验 (PLR) 前后心排血指数 (CI) 的变化值, $\Delta P_{ET}CO_{2,PLR}$ 为 PLR 试验前后呼气末二氧化碳分压 ($P_{ET}CO_2$) 的变化值, $\Delta P_{ET}CO_{2,VE}$ 为容量负荷试验前后 $P_{ET}CO_2$ 的变化值, AUC 为 ROC 曲线下面积

图 2 各指标预测脓毒性休克患者容量反应性的 ROC 曲线

表 3 各指标对脓毒性休克患者容量反应性的预测价值

指标	AUC	95%CI	临界值	敏感度 (%)	特异度 (%)	正确指数
ΔCI_{PLR}	0.941	0.870 ~ 1.000	11.3	81.5	91.5	0.73
$\Delta P_{ET}CO_{2,PLR}$	0.881	0.771 ~ 0.985	5.9	76.7	89.5	0.68
$\Delta P_{ET}CO_{2,VE}$	0.842	0.717 ~ 0.968	5.5	79.1	87.5	0.67
SVV 基线	0.835	0.708 ~ 0.962	12.8	84.6	80.0	0.65

注: ΔCI_{PLR} 为被动抬腿试验 (PLR) 前后心排血指数 (CI) 的变化值, $\Delta P_{ET}CO_{2,PLR}$ 为 PLR 试验前后呼气末二氧化碳分压 ($P_{ET}CO_2$) 的变化值, $\Delta P_{ET}CO_{2,VE}$ 为容量负荷试验前后 $P_{ET}CO_2$ 的变化值, SVV 为每搏量变异度, AUC 为受试者工作特征曲线 (ROC) 下面积, 95%CI 为 95% 可信区间

3 讨论

循环不稳定是休克患者的典型临床特征。补液治疗是首要治疗,目标是使血容量与心功能相匹配,使心脏处于最佳工作状态^[5]。不同的患者有不同的容量状态。测试前负荷反应的最简单方法是给予液体并观察其产生的效果。对于液体反应性评估除了静态指标 (如 CVP) 外,一些动态指标如脉压变化、SV 变化、下腔静脉变化、PLR 试验和 Mini 补液试验也常用^[6]。脉压变化和 SV 变化都源于肺和心脏之间的相互作用^[7]。当监测这些动态指标时,患者不应有自主呼吸或心律失常。一些因素如腹内压、呼吸强度和图像质量等对下腔静脉变异度均有影响,因此,评估液体反应性对于控制血流动力学稳定至关重要^[8]。而且液体不足和液体过负荷都影响患者的预后及生存率,因此需要对重症患者的血管内容量以及容量反应性进行正确评估。

PLR 是一种简单可靠的预测液体反应性的测试方法,不受自主呼吸的影响。此外,由于 PLR 后 CO 的平均变化是在几次心跳中测量的,因此它不应受心律失常的影响。PLR 是通过监测 PLR 前后 SV 或

其替代指标 (如主动脉血流峰值、PP 等) 的变化来预测机体的容量反应性^[9]。PLR 模拟了机体自身液体推注。PLR 前的基线体位为半卧位 45°,然后将患者上身放平,被动抬高患者双下肢 45°持续 1 min 以上,受重力影响,一定量的血液从下肢和腹腔室转移到中央循环,这决定了前负荷的增加,如果心脏对前负荷有反应,则反过来增加 CO。移动患者从半卧位至仰卧位,并使其双腿抬高 45°,如果心室功能位于 Frank-Starling 曲线的陡峭部分,则被动抬腿会增加前负荷并改善 CO。因此,需要直接测量 CO 以评估对 PLR 操作的反应,因为替代测量值 (例如血压和脉压) 是不可靠的。为了评估最大效果,必须在操作开始后 30 ~ 90 s 内记录对 PLR 的 CO 反应性。PLR 作为一种可逆性的 VE,能简便、快速、安全、可靠地测定容量反应性,近年来已广泛应用于临床研究中,通过观察 PLR 期间 CI、SV、PP 等指标的动态变化来评估脓毒性休克患者是否可从液体复苏中获益。但是在实际操作过程中,监测 CI 和 SV 等指标需要如 PiCCO、肺动脉漂浮导管、经食道或经胸心脏超声等技术和设备^[10],上述技术和设备因有一点点的创伤性、费用高以及对操作者的技能水平要求高等因素,限制了其应用^[11-12]。PLR 操作会导致静脉血从下肢和腹腔向心脏短暂转移,增加左右心脏前负荷。许多研究表明 PLR 后 CO 的变化是预测液体反应性的可靠和准确方法。在 PLR 期间,必须测量 CO 变化,当无直接可用的 CO 测量设备时,可以通过获取 $P_{ET}CO_2$ 变化来无创地实现。本研究表明,PLR 引起的 CO 变化是显著的。

