

Pv-aCO₂联合被动抬腿试验指导非体外循环冠状动脉旁路移植术后患者的容量管理

霍丽坤 李培军 解畅 闫成雷 李杰

300070 天津医科大学研究生院(霍丽坤); 300222 天津市胸科医院重症医学科(李培军、解畅、闫成雷、李杰)

通讯作者: 李培军, Email: peijunli166@163.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.04.013

【摘要】 目的 探讨混合静脉-动脉血二氧化碳分压差(Pv-aCO₂)联合被动抬腿试验(PLR)对非体外循环冠状动脉旁路移植术(OPCABG)术后患者容量管理的指导作用。方法 选择2016年6月1日至10月1日天津市胸科医院择期行OPCABG术后患者80例,按随机数字表法分为观察组(以Pv-aCO₂联合PLR指导容量管理)和对照组[以中心静脉压(CVP)指导容量管理],每组40例。比较两组患者入院时和术后6h体温(T)、心率(HR)、平均动脉压(MAP)、CVP、氧合指数(PaO₂/FiO₂)、混合静脉血氧饱和度(SvO₂)、Pv-aCO₂、血乳酸(Lac),6h液体净摄入量、血管活性药物评分,24h序贯器官衰竭评分(SOFA),机械通气时间、ICU住院时间、总住院时间。采用Spearman相关分析法分析观察组Pv-aCO₂与心排血指数(CI)和Lac的相关性。结果 两组术后6h T、HR、MAP、CVP、PaO₂/FiO₂、SvO₂、Lac均较入院时升高,Pv-aCO₂明显下降,且观察组SvO₂、液体净摄入量明显高于对照组[SvO₂: 0.671±0.068比0.634±0.052,液体净摄入量(mL): 454±151比304±106,均P<0.05],Pv-aCO₂、Lac、血管活性药物评分明显低于对照组[Pv-aCO₂(mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa): 6.1±1.8比7.0±1.8, Lac(mmol/L): 1.7±0.5比2.8±0.6, 血管活性药物评分(分): 3.18±1.01比4.48±1.50,均P<0.05],机械通气时间、ICU住院时间均较对照组明显缩短(h: 16.52±6.41比21.96±9.00, 45.51±9.36比51.76±13.66,均P<0.05);观察组与对照组24h SOFA评分(分: 4.50±1.85比5.02±2.08)、总住院时间(d: 12.1±4.3比13.0±5.5)比较差异无统计学意义(均P>0.05)。观察组Pv-aCO₂与CI呈负相关(r=-0.752, P<0.001),与Lac无相关性(r=-0.154, P=0.171)。结论 Pv-aCO₂联合PLR可以更好地指导OPCABG术后患者的容量管理,减少血管活性药物用量,缩短机械通气时间和ICU住院时间。

【关键词】 混合静脉-动脉血二氧化碳分压差; 被动抬腿试验; 非体外循环; 冠状动脉旁路移植术; 容量管理

基金项目: 天津市科技计划项目(2013KZ074)

Mixed venous-arterial carbon dioxide difference combined with passive leg raising in guiding volume management for patients post off-pump coronary artery bypass grafting Huo Likun, Li Peijun, Xie Chang, Yan Chenglei, Li Jie

Postgraduate school of Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China (Huo LK); Department of Critical Care Medicine, Tianjin Chest Hospital, Tianjin 300222, China (Li PJ, Xie C, Yan CL, Li J)

