

· 论著 ·

呼气末正压对每搏量变异评价容量准确性的影响

刘宁 顾勤 俞建峰

【摘要】 目的 探讨机械通气时呼气末正压(PEEP)对血流动力学及每搏量变异(SVV)评价容量状态准确性的影响。**方法** 将 30 只健康家猪充分镇静肌松,给予机械通气,并按随机数字表法均分为正常容量、低容量和高容量组 3 组,5 min 内逐步释放 20%家猪血容量建立低容量模型,输注相当于家猪 20%血容量的羟乙基淀粉建立高容量模型,正常容量组不予任何处理。每组均按照随机顺序调节 PEEP 水平为 0(PEEP0)、5(PEEP5)、10(PEEP10)和 15 cm H₂O(PEEP15, 1 cm H₂O=0.098 kPa)。采用脉搏指示连续心排量(PiCCO)监测心率(HR)、平均动脉压(MAP)、中心静脉压(CVP)、心排血指数(CI)、每搏量指数(SVI)、外周血管阻力指数(SVRI)、胸腔内血容量指数(ITBVI)等血流动力学指标和 SVV 的变化。**结果** 正常容量组中随 PEEP 水平升高,HR、CVP、SVRI、SVV 呈逐渐增加趋势,CI、SVI、ITBVI 则呈逐渐降低趋势,均于 PEEP15 时达峰值或谷值,与 PEEP0 时比较差异有统计学意义[HR(次/min):124±18 比 88±12, CVP(mm Hg, 1 mm Hg=0.133 kPa):11±1 比 8±3, SVRI(kPa·s·L⁻¹·m⁻²):289.6±81.5 比 215.0±79.1, SVV:(23±6)%比(11±2)%, CI(L·min⁻¹·m⁻²):3.1±0.8 比 4.3±1.4, SVI(ml·min⁻¹·m⁻²):26±7 比 41±4, ITBVI(ml/m²):440±43 比 491±47, 均 $P<0.05$];而 MAP 无明显变化。低容量组中随 PEEP 水平升高,HR、CVP、SVV 逐渐升高,MAP、CI、SVI、ITBVI 呈下降趋势,均于 PEEP15 时达峰值或谷值,与 PEEP0 时比较差异有统计学意义[HR(次/min):146±31 比 115±27, CVP(mm Hg):11±2 比 5±1, SVV:(28±4)%比(20±5)%, MAP(mm Hg):90±26 比 115±19, CI(L·min⁻¹·m⁻²):2.3±0.6 比 3.4±1.1, SVI(ml·min⁻¹·m⁻²):20±6 比 31±9, ITBVI(ml/m²):355±34 比 396±53, 均 $P<0.05$];而 SVRI 无明显变化。高容量组中随 PEEP 水平升高,SVV 呈逐渐增加趋势,CI、SVI、ITBVI 则呈降低趋势,均于 PEEP15 时达峰值或谷值,与 PEEP0 时比较差异有统计学意义[SVV:(18±4)%比(6±2)%, CI(L·min⁻¹·m⁻²):4.5±0.9 比 5.0±1.2, SVI(ml·min⁻¹·m⁻²):37±9 比 49±7, ITBVI(ml/m²):473±71 比 565±94, 均 $P<0.05$];而 HR、MAP、CVP、SVRI 无明显变化。低容量组 SVV 较正常容量组显著升高,而高容量组 SVV 则较正常容量组显著下降。正常容量组不同 PEEP 水平时 SVV 与 CI 呈显著负相关($r_{\text{PEEP0}}=-0.831$, $r_{\text{PEEP5}}=-0.790$, $r_{\text{PEEP10}}=-0.875$, $r_{\text{PEEP15}}=-0.560$, $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。**结论** SVV 能准确反映容量状态,高 PEEP 可能影响血流动力学及 SVV 监测的准确性。

【关键词】 呼气末正压; 前负荷; 容量; 每搏量变异; 机械通气

The influence of positive end-expiratory pressure on stroke volume variation for the accuracy of evaluating volume LIU Ning*, GU Qin, YU Jian-feng. *Intensive Care Unit, the Affiliated Drum Tower Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing 210008, Jiangsu, China