研究发现心肺复苏 (cardiopulmonary resuscitation, CPR) 时 $P_{ET}CO_2$ 升高是预后改善的预测因素之一,心跳、呼吸骤停, $P_{ET}CO_2$ 急剧降低至零,复苏后逐渐回升^[13]。因此,在休克时建议使用 $P_{ET}CO_2$ 作为无创性监测手段持续评估心功能。目前 $P_{ET}CO_2$ 监测因其无创性、操作方便、价格低廉,已广泛应用于早期全麻术后气管插管患者的容量反应性评估^[14]。有研究表明,在肺泡通气量和 CO_2 生成量恒定的情况下, $P_{ET}CO_2$ 的变化可评估 CI 变化^[4]。肺血流量、 CO_2 代谢产生和肺泡通气 3 个因素可以解释 $P_{ET}CO_2$ 的变化^[15]。补液可以增加静脉回流和肺血流量,更多的 CO_2 输送到肺部并通过肺泡通气清除;其次,液体增加进一步改善了塌陷的肺毛细血管,通气/灌注比降低,死腔减少,从而使更多的 CO_2 能够通过肺泡通气排出^[16]。基于这一推理,先前的研究

表明,在动物和人类 CPR 过程中, $P_{ET}CO_2$ 与 CO 之间存在良好的相关性^[17],并且 $P_{ET}CO_2$ 的变化可以评估体外循环期间 CO 的变化^[18]。因此, $P_{ET}CO_2$ 的变化已被用作 CPR,以监测由心前区压迫产生的血流或评估心搏骤停的预后^[19]。一项对脓毒性休克患者使用 PLR 和容量扩张的研究表明, $P_{ET}CO_2$ 和 CI 的变化之间存在着显著的相关性^[20]。还有研究显示, PLR 引起 $P_{ET}CO_2$ 升高,以 5% 的变化对应于 2 mmHg (1 mmHg \approx 0.133 kPa) 的平均绝对值为临界值,预测容量反应性的敏感度和特异度分别为 71% 和 100%,而 PPV 预测容量反应性的敏感性和特异性仅为 59.5% 和 86.2%, $\Delta P_{ET}CO_2$ 的截止值为 2 mmHg 被选为实用且易于应用的血流动力学目标, $\Delta P_{ET}CO_2$ 预测容量反应性优于 PPV^[3]。这与本研究的结果是一致的。本研究发现, PLR 试验后,采用 $\Delta P_{ET}CO_2$ 预测脓毒性休克患者容量反应性的敏感度和特异度为 76.7%, 特异度为 89.5%, 正确指数为 0.68, SVV 基线预测脓毒性休克患者容量反应性敏感度和特异度为 84.6%, 特异度为 80.0%, 正确指数为 0.65, $\Delta P_{ET}CO_2$ 预测价值并不低于 SVV 基线,说明 $\Delta P_{ET}CO_2$ 对 PLR 试验后脓毒性休克患者容量反应性有较高的预测价值。

$P_{ET}CO_2$ 作为 PLR 期间 CO 的替代指标有一些局限性。首先,它可以在短时间内监测 CI 变化,因为 CO_2 容积并不是恒定的,取决于细胞代谢^[21]。在代谢率变化很大的情况下,例如发烧或发抖, $P_{ET}CO_2$ 变化不能仅用 CO 变化来解释。其次自主呼吸活动对 $P_{ET}CO_2$ 的影响非常大,因此监测要尽量降低每分钟通气量的波动,患者必须接受 CMV 或深度镇静状态,以完全适应这种通气模式。而且,对于慢性阻塞性肺疾病及腹压较高的患者, $P_{ET}CO_2$ 的准确性也同样受到质疑。本研究也具有一定局限性,本研究为单中心、小样本量研究,且未对有自主呼吸稳定的患者进行检测及分析,仍需进一步研究。

