

# 吸气保持法与循环停止法测定 静脉回流参数的对照研究

杨万杰 冯庆国 安友仲 王晴 赵雪峰 李昶 王伟 魏凯 张茹梅 滕洪云

300450 天津市第五中心医院重症医学科(杨万杰、冯庆国、王晴、赵雪峰、李昶、王伟、魏凯、张茹梅、滕洪云); 100044 北京大学人民医院重症医学科(安友仲)

通讯作者: 杨万杰, Email: yangwanjie0709@126.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.11.012

**【摘要】** 目的 观察吸气保持法与循环停止法在测定静脉回流参数时的差异,验证吸气保持法在床旁测定静脉回流参数的可行性。**方法** 实验动物为健康杂种家猪,根据对同一只动物先后实施的测量方法不同分为吸气保持组和循环停止组。第一步:按照 12 s 吸气保持法描记出第一条静脉回流曲线,获得第一个平均体循环充盈压(Pmsf1);随后 15 min 内快速输入 0.9% 羟乙基淀粉氯化钠溶液 500 mL,然后用同样方法描记第二条静脉回流曲线,获得第二个平均体循环充盈压(Pmsf2);再通过转换坐标图的方法,获得 Pmsf1、Pmsf2 对应的应激容积(Vstress1、Vstress2)。第二步:获得 Pmsf2 和 Vstress2 后,立即实施循环停止措施,当心电波显示平直、各压力数值稳定后,即获得循环停止时的平均体循环充盈压(Pmsf3);随后放血,待血液不再流出且各压力点稳定在 0 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)时,计算此时间段所有流出液体量与所有输入液体量的差值,即获得循环停止时的应激容积(Vstress3)。比较两种方法获得的静脉回流参数(Pmsf2 与 Pmsf3, Vstress2 与 Vstress3)并进行统计学分析。**结果** 最后有 50 只动物完成了实验观察。① 描记两条静脉回流曲线之间输入液体前后血流动力学参数变化:与输液前比较,输液后心率(HR)和平均动脉压(MAP)无明显改变[HR(次/min):110.88±8.95 比 113.70±7.84,  $t=1.677$ ,  $P=0.097$ ; MAP(mmHg):114.04±5.25 比 112.46±5.04,  $t=-1.534$ ,  $P=0.128$ ],中心静脉压(CVP)、心排血量(CO)和全心舒张期末容积(GEDV)均明显升高[CVP(mmHg):6.24±0.87 比 3.92±0.75,  $t=-14.265$ ,  $P=0.000$ ; CO(L/min):5.98±0.15 比 5.45±0.12,  $t=-19.741$ ,  $P=0.000$ ; GEDV(mL/kg):735.46±12.56 比 676.62±6.67,  $t=-29.268$ ,  $P=0.000$ ]。② 吸气保持法与循环停止法获得的静脉回流参数比较差异均无统计学意义[Pmsf2 与 Pmsf3(mmHg):23.11±0.53 比 22.82±0.94,  $t=1.910$ ,  $P=0.059$ ; Vstress2 与 Vstress3(mL/kg):13.10±15.79 比 10.60±1.49,  $t=-1.113$ ,  $P=0.268$ ]。**结论** 吸气保持法与经典的循环停止法在测定 Pmsf 和 Vstress 上无明显差异,印证了吸气保持法测定静脉回流参数的可行性。

**【关键词】** 静脉回流; 体循环充盈压; 应激容积; 吸气保持

**基金项目:**天津市滨海新区医药卫生科技项目(2012BWK002);天津市滨海新区塘沽科技兴区项目(2013KJXQ01);国家发明专利(ZL 2012 1 0195200.8)

**Control study of inspiratory holding and circulatory arresting method in the determination of parameters of venous return** Yang Wanjie, Feng Qingguo, An Youzhong, Wang Qing, Zhao Xuefeng, Li Chang, Wang Wei, Wei Kai, Zhang Rumei, Teng Hongyun

Department of Critical Care Medicine, Tianjin Fifth Center Hospital, Tianjin 300450, China (Yang WJ, Feng QG, Wang Q, Zhao XF, Li C, Wang W, Wei K, Zhang RM, Teng HY); Department of Critical Care Medicine, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China (An YZ)