Corresponding author: Li Peijun, Email: peijunli166@163.com

【Abstract】 Objective To investigate whether mixed venous-arterial carbon dioxide difference (Pv-aCO₂) combined with passive leg raising (PLR) could better guide volume management for patients post off-pump coronary artery bypass grafting (OPCABG). **Methods** Eighty patients experienced OPCABG, and admitted to Tianjin Chest Hospital from June 1st to October 1st in 2016 were enrolled. They were randomly divided into two groups: observation group given Pv-aCO₂ combined with PLR directed therapy and control group given central venous pressure (CVP) directed therapy, 40 cases in each group. The difference in body temperature (T), heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), CVP, oxygenation index (PaO₂/FiO₂), mixed venous oxygen saturation (SvO₂), Pv-aCO₂, blood lactate (Lac), fluid intake, scores of the vasoactive agents at 6 hours post-operation, sequential organ failure assessment (SOFA) of 24 hours, mechanical ventilation time, the length of intensive care unit (ICU) stay, and hospitalization time were compared. The correlation between Pv-aCO₂ and cardiac index (CI), Pv-aCO₂ and Lac were analyzed by Spearman analysis in observation group. **Results** The T, HR, MAP, CVP, PaO₂/FiO₂, SvO₂ and Lac at 6 hours post-operation were higher than those at admission in two groups, and Pv-aCO₂ were significantly decreased. The SvO₂ and fluid intake in observation group were higher than those in control group [SvO₂: 0.671±0.068 vs. 0.634±0.052, fluid intake (mL): 454±151 vs. 304±106, both P<0.05], Pv-aCO₂, Lac and scores of the vasoactive agents were lower than those in control group [Pv-aCO₂ (mmHg, 1 mmHg = 0.133 kPa): 6.1±1.8 vs. 7.0±1.8, Lac (mmol/L): 1.7±0.5 vs. 2.8±0.6, scores of the vasoactive agents: 3.18±1.01 vs. 4.48±1.50, all P<0.05], mechanical ventilation time and the length of ICU stay were less than those in the control group (hours: 16.52±6.41 vs. 21.96±9.00, 45.51±9.36 vs.

51.76 ± 13.66, both $P < 0.05$). There was no significant difference in SOFA, hospitalization time between the two groups. There was negative correlation with Pv-aCO₂ and CI ($r = -0.752, P < 0.01$), and no correlation with Pv-aCO₂ and Lac ($r = -0.154, P = 0.171$). **Conclusion** Pv-aCO₂ combined with PLR can better guide volume management in the patients post OPCABG, reduce the usage of vasoactive agents and decrease the mechanical ventilation time and the length of ICU stay.

【Key words】 Mixed venous-arterial carbon dioxide difference; Passive leg raising; Off-pump coronary artery bypass grafting; Volume management

Fund program: Science Fund of Tianjin Health Bureau (2013KZ074)

在重症加强治疗病房(ICU),充分的组织灌注能够减少多器官功能障碍综合征(MODS)的发生,改善预后^[1]。混合静脉-动脉血二氧化碳分压差(Pv-aCO₂)是一个反映全身组织灌注的灵敏指标,当心排血量(CO)降低或微循环灌注不足时,静脉血液淤滞不能充分排出外周组织产生的二氧化碳(CO₂),导致Pv-aCO₂增加^[2-3]。国内外研究表明,Pv-aCO₂能指导休克、高危外科术后患者的液体复苏^[4-7]。本研究拟观察Pv-aCO₂联合被动抬腿试验(PLR)能否更好地指导非体外循环冠状动脉旁路移植术(OPCABG)术后患者的早期容量复苏。

1 资料与方法

1.1 研究对象:选择天津市胸科医院2016年6月1日至10月1日择期行OPCABG后入住ICU的冠心病患者80例,并按照随机数字表法分为观察组(以Pv-aCO₂联合PLR指导容量管理)和对照组[以中心静脉压(CVP)指导容量管理],每组40例。

1.1.1 纳入标准:择期行OPCABG;术前左室射血分数(LVEF) ≥ 0.40;均有Swan-Ganz导管。

1.1.2 排除标准:①严重肺部疾病、肝肾功能异常;②伴严重瓣膜狭窄或反流;③急诊手术;④二次开胸;⑤体重指数(BMI) > 30 kg/m²;⑥二次冠状动脉旁路移植术(CABG);⑦24 h内死亡;⑧主动脉内球囊反搏(IABP)辅助;⑨拒绝参加本次研究。

1.1.3 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并经医院伦理委员会批准(审批号:2016LW-002),取得患者或家属的知情同意。

1.2 方法:术前经锁骨下静脉留置深静脉导管用于监测CVP、输液或必要时静脉泵入血管活性药物;常规行桡动脉穿刺置管监测有创动脉血压。术后带气管插管入住ICU,立即给予呼吸机辅助通气,维持动脉血二氧化碳分压(PaCO₂) 在35~45 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)^[8-9]。常规监测患者体温(T)、心率(HR)、平均动脉压(MAP)、动脉血氧饱和度(SaO₂)、CVP等,精确记录每小时尿量和引流量。两组患者术前经颈内静脉穿刺置入Swan-Ganz导管,