Corresponding author: GU Qin, Email: icuguqin@yahoo.com.cn

【Abstract】 Objective To investigate the influence of positive end-expiratory pressure (PEEP) on hemodynamic and the ability of stroke volume variation (SVV) to predict cardiac preload. **Methods** Thirty healthy anesthetized pigs were given tracheal intubation and ventilated. With the envelope method, they were all randomly divided into control group ($n=10$), hypovolemia group ($n=10$) and hypervolemia group ($n=10$). Hypovolemia group were exsanguinated 20% blood volume within 5 minutes, hypervolemia group: additional infusion of hydroxyethyl starch equal to 20% blood volume, and control group: no intervention. In each group, ventilator settings were changed in a randomized order by changing PEEP (0, 5, 10 and 15 cm H₂O, PEEP0, PEEP5, PEEP10, PEEP15, 1 cm H₂O=0.098 kPa). The changes in hemodynamic parameters, including heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), central venous pressure (CVP), cardiac index (CI), stroke volume index (SVI), systemic vascular resistance index (SVRI), intrathoracic blood volume index (ITBVI) and SVV, were monitored with a pulse-indicated continuous cardiac output (PiCCO). **Results** In the control group, HR, CVP, SVRI and SVV were evaluated accompanying with the increasing of PEEP, but CI, SVI and ITBVI submitted decreasing tendency. The value reached peaking or valley on the level of PEEP15, and there was significance compared with PEEP0 [HR (bpm): 124±18 vs. 88±12, CVP (mm Hg, 1 mm Hg=0.133 kPa): 11±1 vs. 8±3, SVRI (kPa·s·L⁻¹·m⁻²): 289.6±81.5 vs. 215.0±79.1, SVV: (23±6)% vs. (11±2)%, CI (L·min⁻¹·m⁻²): 3.1±0.8 vs. 4.3±1.4, SVI (ml·min⁻¹·m⁻²): 26±7 vs. 41±4, ITBVI (ml/m²): 440±43 vs. 491±47, all $P<0.05$]. There was no change in MAP. In the hypovolemia group, HR, CVP and SVV were evaluated accompanying with the increasing of PEEP, but MAP, CI, SVI and ITBVI submitted decreasing tendency. The value reached peaking or valley on the level of PEEP15, and there was significance compared with PEEP0 [HR (bpm): 146±31 vs. 115±27, CVP (mm Hg): 11±2 vs. 5±1, SVV: (28±4)% vs. (20±5)%, MAP

(mm Hg): 90 ± 26 vs. 115 ± 19 , CI ($L \cdot \min^{-1} \cdot m^{-2}$): 2.3 ± 0.6 vs. 3.4 ± 1.1 , SVI ($ml \cdot \min^{-1} \cdot m^{-2}$): 20 ± 6 vs. 31 ± 9 , ITBVI (ml/m^2): 355 ± 34 vs. 396 ± 53 , all $P < 0.05$]. There was no change in SVRI. In the hypervolemia group, SVV submitted increasing tendency with the increasing of PEEP, but CI, SVI and ITBVI were in the tendency of decreasing, the value reached peaking or valley on the level of PEEP15, and there was significance compared with PEEP0 [SVV: $(18 \pm 4)\%$ vs. $(6 \pm 2)\%$, CI ($L \cdot \min^{-1} \cdot m^{-2}$): 4.5 ± 0.9 vs. 5.0 ± 1.2 , SVI ($ml \cdot \min^{-1} \cdot m^{-2}$): 37 ± 9 vs. 49 ± 7 , ITBVI (ml/m^2): 473 ± 71 vs. 565 ± 94 , all $P < 0.05$]. There was no change in HR, MAP, CVP and SVRI. SVV was increased in the hypovolemia group compared with control group, and decreased in the hypervolemia group. In the control group, SVV was negatively related to CI on different level of PEEP ($r_{PEEP0} = -0.831$, $r_{PEEP5} = -0.790$, $r_{PEEP10} = -0.875$, $r_{PEEP15} = -0.560$, $P < 0.05$ or $P < 0.01$). **Conclusion** SVV was a precise indicator of cardiac preload, however high PEEP may influence hemodynamic and the accuracy of SVV.