Corresponding author: Yang Wanjie, Email: yangwanjie0709@126.com

**【Abstract】 Objective** To explore the correlation of inspiratory holding and circulatory arresting method in the determination of venous reflux parameters and validate the feasibility of inspiratory holding method determination for venous return parameters at the bedside. **Methods** Health mongrel pigs were divided into inspiratory holding and circulatory arresting groups based on the measurement methods implemented in them. Firstly, the first venous return curve was traced according to the 12 seconds inspiratory holding method and the first mean circulatory filling pressure (Pmsf1) was obtained. Then 500 mL 0.9% hydroxyethyl starch sodium chloride solution was infused rapidly within 15 minutes, and the second venous return curve was traced by the same way and the second mean circulatory filling pressure (Pmsf2) was obtained. Besides, based on the method of conversion of axis, the stress volume of Pmsf1 and Pmsf2 (Vstress1 and Vstress2) were calculated. Secondly, circulatory arresting was implemented immediately following Pmsf2 and Vstress2, and the mean circulatory filling pressure (Pmsf3) was obtained when the electrocardiogram oscilloscope was straight and pressure numerical was stable; following Pmsf3, bloodletting was started and the blood volume was recorded when the bloodletting stopped and pressure points were stable at 0 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa). The stress volume (Vstress3) can be obtained from the gap of liquids in and out during this period. Finally, venous return parameters (Pmsf2 and Pmsf3, Vstress2 and Vstress3) obtained by those two methods were compared and statistically

analyzed. **Results** Finally, 50 animals were observed. ① Comparison of hemodynamic parameters between the venous return curve after the infusion was traced: there were no significant differences in heart rate (HR) and mean arterial pressure (MAP) before and after liquid infusion [HR (bpm):  $113.70 \pm 7.84$  vs.  $110.88 \pm 8.95$ ,  $t = 1.677$ ,  $P = 0.097$ ; MAP (mmHg,  $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$ ):  $112.46 \pm 5.04$  vs.  $114.04 \pm 5.25$ ,  $t = -1.534$ ,  $P = 0.128$ ]. Compared with the data before liquid infusion, central venous pressure (CVP), cardiac output (CO) and global end-diastolic volume (GEDV) after liquid infusion were significantly increased [CVP (mmHg):  $6.24 \pm 0.87$  vs.  $3.92 \pm 0.75$ ,  $t = -14.265$ ,  $P = 0.000$ ; CO (L/min):  $5.98 \pm 0.15$  vs.  $5.45 \pm 0.12$ ,  $t = -19.741$ ,  $P = 0.000$ ; GEDV (mL/kg):  $735.46 \pm 12.56$  vs.  $676.62 \pm 6.67$ ,  $t = -29.268$ ,  $P = 0.000$ ]. ② There were no significant statistical differences in parameters obtained by inspiratory holding and circulatory arresting methods [Pmsf2 and Pmsf3 (mmHg):  $23.11 \pm 0.53$  vs.  $22.82 \pm 0.94$ ,  $t = 1.677$ ,  $P = 0.059$ ; Vstress2 and Vstress3 (mL/kg):  $13.10 \pm 15.79$  vs.  $10.60 \pm 1.49$ ,  $t = -1.113$ ,  $P = 0.268$ ]. **Conclusion** No significant difference was found in the measurement of Pmsf and Vstress between inspiratory holding and classic circulatory arresting methods, which confirmed the feasibility of inspiratory holding method in the measurement of venous return parameters.

**【Key words】** Venous return; Mean systemic filling pressure; Stress volume; Inspiratory hold

**Fund program:** Tianjin Binhai New Area Medical and Health Sci-technology Projects (2012BWK002); Tianjin Binhai New Area to Revitalize the Tangu Region with Science and Technology Projects (2013KJXQ01); National Invention Patent (ZL 2012 1 0195200.8)