术毕入ICU后,根据肺动脉压(PAP)波形确定适当位置,然后连接CO监测仪。

1.2.1 观察组容量管理方法:同时抽取动脉、混合静脉血标本进行血气分析。若Pv-aCO₂ > 6 mmHg、PLR阳性[心排血指数(CI)变化值(ΔCI) ≥ 10%为有容量反应性^[10]],给予5%人血白蛋白250 mL,30 min后复查血气,若Pv-aCO₂ < 6 mmHg,则终止复苏;若Pv-aCO₂ > 6 mmHg、PLR阴性,则静脉泵入多巴胺(DA) ≥ 5 μg · kg⁻¹ · min⁻¹(起始);若Pv-aCO₂ < 6 mmHg、MAP < 65 mmHg,则静脉泵入去甲肾上腺素(NE) ≥ 0.01 μg · kg⁻¹ · min⁻¹(起始)以维持MAP > 65 mmHg。

1.2.2 对照组容量管理方法:若CVP < 8 mmHg、MAP < 65 mmHg,则输入5%人血白蛋白250 mL;若CVP为8~12 mmHg、MAP < 65 mmHg,则静脉泵入DA ≥ 5 μg · kg⁻¹ · min⁻¹(起始);若MAP仍 < 65 mmHg,则静脉泵入NE ≥ 0.01 μg · kg⁻¹ · min⁻¹(起始)以维持MAP > 65 mmHg。

1.2.3 其他治疗:两组患者必要时输全血或红细胞维持血红蛋白(Hb) ≥ 90 g/L、红细胞比容(HCT) ≥ 0.30。两组患者均采用容量控制通气模式,潮气量7 mL/kg,呼气末正压(PEEP)5 cmH₂O (1 cmH₂O=0.098 kPa),吸入氧浓度(FiO₂)0.40~0.60,呼吸频率13~15次/min,给予镇静镇痛。

1.2.4 PLR实施方法^[11]:体位1,调高床头45°,保持3 min,记录CI;体位2,仰卧位,双腿抬高45°,保持3 min,记录CI;体位3,恢复至体位1。通过调整电动床进行PLR,其间镇静、血管活性药物、呼吸机参数保持不变,避免在患者出现疼痛、寒战、咳嗽、烦躁等可能影响试验数据的情况下记录。

1.3 观察指标:比较两组患者入院时和术后6 h生命体征、氧合指数(PaO₂/FiO₂)、血流动力学、组织灌注指标,术后6 h液体净入量、血管活性药物评分,24 h序贯器官衰竭评分(SOFA),机械通气时间、ICU住院时间、总住院时间的差异。分析观察组Pv-aCO₂与CI和血乳酸(Lac)的相关性。

1.4 统计学方法: 使用 SPSS 21.0 软件处理数据。先行正态性检验和方差齐性检验,符合正态分布且方差齐的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验,组内比较采用配对 *t* 检验。计数资料比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。两个变量之间的相关性采用 Spearman 简单系数分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较(表 1): 两组性别、年龄、体表面积(BSA)、LVEF、手术时间、欧洲心脏手术风险评估系统(EuroScore)评分、合并高血压和糖尿病的比例、心功能分级情况差异无统计学意义(均 $P > 0.05$),说明两组资料均衡,有可比性。

2.2 两组患者各观察指标比较(表 2~3): 两组患者入院时生命体征、 PaO_2/FiO_2 、血流动力学及组织灌注指标差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。与入院时比较,对照组术后 6 h T、HR、CVP、 PaO_2/FiO_2 、Lac 均明显增加, $Pv-aCO_2$ 明显下降(均 $P < 0.05$); 观察组术后 6 h T、HR、MAP、 PaO_2/FiO_2 、混合静脉血氧饱和度(SvO_2)、Lac 均明显增加, $Pv-aCO_2$ 明显下降(均 $P < 0.05$)。观察组术后 6 h SvO_2 较对照组明显升高, $Pv-aCO_2$ 、Lac 明显下降(均 $P < 0.05$),且术后 6 h 液体净入量较对照组明显增多,血管活性药物评分明显升高(均 $P < 0.01$)。