[Key words] Positive end-expiratory pressure; Preload; Volume; Stroke volume variation; Mechanical ventilation

危重患者维持血流动力学稳定的前提是保证组织灌注,容量监测是判断有效循环血容量的重要途径。近年来研究认为,动态指标如每搏量变异(SVV)是机械通气患者容量监测的有效方法,动态指标的本质是心肺交互作用导致血流动力学变化,利用了胸腔压力对循环的影响判断容量状态,因此,影响胸腔内压力的因素可能影响动态指标的监测。呼气末正压(PEEP)可增加功能残气量,改善通气/血流比例,提高氧合,是危重患者机械通气过程中需经常调整的参数。本研究中探讨不同 PEEP 水平对血流动力学及 SVV 评价容量状态准确性的影响,旨在为临床合理运用动态指标提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物和分组: 30 只健康雌性家猪,体重(20.0 ± 2.1) kg,由南京大学医学院附属鼓楼医院动物实验中心提供。按随机数字表法将动物分为正常容量组、低容量组和高容量组 3 组,每组 10 只。

1.2 模型复制和处理: 动物称重后仰卧位固定,静脉注射阿托品 0.5 mg 和氯胺酮 100 mg,持续心电监护,气管插管,连接呼吸机(爱尔兰 eVent 公司)机械通气,采用容量控制通气模式,呼吸机参数设置:潮气量(V_T)10 ml/kg, PEEP 3 cm H₂O(1 cm H₂O = 0.098 kPa),呼吸比 1:2,吸入氧浓度(FiO_2)1.00,调节呼吸频率维持动脉血二氧化碳分压($PaCO_2$)于 35 ~ 45 mm Hg(1 mm Hg = 0.133 kPa)。颈内静脉置入中心静脉导管,股动脉置入脉搏指示连续心排量(PiCCO)监测导管(德国 Pulsion 公司)。低容量组 5 min 内释放 20% 的血容量;高容量组 5 min 内输注 20% 血容量的羟乙基淀粉;正常容量组不

给予任何处理。按照随机顺序调节 PEEP 为 0、5、10、15 cm H₂O (PEEP0、PEEP5、PEEP10、PEEP15),每次调整参数后维持 10 min 稳定并测量各项指标。实验期间用芬太尼($5 \mu g \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$)、咪唑安定($0.1 mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$)、琥珀胆碱($2.5 mg \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$)持续镇静,维持体温 36 ~ 39 °C。

本研究中动物处置方法符合动物伦理学标准。

1.3 血流动力学监测: 颈内静脉导管接 PiCCO 温度探头,股动脉置入 PiCCO 导管连接 PiCCO 监测仪(德国 Pulsion 公司),每次测量经颈内静脉导管快速注入(< 5 s)5 ml 冰生理盐水($0 \sim 4$ °C),连续测 3 次,取均值,记录心率(HR)、平均动脉压(MAP)、中心静脉压(CVP)、心排血指数(CI)、每搏量指数(SVI)、胸腔内血容量指数(ITBVI)、外周血管阻力指数(SVRI)等。

1.4 计算 SVV^[1]: SVV 为 30 s 呼吸周期内左室每搏量最大值(SV_{max})和最小值(SV_{min})的差值与其平均值的比值,即 $SVV = 100 \times (SV_{max} - SV_{min}) / [(SV_{max} + SV_{min})/2]$ 。

1.5 统计学方法: 用 SPSS 11.5 软件进行统计分析,符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两样本均数比较采用 *t* 检验,多组间比较采用单因素方差分析;相关性比较采用 Pearson 相关分析法; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同容量状态下 PEEP 对血流动力学的影响

2.1.1 正常容量组(表 1): 与 PEEP0 比较,PEEP5 时各项血流动力学指标差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$);PEEP10 时 HR 增快,SVI 下降(均 $P < 0.05$);PEEP15 时 HR、CVP 和 SVRI 显著升高(均 $P < 0.05$),CI、SVI 和 ITBVI 显著降低(均 $P < 0.05$)。

2.1.2 低容量组(表 2): 与 PEEP0 比较,PEEP5 时各项血流动力学指标差异无统计学意义(均 $P > 0.05$);PEEP10 时 CVP 显著升高($P < 0.05$),CI、SVI、

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2012.07.011

基金项目:江苏省南京市医学科技发展计划项目(ZKX0417)

作者单位:210008 江苏,南京大学医学院附属鼓楼医院重症医学科(刘宁、顾勤);常州市第二人民医院 ICU(俞建峰)

通信作者:顾勤,Email: icuguqin@yahoo.com.cn

ITBVI 显著下降 (均 $P<0.05$); PEEP 15 时 HR 和 CVP 显著升高 (均 $P<0.05$), MAP、CI、SVI 和 ITBVI 显著降低 (均 $P<0.05$)。

2.1.3 高容量组 (表 3): 与 PEEP0 比较, PEEP5 时各项血流动力学指标差异无统计学意义 (均 $P>0.05$); PEEP10 时 SVI 显著下降 ($P<0.05$); PEEP15 时 CI、SVI 和 ITBVI 显著降低 (均 $P<0.05$)。