综上所述, $P_{ET}CO_2$ 监测操作简单、无创、价格低廉、因此具有很强的临床实用性,特别适用于早期全麻后深度镇静、室性心动过速稳定的气管插管患者的容量反应性评价。在肺泡通气量和 CO_2 生成量恒定的情况下,如果没有关于 CO 或脉压变化的数据,则 $P_{ET}CO_2$ 是可用于评估液体反应性的参数。 $P_{ET}CO_2$ 具有高特异性,并且与经典 CO 监测相比具有巨大优势,即非侵入性、无需额外费用且可用于预测脓毒性休克患者容量反应性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国医师协会急诊医师分会, 中国研究型医院学会休克与脓毒症专业委员会. 中国脓毒症/脓毒性休克急诊治疗指南(2018)[J]. 感染、炎症、修复, 2019, 20 (1): 3–22. DOI: 10.3969/j.issn.1672–8521.2019.01.001.
- [2] Blancas R, Martínez-González Ó, Ballesteros D, et al. Lack of correlation between left ventricular outflow tract velocity time integral and stroke volume index in mechanically ventilated patients [J]. Med Intensiva (Engl Ed), 2019, 43 (2): 73–78. DOI: 10.1016/j.medin.2017.11.012.
- [3] 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.
- [4] Jaquet-Lagrèze M, Baudin F, David JS, et al. End-tidal carbon dioxide variation after a 100- and a 500-ml fluid challenge to assess fluid responsiveness [J]. Ann Intensive Care, 2016, 6 (1): 37. DOI: 10.1186/s13613–016–0141–9.
- [5] 王梅. 限制性液体复苏在创伤失血性休克中的临床应用 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2010, 17 (1): 31–33. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2010.01.010.
- [6] 马年斌, 梁雷雨, 万珍, 等. 静-动脉二氧化碳分压差和动-静脉氧含量差比值联合超声对重症感染性休克患者液体复苏的影响 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2019, 26 (5): 524–528. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2019.05.004.
- [7] 庞文广, 杜兴承, 王刚, 等. 每搏量变异率在 DCD 肾移植术中容量管理的指导意义 [J/CD]. 实用器官移植电子杂志, 2015, 3 (6): 346–349. DOI: 10.3969/j.issn.2095–5332.2015.06.006.
- [8] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2018.03.007.
- [9] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2014.01.008.
- [10] 童洪杰, 胡才宝, 郝雪景, 等. 无创心排量监测应用于重症患者液体反应性评估的研究进展 [J]. 中华危重病急救医学, 2015, 27 (1): 76–78. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095–4352.2015.01.018.
- [11] Préau 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.
- [12] Giraud R, Siegenthaler N, Bendjelid K. Transpulmonary modulations: precise measurements require a precise procedure [J]. Crit Care, 2011, 15 (5): 195. DOI: 10.1186/cc10459.
- [13] Kolar M, Krizmaric M, Klemen P, et al. Partial pressure of end-tidal carbon dioxide successfully predicts cardiopulmonary resuscitation in the field: a prospective observational study [J]. Crit Care, 2008, 12 (5): R115. DOI: 10.1186/cc7009.
- [14] Lin QM, Fang XS, Zhou LL, et al. 呼气末二氧化碳分压在心室纤颤与窒息性心搏骤停心肺复苏中的变化 [J]. 喻文, 罗红敏, 译. 中华危重病急救医学, 2014, 26 (10): 713.
- [15] West JB. State of the art: ventilation-perfusion relationships [J]. Am Rev Respir Dis, 1977, 116 (5): 919–943. DOI: 10.1164/arrd.1977.116.5.919.
- [16] Fougères E, Teboul JL, Richard C, et al. Hemodynamic impact of a positive end-expiratory pressure setting in acute respiratory distress syndrome: importance of the volume status [J]. Crit Care Med, 2010, 38 (3): 802–807. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181c587fd.
- [17] Peyton PJ. Carbon dioxide elimination and cardiac output changes [J]. Intensive Care Med, 2013, 39 (5): 972. DOI: 10.1007/s00134–013–2833–z.
- [18] Saleh HZ, Pullan DM. Monitoring cardiac output trends with end-tidal carbon dioxide pressures in off-pump coronary bypass [J]. Ann Thorac Surg, 2011, 91 (5): e81–e82. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2010.12.039.
- [19] Grmec S, Klemen P. Does the end-tidal carbon dioxide (EtCO₂) concentration have prognostic value during out-of-hospital cardiac arrest? [J]. Eur J Emerg Med, 2001, 8 (4): 263–269. DOI: 10.1097/00063110–200112000–00003.
- [20] Youngblood SC, Markan S, Palvadi R. Cardiac output monitoring is already standard [J]. Anesthesiology, 2013, 119 (3): 725–726. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31829dd42f.
- [21] 方红龙, 陈娟, 罗建, 等. 经皮-动脉血二氧化碳分压差在脓毒性休克液体复苏中的变化及意义 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2019, 26 (5): 529–532. DOI: 10.3969/j.issn.1008–9691.2019.05.005.

(收稿日期: 2021–11–30)