2.3 两组患者预后指标比较(表 3): 观察组 24 h SOFA 评分有所降低($P > 0.05$),机械通气时间、ICU 住院时间明显缩短(均 $P < 0.05$),总住院时间缩短差异无统计学意义($P > 0.05$)。

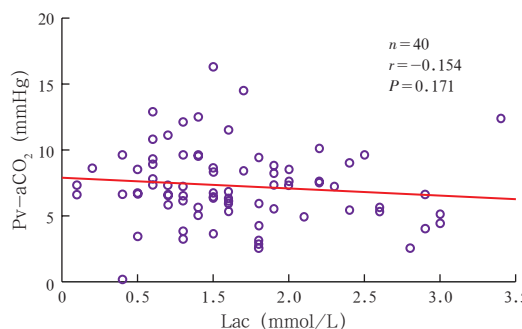
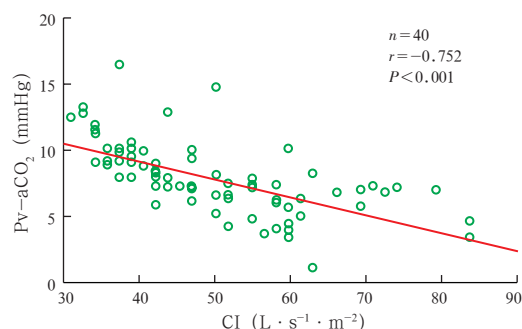
2.4 相关性分析(图 1): 观察组 $Pv-aCO_2$ 与 CI 呈显著负相关($P < 0.01$),与 Lac 无相关性($P > 0.05$)。

表 3 不同容量管理方法两组 OPCABG 术后患者 6 h 液体净入量、血管活性药物评分及预后指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数(数)	6 h 液体净入量(mL)	6 h 血管活性药物评分(分)	24 h SOFA 评分(分)
对照组	40	304 ± 106	4.48 ± 1.50	5.02 ± 2.08
观察组	40	454 ± 151 ^a	3.18 ± 1.01 ^a	4.50 ± 1.85

组别	例数(数)	机械通气时间(h)	ICU 住院时间(h)	总住院时间(d)
对照组	40	21.96 ± 9.00	51.76 ± 13.66	13.01 ± 5.50
观察组	40	16.52 ± 6.41 ^a	45.51 ± 9.36 ^b	12.08 ± 4.30

注: OPCABG 为非体外循环冠状动脉旁路移植术, SOFA 为序贯器官衰竭评分, ICU 为重症加强治疗病房; 与对照组比较, ^a $P < 0.01$, ^b $P < 0.05$



注: $Pv-aCO_2$ 为混合静脉-动脉血二氧化碳分压差, OPCABG 为非体外循环冠状动脉旁路移植术; 1 mmHg = 0.133 kPa

图 1 $Pv-aCO_2$ 联合被动抬腿试验指导容量管理的 OPCABG 术后患者 $Pv-aCO_2$ 与心排血量指数(CI)和血乳酸(Lac)的相关性

表 1 不同容量管理方法两组 OPCABG 术后患者一般情况比较

组别	例数(例)	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	BSA($m^2, \bar{x} \pm s$)	LVEF($\bar{x} \pm s$)	手术时间(min, $\bar{x} \pm s$)	EuroScore 评分(分, $\bar{x} \pm s$)	合并症[例(%)]		心功能分级(例)		
		男性	女性						高血压	糖尿病	I 级	II 级	III 级
对照组	40	28	12	62.43 ± 7.72	1.87 ± 0.18	0.56 ± 0.08	196.65 ± 46.18	4.25 ± 1.67	26 (65.0)	13 (32.5)	2	24	14
观察组	40	32	8	61.03 ± 9.50	1.90 ± 0.15	0.58 ± 0.06	186.55 ± 32.37	3.97 ± 1.07	27 (67.5)	16 (40.0)	3	26	11