2.2 不同容量状态下 PEEP 对 SVV 的影响 (表 1~3): 低容量组 SVV 较正常容量组显著升高, 高容量组则较正常容量组下降。正常容量组 PEEP10、PEEP15 时 SVV 较 PEEP0 时显著增加 (均 $P<0.05$); 低容量组 PEEP15 时 SVV 较 PEEP0 时显著增加 ($P<0.05$); 高容量组 PEEP5、PEEP10、PEEP15 时 SVV 较 PEEP0 时均显著增加 (均 $P<0.05$)。

2.3 不同 PEEP 时 SVV 与 CI 的相关性分析 (表 4): 正常容量组不同 PEEP 水平 SVV 与 CI 呈显著负相关 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

3 讨论

机械通气是危重患者救治的重要措施, 1945 年 Cournand 等^[1]的研究发现, 胸腔内压影响右室充盈

表 4 正常容量组家猪不同 PEEP 水平时 SVV 与 CI 的相关性

PEEP 水平	r 值	P 值
PEEP 0 cm H ₂ O	-0.831	<0.01
PEEP 5 cm H ₂ O	-0.790	<0.01
PEEP 10 cm H ₂ O	-0.875	<0.01
PEEP 15 cm H ₂ O	-0.560	0.010

注: PEEP: 呼气末正压, SVV: 每搏量变异, CI: 心排血指数;
1 cm H₂O=0.098 kPa

压, 胸腔内压越高, 心排血量越低, 由此提出了心肺交互作用的概念。动态指标是利用心肺交互作用监测血流动力学指标的变化, SVV 是指每搏量随呼吸周期变化的指数, 是准确反映机械通气患者容量状态的重要指标。根据动态指标监测的原理, 影响胸腔内压的因素可能影响 SVV 的监测以及其对容量状态监测的准确性。

PEEP 使肺泡在呼气末仍然保持正压, 可以复张萎缩的肺泡, 改善通气/血流比例, 因此, 增加 PEEP 是改善严重低氧血症患者氧合和肺复张的重要手段^[2-4]。然而, 高水平 PEEP 可增加胸内压, 通过心肺交互作用引起血流动力学改变, 即增加右心室

表 1 正常容量组家猪 PEEP 对血流动力学及 SVV 的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

PEEP 水平	HR (次/min)	MAP (mm Hg)	CVP (mm Hg)	CI (L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	SVI (ml·min ⁻¹ ·m ⁻²)	ITBVI (ml/m ²)	SVRI (kPa·s·L ⁻¹ ·m ⁻²)	SVV (%)
PEEP 0 cm H ₂ O	88 ± 12	118 ± 20	8 ± 3	4.3 ± 1.4	41 ± 4	491 ± 47	215.0 ± 79.1	11 ± 2
PEEP 5 cm H ₂ O	95 ± 18	116 ± 22	8 ± 2	4.0 ± 1.1	41 ± 5	496 ± 49	227.5 ± 48.8	13 ± 2
PEEP 10 cm H ₂ O	105 ± 15 ^a	119 ± 24	10 ± 1	3.5 ± 0.9	33 ± 4 ^a	462 ± 40	249.7 ± 23.6	17 ± 3 ^a
PEEP 15 cm H ₂ O	124 ± 18 ^a	108 ± 18	11 ± 1 ^a	3.1 ± 0.8 ^a	26 ± 7 ^a	440 ± 43 ^a	289.6 ± 81.5 ^a	23 ± 6 ^a

注: PEEP: 呼气末正压, SVV: 每搏量变异, HR: 心率, MAP: 平均动脉压, CVP: 中心静脉压, CI: 心排血指数, SVI: 每搏量指数, ITBVI: 胸腔内血容量指数, SVRI: 外周血管阻力指数; 与 PEEP 0 cm H₂O 比较, ^a $P<0.05$; 1 cm H₂O=0.098 kPa, 1 mm Hg=0.133 kPa

表 2 低容量组家猪 PEEP 对血流动力学及 SVV 的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