静脉回流系统是血流动力学监测的重要内容,其重要参数通常只能在动物实验或极端状态(如循环停止)下获得,很难应用到临床,其中最具代表性的两个参数为平均体循环充盈压(Pmsf)和产生此压力的应激容积(Vstress)。有学者通过吸气保持法在床旁实现了对这两个参数的测量<sup>[1]</sup>,该方法只需要通过获得中心静脉压(CVP)和心排血量(CO)这两个临床上容易获得的参数即可实施,为使静脉回流参数走向临床提供了新的思路<sup>[2-4]</sup>。但有关吸气保持法与传统循环停止法之间的相关性研究尚未见报道。故本研究在同一动物、同一种容量状态下对两种方法的测量结果进行比较,以验证吸气保持法在临床推广应用的可能性。

## 1 材料与方法

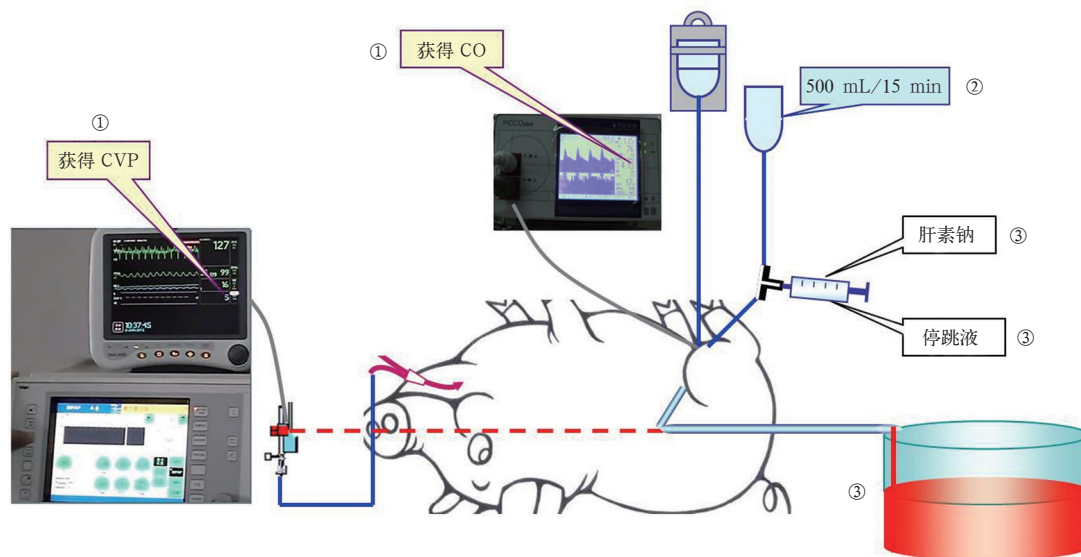
**1.1 实验动物及分组:**健康杂种家猪由北京千喜鹤食品有限公司提供(动物合格证号:18610329262),体重50~55 kg,平均( $53.04 \pm 3.10$ )kg;身长100~115 cm,平均( $103.50 \pm 4.08$ )cm;11~14月龄,平均( $13.47 \pm 1.48$ )月龄。根据对同一只动物先后实施的测量方法不同,分为吸气保持组和循环停止组。实验过程中动物处置方法符合动物伦理学要求,并通过了天津市第五中心医院伦理委员会批准。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 机械通气及监测方法:**动物称重后仰卧位固定,外周静脉持续泵入芬太尼、咪达唑仑和维库溴铵进行麻醉。连接Sola8000i监护仪(美国GE公司)持续监测心电图变化。局麻下经第3~4或第4~5气管软骨环切开气管置入气管导管,连接Evita 4呼吸机(德国Dräger公司)进行机械通气,采用同步间歇指令通气模式,吸入氧浓度( $\text{FiO}_2$ )0.60,通气频率

20次/min,呼气末正压(PEEP)5 cmH<sub>2</sub>O(1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa),潮气量(VT)6~8 mL/kg。经左侧颈内静脉平齐第3气管软骨环处置入中心静脉导管,深度13~15 cm;经右侧颈内静脉置入另一根中心静脉导管,连接Sola8000i监护仪(美国GE公司)持续监测CVP。经左侧股动脉置入,深度为16 cm,连接脉搏指示连续心排血量(PiCCO)热稀释导管容量监护仪(德国Pulsion公司);经右侧股动脉置入Swan-Ganz导管鞘管,以备放血。平齐动物腋中线第4肋间放置一长120 cm的标尺,固定在动物台旁,用于将测定CVP、股动脉压的压力传感器机械调零的“0”点以及置入右股动脉准备放血的导管最高点固定于同一高度。实验设备安装见图1。