注: OPCABG 为非体外循环冠状动脉旁路移植术, BSA 为体表面积, LVEF 为左室射血分数, EuroScore 为欧洲心脏手术风险评估系统

表 2 不同容量管理方法两组 OPCABG 术后患者各时间点生命体征、 PaO_2/FiO_2 、血流动力学及组织灌注指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	时间	例数(例)	T(°C)	HR(次/min)	MAP(mmHg)	CVP(mmHg)	PaO_2/FiO_2 (mmHg)	SvO_2	$Pv-aCO_2$ (mmHg)	Lac(mmol/L)
对照组	入院时	40	35.6 ± 0.4	65.6 ± 11.2	71.6 ± 7.8	4.4 ± 2.1	254.0 ± 64.0	0.620 ± 0.092	8.8 ± 2.7	1.6 ± 0.5
	术后 6 h	40	36.7 ± 0.4 ^a	90.1 ± 10.9 ^a	74.5 ± 9.3	6.6 ± 2.2 ^a	286.0 ± 59.1 ^b	0.634 ± 0.052	7.0 ± 1.8 ^a	2.8 ± 0.6 ^a
观察组	入院时	40	35.4 ± 0.3	67.5 ± 12.6	72.1 ± 9.6	4.8 ± 2.0	261.0 ± 88.6	0.626 ± 0.062	8.4 ± 3.0	1.5 ± 0.5
	术后 6 h	40	36.6 ± 0.4 ^a	84.9 ± 13.1 ^a	78.2 ± 9.1 ^a	6.8 ± 2.4	280.0 ± 65.1 ^b	0.671 ± 0.068 ^{ac}	6.1 ± 1.8 ^{ac}	1.7 ± 0.5 ^{bd}

注: OPCABG 为非体外循环冠状动脉旁路移植术, T 为温度, HR 为心率, MAP 为平均动脉压, CVP 为中心静脉压, PaO_2/FiO_2 为氧合指数, SvO_2 为混合静脉血氧饱和度, $Pv-aCO_2$ 为混合静脉-动脉血二氧化碳分压差, Lac 为血乳酸; 1 mmHg = 0.133 kPa; 与本组入院时比较, ^a $P < 0.01$, ^b $P < 0.05$; 与对照组同期比较, ^c $P < 0.05$, ^d $P < 0.01$

3 讨论

心外科患者术后早期随着体温恢复、麻醉药物代谢消失,通常存在有效血容量相对不足,临床会根据 CVP、血压来指导容量复苏,但由于患者术前基础心功能较差加之手术创伤,对液体耐受性差,容易出现过度复苏导致的肺水肿或因复苏不足导致组织灌注不足而发生 MODS^[12-14],或者因不恰当使用血管活性药物,而使住院时间延长,病死率增加^[15],所以术后早期识别组织灌注不足,及时动态评估心功能状况,进而调整容量及血管活性药物十分重要。

Pv-aCO₂ 代表细胞代谢所产生的 CO₂ 在混合静脉和动脉的分压差,可反映组织灌注情况,即机体是否有足够血流将外周器官所产的 CO₂ 清除。根据 Fick 公式: $VCO_2 = K \times CO \times Pv-aCO_2$, 式中 K 为线性系数,在二氧化碳排出量 (VCO₂) 和氧耗量 (VO₂) 恒定时, Pv-aCO₂ 完全依赖于 CO。因此,用 Pv-aCO₂ 可无创性评估 CO。根据 Frank-Starling 曲线,当心功能处于上升支时,即容量反应性阳性时,补液可以增加 CO,改善组织灌注;当心功能曲线处于平坦区或心功能降低时(心功能曲线右移),首先需要给予正性肌力药物以改善心功能^[16]。PLR 是一种内源性补液试验,在一定程度上可替代容量负荷试验 (VE) 等传统方法,精确预测严重感染和感染性休克患者的容量反应性^[17-18]。因此, Pv-aCO₂ 联合 PLR 可以告知我们 CO 不足时是选择输液还是给予正性肌力药物,可避免极端补液或盲目给予血管活性药物,进而调整氧输送与氧消耗平衡,改善组织灌注。

余国宝等^[19] 研究显示,中心静脉血氧饱和度 (ScvO₂) 联合中心静脉-动脉血二氧化碳分压差 (Pcv-aCO₂) 较单用 ScvO₂ 可以更好地指导脓毒性休克患者液体复苏。陈熹等^[20] 以严重烧伤患者为研究对象,发现 ScvO₂ 联合 Pcv-aCO₂ 较单用 ScvO₂ 进行液体复苏,可以更好地维持患者切削痂植皮手术中氧代谢稳定,保证充足的组织氧合灌注。本研究结果显示,观察组全身氧供需平衡指标 SvO₂ 优于对照组, Pv-aCO₂、Lac 和血管活性药物评分低于对照组。尽管观察组液体净入量较对照组增加,但两组 PaO₂/FiO₂ 差异无统计学意义,表明 Pv-aCO₂ 联合 PLR 指导液体复苏较单用 CVP 指导更充分。王助衡等^[21] 研究结果也显示, CVP 并不适合单独作为严重脓毒症患者液体复苏的目标指标。另外,本研究显示观察组机械通气时间、ICU 住院时间均较对照组明显缩短。因此认为 Pv-aCO₂ 联合 PLR 可以