PEEP 水平	HR (次/min)	MAP (mm Hg)	CVP (mm Hg)	CI (L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	SVI (ml·min ⁻¹ ·m ⁻²)	ITBVI (ml/m ²)	SVRI (kPa·s·L ⁻¹ ·m ⁻²)	SVV (%)
PEEP 0 cm H ₂ O	115 ± 27	115 ± 19	5 ± 1	3.4 ± 1.1	31 ± 9	396 ± 53	292.0 ± 94.0	20 ± 5
PEEP 5 cm H ₂ O	116 ± 17	115 ± 19	7 ± 1	3.4 ± 1.2	29 ± 7	406 ± 46	271.9 ± 73.2	22 ± 6
PEEP 10 cm H ₂ O	136 ± 24	114 ± 22	8 ± 1 ^a	3.1 ± 0.9 ^a	23 ± 6 ^a	377 ± 25 ^a	285.4 ± 64.4	25 ± 5
PEEP 15 cm H ₂ O	146 ± 31 ^a	90 ± 26 ^a	11 ± 2 ^a	2.3 ± 0.6 ^a	20 ± 6 ^a	355 ± 34 ^a	205.7 ± 60.8	28 ± 4 ^a

注: PEEP: 呼气末正压, SVV: 每搏量变异, HR: 心率, MAP: 平均动脉压, CVP: 中心静脉压, CI: 心排血指数, SVI: 每搏量指数, ITBVI: 胸腔内血容量指数, SVRI: 外周血管阻力指数; 与 PEEP 0 cm H₂O 比较, ^a $P<0.05$; 1 cm H₂O=0.098 kPa, 1 mm Hg=0.133 kPa

表 3 高容量组家猪 PEEP 对血流动力学及 SVV 的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

PEEP 水平	HR (次/min)	MAP (mm Hg)	CVP (mm Hg)	CI (L·min ⁻¹ ·m ⁻²)	SVI (ml·min ⁻¹ ·m ⁻²)	ITBVI (ml/m ²)	SVRI (kPa·s·L ⁻¹ ·m ⁻²)	SVV (%)
PEEP 0 cm H ₂ O	115 ± 18	132 ± 20	11 ± 1	5.0 ± 1.2	49 ± 7	565 ± 94	173.5 ± 40.2	6 ± 2
PEEP 5 cm H ₂ O	116 ± 21	126 ± 15	10 ± 1	5.3 ± 0.9	47 ± 8	523 ± 92	183.8 ± 47.9	11 ± 4 ^a
PEEP 10 cm H ₂ O	117 ± 34	125 ± 17	10 ± 1	4.7 ± 0.9	41 ± 7 ^a	491 ± 76	206.5 ± 37.7	15 ± 4 ^a
PEEP 15 cm H ₂ O	120 ± 25	127 ± 20	12 ± 2	4.5 ± 0.9 ^a	37 ± 9 ^a	473 ± 71 ^a	202.7 ± 27.1	18 ± 4 ^a

注: PEEP: 呼气末正压, SVV: 每搏量变异, HR: 心率, MAP: 平均动脉压, CVP: 中心静脉压, CI: 心排血指数, SVI: 每搏量指数, ITBVI: 胸腔内血容量指数, SVRI: 外周血管阻力指数; 与 PEEP 0 cm H₂O 比较, ^a $P<0.05$; 1 cm H₂O=0.098 kPa, 1 mm Hg=0.133 kPa

后负荷,使腔静脉压力增加,心排血量减少^[5-6]。本研究结果发现,低水平 PEEP(5 cm H₂O)对血流动力学无明显影响,随着 PEEP 水平的提高,家猪血流动力学发生改变,主要表现为 CI、SVI 下降,当 PEEP 增加至 15 cm H₂O 时,每搏量和 MAP 均明显下降,并具有统计学意义,因此,在急性呼吸窘迫综合征(ARDS)患者机械通气时,增加 PEEP 的同时需要关注血流动力学变化。有研究表明,PEEP 增加所导致的心血管效应与肺血管阻力增加有关,心功能曲线右移,静脉回流减少,使心排血量降低^[7]。高 PEEP 导致的心血管效应也将降低氧输送,影响组织氧代谢,因此,PEEP 的心血管效应也是“最佳 PEEP”的重要参考。

PEEP 的心血管效应也受容量状态的影响。本研究中低容量组 PEEP 10 cm H₂O 时即表现为血流动力学明显改变,而正常容量组和高容量组 PEEP 15 cm H₂O 时血流动力学改变明显。在 Fougères 等^[7]的研究中也发现,PEEP 对 CI 的影响与患者基础肺动脉楔压(PAWP)有关,容量不足时 PEEP 的心血管效应更加明显。