更好地指导 OPCABG 术后患者的容量管理。

根据 Fick 公式,当机体代谢恒定时, Pv-aCO₂ 与 CO₂ 成正比,与 CO 成反比。Furqan 等^[22] 以先心病患儿为研究对象,结果显示, CO 与 Pcv-aCO₂ 的相关性较其与 ScvO₂ 的相关性更高,尤其当 ScvO₂ < 0.70 时。本研究显示 Pv-aCO₂ 与 CI 呈显著负相关,与上述研究一致。但一项以脓毒性休克患者为研究对象的研究表明, Pv-aCO₂ 与 CI、MAP 等大循环血流动力学参数不相关^[23]。导致不同结果的原因为该研究人群为高排低阻型休克患者, Pv-aCO₂ 与 CI 处于 Frank-Starling 曲线的平坦区;而本研究对象为 OPCABG 术后患者,基础心功能较差, Pv-aCO₂ 与 CI 可能处于 Frank-Starling 曲线的上升支。

Pv-aCO₂ 可反映全身组织灌注,但并不能反映组织缺氧情况,由于缺血引起氧供减少而导致的组织灌注不足, Pcv-aCO₂ 可明显升高;而因氧分压降低引起的缺氧, Pcv-aCO₂ 并不会升高^[24]。Jakob 等^[25] 研究表明, Pv-aCO₂ 与血流减少有关,与 Lac 无相关性,与本研究结果一致。

研究表明 Pcv-aCO₂ 与患者预后相关性^[26]。但 Morel 等^[27] 认为 Pcv-aCO₂ 并不能预测心外科术后患者的预后。由于本研究周期较短,未对患者进行随访,因此 Pv-aCO₂ 与预后的关系还有待于进一步研究。

本研究不足之处:① 为单中心小样本研究,结果仍需大规模研究证实;② 以 PLR 后 $\Delta CI \geq 10\%$ 为容量反应性阳性,可能增加了容量反应性阴性的概率,因为外科术后患者心功能差,可能以 PLR 反映容量反应性阳性的阈值会减小。

综上所述,本研究结果显示, Pv-aCO₂ 可用于指导 OPCABG 术后患者的容量管理。在代谢稳定时,可以根据 Pv-aCO₂ 来判定 CO 能否清除机体外周组织产生的 CO₂, CO 降低可能因容量不足也可能是心功能差,故当患者出现组织灌注不足时应首先判断是否有容量反应性,若容量反应性为阳性则给予液体复苏,若为阴性应先给予正性肌力药物改善心功能,从而避免盲目补液或不恰当时机使用血管活性药物。

参考文献

- [1] 李茂琴,潘翠改,王晓猛,等.早期目标导向治疗基础上联合参附注射液对感染性休克患者器官功能及预后的影响[J].中国中西医结合急救杂志, 2015, 22 (2): 202-206. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.02.023.
- Li MQ, Pan CG, Wang XM, et al. Effects of Shenfu injection intervention based on early goal-directed therapy on organ function

- and prognosis in patients with septic shock [J]. *Chin J TCM WM Crit Care*, 2015, 22 (2): 202-206. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.02.023.
- [2] 梁锋鸣, 严洁, 许红阳, 等. 中心静脉-动脉二氧化碳分压差在反映感染性休克患者全身组织灌注的价值 [J]. *中国急救医学*, 2012, 32 (11): 971-975. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2012.11.003.
- Liang FM, Yan J, Xu HY, et al. Value of central venous-arterial carbon dioxide difference as an index of body tissue perfusion in septic shock patients [J]. *Chin J Crit Care Med*, 2012, 32 (11): 971-975. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2012.11.003.
- [3] Moller MH, Cecconi M. Venous-to-arterial carbon dioxide difference: an experimental model or a bedside clinical tool? [J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42 (2): 287-289. DOI: 10.1007/s00134-015-4181-7.
- [4] Futier E, Robin E, Jabaudon M, et al. Central venous O₂ saturation and venous-to-arterial CO₂ difference as complementary tools for goal-directed therapy during high-risk surgery [J]. *Crit Care*, 2010, 14 (5): R193. DOI: 10.1186/cc9310.
- [5] 潘传亮, 张海瑛, 刘剑萍. 混合静脉血氧饱和度和静脉-动脉血二氧化碳分压差在体外循环心脏术后氧化代谢监测及治疗中的价值 [J]. *中华危重病急救医学*, 2014, 26 (10): 701-705. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.10.004.
- Pan CL, Zhang HY, Liu JP. Values of mixed venous oxygen saturation and difference of mixed venous-arterial partial pressure of carbon dioxide in monitoring of oxygen metabolism and treatment after open-heart operation [J]. *Chin Crit Care Med*, 2014, 26 (10): 701-705. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.10.004.
- [6] 杨艳丽, 卿恩明, 王小亭, 等. 中心静脉-动脉二氧化碳分压差联合中心静脉血氧饱和度指导非体外循环冠脉搭桥术中血流动力学管理 [J]. *中国临床医生*, 2014, 42 (4): 57-60. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1089.2014.04.020.
- Yang YL, Qing EM, Wang XT, et al. Central venous-to-arterial carbon dioxide tension difference and central venous oxygen saturation guiding hemodynamic management in intraoperation OPABG patients [J]. *Chin J Clin*, 2014, 42 (4): 57-60. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1089.2014.04.020.
- [7] Mallat J, Pepy F, Lemyze M, et al. Central venous-to-arterial carbon dioxide partial pressure difference in early resuscitation from septic shock: a prospective observational study [J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2014, 31 (7): 371-380. DOI: 10.1097/EJA.000000000000064.
- [8] Viale JP. The venous-arterial partial pressure of carbon dioxide as a new monitoring of circulatory disorder: no so simple [J]. *J Clin Monit Comput*, 2016, 30 (6): 757-760. DOI: 10.1007/s10877-016-9872-2.
- [9] Morel J, Gergel L, Dominic A, et al. The venous-arterial difference in CO₂ should be interpreted with caution in case of respiratory alkalosis in healthy volunteers [J]. *J Clin Monit Comput*, 2016: 1-7 [2016-11-01]. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10877-016-9897-6>. [published online ahead of print June 10, 2016].
- [10] 司向, 黄牧云, 陈娟, 等. 被动抬腿试验对脓毒症合并心功能不全患者液体反应性的预测价值 [J]. *中华危重病急救医学*, 2015, 27 (9): 729-734. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.09.006.
- Si X, Huang MY, Chen J, et al. The value of passive leg raising test in predicting fluid responsiveness in patients with sepsis-induced cardiac dysfunction [J]. *Chin Crit Care Med*, 2015, 27 (9): 729-734. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.09.006.
- [11] Monnet X, Teboul JL. Passive leg raising: five rules, not a drop of fluid! [J]. *Crit Care*, 2015, 19: 18. DOI: 10.1186/s13054-014-0708-5.
- [12] 翁亦齐, 贾莉莉, 王菲, 等. 目标导向液体治疗在肝移植围术期的应用 [J/CD]. *实用器官移植电子杂志*, 2016, 4 (3): 183-185. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5332.2016.03.014.
- Weng YQ, Jia LL, Wang F, et al. Application of goal-directed fluid therapy in perioperative period of liver transplantation [J/CD]. 2016, 4 (3): 183-185. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5332.2016.03.014.
- [13] Benes J, Kirov M, Kuzkov V, et al. Fluid therapy: double-edged sword during Critical Care? [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015 (2): 729075. DOI: 10.1155/2015/729075.
- [14] 李永姝, 贾克刚. 急性肾损伤标志物及其在心血管相关肾病中应用的研究进展 [J]. *实用检验医师杂志*, 2015, 7 (2): 115-118. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2015.02.013.