由于受胸腔内压力、心肺顺应性等因素影响,CVP 和 PAWP 等临床常用指标并不能准确反映机械通气患者的心脏前负荷^[8-9]及液体反应性^[10-11],而 SVV 等动态指标在机械通气时则有明显优势。研究表明,SVV 预测容量状态和液体反应性的敏感性和特异性均明显高于 CVP^[12-13]。本研究中各容量组间 SVV 比较可见明显差异,说明 SVV 可以准确反映容量状态。但有学者提出,高 PEEP 可能影响动态指标监测容量状态的准确性^[7]。在本研究结果中也可见 PEEP 10 cm H₂O 和 15 cm H₂O 时 SVV 均较 PEEP 0 cm H₂O 时增加;且相关性分析结果显示,PEEP 5 cm H₂O 和 10 cm H₂O 时二者的相关性均较好,而 PEEP 15 cm H₂O 时二者虽然也具有相关性,但 *r* 值有所下降,因此高 PEEP 可能影响 SVV 监测的准确性。既往研究结果认为 SVV>12% 可以作为预测液体反应性的临界值^[14];而 PEEP 对 SVV 的影响结果则表明,当 PEEP 增加时 SVV>12% 已不能作为临界值^[15],在高水平 PEEP 下,SVV 作为评价容量和液体反应性的参考值还需进一步探讨。

综上,随 PEEP 增加可引起胸腔内压的升高,导致心排血量下降,机械通气时 CVP 等传统指标不能准确反映心脏前负荷的改变,而 SVV 等动态指标则显示出优势,低水平 PEEP 下,SVV>12% 可作为预测容量的参考指标,而高水平 PEEP 时其监测准确

性可能受影响,其参考值尚需进一步研究。

参考文献

- [1] Cournand A, Riley RL, Breed ES, et al. Measurement of cardiac output in man using the technique of catheterization of the right auricle or ventricle. *J Clin Invest*, 1945, 24: 106-116.
- [2] Mercat A, Richard JC, Vieille B, et al. Positive end-expiratory pressure setting in adults with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA*, 2008, 299: 646-655.
- [3] Meade MO, Cook DJ, Guyatt GH, et al. Ventilation strategy using low tidal volumes, recruitment maneuvers, and high positive end-expiratory pressure for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA*, 2008, 299: 637-645.
- [4] 杨国辉,王春艳,宁睿.高呼气末正压加肺复张治疗急性呼吸窘迫综合征. *中国危重病急救医学*, 2011, 23: 28-31.
- [5] Luecke T, Pelosi P. Clinical review: positive end-expiratory pressure and cardiac output. *Crit Care*, 2005, 9: 607-621.
- [6] 白静慧,俞伟平,臧彬.应用超声心动技术分析机械通气对左室功能的影响. *中国危重病急救医学*, 2011, 23: 232-235.
- [7] 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. *Crit Care Med*, 2010, 38: 802-807.
- [8] Berkenstadt H, Friedman Z, Preisman S, et al. Pulse pressure and stroke volume variations during severe haemorrhage in ventilated dogs. *Br J Anaesth*, 2005, 94: 721-726.
- [9] 王波,康焰,金小东,等.体位及呼气末正压对危重病患者中心静脉压的影响. *中国危重病急救医学*, 2007, 19: 104-106.
- [10] Lichtwarck-Aschoff M, Zerkavik J, Pfeiffer UJ. Intrathoracic blood volume accurately reflects circulatory volume status in critically ill patients with mechanical ventilation. *Intensive Care Med*, 1992, 18: 142-147.
- [11] Sakka SG, Bredle DL, Reinhart K, et al. Comparison between intrathoracic blood volume and cardiac filling pressures in the early phase of hemodynamic instability of patients with sepsis or septic shock. *J Crit Care*, 1999, 14: 78-83.
- [12] Michard F, Teboul JL. Predicting fluid responsiveness in ICU patients: a critical analysis of the evidence. *Chest*, 2002, 121: 2000-2008.
- [13] Hofer CK, Müller SM, Furrer L, et al. Stroke volume and pulse pressure variation for prediction of fluid responsiveness in patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting. *Chest*, 2005, 128: 848-854.
- [14] Kramer A, Zygun D, Hawes H, et al. Pulse pressure variation predicts fluid responsiveness following coronary artery bypass surgery. *Chest*, 2004, 126: 1563-1568.
- [15] Lambert P, Sloth E, Smith B, et al. Does a positive end-expiratory pressure-induced reduction in stroke volume indicate preload responsiveness? An experimental study. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2007, 51: 415-425.

(收稿日期:2012-02-01) (本文编辑:李银平)