- Li YS, Jia KG. Research progress of acute renal injury markers and their application in cardiovascular related nephropathy [J]. *Chin J Lab Path*, 2015, 7 (2): 115-118. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2015.02.013.
- [15] Gutierrez MC, Moore PG, Liu H. Goal-directed therapy in intraoperative fluid and hemodynamic management [J]. *J Biomed Res*, 2013, 27 (5): 357-365. DOI: 10.7555/JBR.27.20120128.
- [16] Takala J. Volume responsive, but does the patient need volume? [J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42 (9): 1461-1463. DOI: 10.1007/s00134-015-4172-8.
- [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]. *中华危重病急救医学*, 2011, 23 (3): 154-157. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2011.03.009.
- Huang L, Zhang WX, Cai WX, et al. Passive leg raising predicts volume responsiveness in patients with severe sepsis and septic shock [J]. *Chin Crit Care Med*, 2011, 23 (3): 154-157. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2011.03.009.
- [18] 武宇辉, 刘晓红, 李成荣, 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.
- Wu YH, Liu XH, Li CR, et al. Clinical observation of non-invasive ultrasonic cardiac output monitor combined passive leg raising test in predicting the children volume responsiveness [J]. *Chin Crit Care Med*, 2014, 26 (1): 46-50. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.01.010.
- [19] 余国宝, 袁宁, 刘毅, 等. 中心静脉-动脉血二氧化碳分压差对感染性休克液体复苏指导作用的研究 [J]. *重庆医学*, 2013, 42 (7): 729-731. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2013.07.004.
- Yu GB, Yuan N, Liu Y, et al. Effect of central venous-to-arterial blood carbon dioxide partial pressure difference in guiding fluid resuscitation of septic shock [J]. *Chongqing Med*, 2013, 42 (7): 729-731. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2013.07.004.
- [20] 陈熹, 张建忠. 中心静脉-动脉血二氧化碳分压差联合中心静脉血氧饱和度监测下液体容量调控对严重烧伤患者术中组织氧灌注的影响 [J]. *中华烧伤杂志*, 2015, 31 (4): 267-270. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2015.04.007.
- Chen X, Zhang JZ. The effect of central venous-to-arterial carbon dioxide tension difference combined with central venous oxygen saturation on the regulation of volume in patients with severe burn [J]. *Chin J Burns*, 2015, 31 (4): 267-270. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2015.04.007.
- [21] 王勋衡, 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. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2013.04.022.
- Wang ZH, Zhang J, Li YW, et al. A study on correlation between global end-diastolic volume index and central venous pressure in fluid resuscitation in patients with severe sepsis [J]. *Chin J TCM WM Crit Care*, 2013, 20 (4): 248-249. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2013.04.022.
- [22] Furqan M, Hashmat F, Amanullah M, et al. Venoarterial PCO₂ difference: a marker of postoperative cardiac output in children with congenital heart disease [J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2009, 19 (10): 640-643. DOI: 10.2009/JCPSP.640643.
- [23] Ospina-Tascón GA, Umaña M, Bermúdez WF, et al. Can venous-to-arterial carbon dioxide differences reflect microcirculatory alterations in patients with septic shock? [J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42 (2): 211-221. DOI: 10.1007/s00134-015-4133-2.
- [24] Lamia B, Monnet X, Teboul JL. Meaning of arterio-venous PCO₂ difference in circulatory shock [J]. *Minerva Anesthesiol*, 2006, 72 (6): 597-604.
- [25] Jakob SM, Ruokonen E, Takala J. Assessment of the adequacy of systemic and regional perfusion after cardiac surgery [J]. *Br J Anaesth*, 2000, 84 (5): 571-577.
- [26] 邢柏, 曾琦, 谭世峰, 等. 中心静脉-动脉血二氧化碳分压差值评估严重脓毒症患者预后的临床研究 [J]. *中国急救医学*, 2013, 33 (7): 601-604. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2013.7.004.
- Xing B, Zeng Q, Tan SF, et al. Prognosis of severe sepsis patients assessed by central venous-to-arterial carbon dioxide difference [J]. *Chin J Crit Care Med*, 2013, 33 (7): 601-604. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2013.7.004.
- [27] Morel J, Grand N, Axiotis G, et al. High veno-arterial carbon dioxide gradient is not predictive of worst outcome after an elective cardiac surgery: a retrospective cohort study [J]. *J Clin Monit Comput*, 2016, 30 (6): 783-789. DOI: 10.1007/s10877-016-9855-3.

(收稿日期: 2016-11-02)