**1.2.2 应用12 s吸气保持法获得静脉回流参数(Pmsf和Vstress):**由左侧中心静脉导管于4 s内推入冷生理盐水,连续监测3次取均值,获得第一组PiCCO数值。参照Mass等<sup>[1]</sup>的“12 s吸气保持法”,对同一个动物依次使用15、25、35、45、55 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)的吸气压力,每个压力下均吸气保持12 s,取后3 s的CVP和CO。在压力流量图上依次获得5个压力流量点,应用相关性分析软件描记出第一条静脉回流曲线,延长静脉回流曲线交于X轴,此交点对应的CVP即为Pmsf,记作Pmsf1。在第二条静脉回流曲线描记前,首先于15 min内输入0.9%羟乙基淀粉氯化钠溶液500 mL,注射冷生理盐水后获得第二组PiCCO数值,同样用吸气保持法描记出第二条静脉回流曲线,获得第2个Pmsf,记作Pmsf2。转换坐标图,将Pmsf作为Y轴,其上的两个压力点即为Pmsf1和Pmsf2;以Vstress作为X轴,其上对应Y轴上Pmsf1和Pmsf2的两个点记



注：① 吸气保持法测定心排血量(CO)和中心静脉压(CVP)的设备；② 获得第一条静脉回流曲线后，快速(15 min)内输入500 mL液体，再应用吸气保持法测定第二条静脉回流曲线；③ 循环停止法时静脉注射肝素和停跳液的通路以及放血时所用的器皿；红色虚线表示放血导管最高点、测定CVP的压力传感器“0”点及脉搏指示连续心排血量(PiCCO)压力传感器“0”点均在同一水平

图1 吸气保持法与循环停止法测定家猪静脉回流参数的实验方法及过程

表1 12 s 吸气保持法测定50只家猪静脉回流参数时输入500 mL液体后血流动力学变化比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	动物数(只)	HR(次/min)	MAP(mmHg)	CVP(mmHg)	CO(L/min)	GEDV(mL/kg)
输液前	50	113.70 ± 7.84	112.46 ± 5.04	3.92 ± 0.75	5.45 ± 0.12	676.62 ± 6.67
输液后	50	110.88 ± 8.95	114.04 ± 5.25	6.24 ± 0.87	5.98 ± 0.15	735.46 ± 12.56
t 值		1.677	-1.534	-14.265	-19.741	-29.268
P 值		0.097	0.128	0.000	0.000	0.000

注：HR 为心率，MAP 为平均动脉压，CVP 为中心静脉压，CO 为心排血量，GEDV 为全心舒张期末容积；1 mmHg=0.133 kPa

作  $V_{stress1}$  和  $V_{stress2}$ 。已知这两个容量点之间的差值为 500 mL，由此在坐标图上可获得两个固定的压力与容积交点，两点连接成一条线，此线段的斜率即为静脉回流的斜率，延长线段与 X 轴相交，计算出  $V_{stress2}$  的绝对值。

**1.2.3 应用循环停止法获得静脉回流参数(Pmsf 和  $V_{stress}$ )：**获得 Pmsf2 和  $V_{stress2}$  后立即实施循环停止措施。自左侧颈内静脉推入普通肝素钠 100 mg，以 100 mL 生理盐水冲管。约 5 min 后推入 10% 氯化钾溶液 40 ~ 50 mL，用 100 mL 生理盐水冲管直至心电波显示平直，待 CVP 和平均动脉压(MAP)稳定后，此时的压力即为循环停止法获得的 Pmsf，记作 Pmsf3。自右侧股动脉导管放血至带有刻度的广口瓶，待血液不再流出且 CVP 和 MAP 稳定在 0 mmHg 时，以此时间段流出的血量加上此时间段的尿量，再减掉测定第二条静脉回流曲线后输入的所有液体量(包括第 2 次测定 PiCCO 值注射的冷生理盐水、应用的肝素和注射停跳液等液体)即为循环停止法获得的  $V_{stress}$ ，记作  $V_{stress3}$ 。

**1.3 观察指标：**记录实验动物在获得两条静脉回流曲线之间输入 500 mL 液体后的心率(HR)、MAP、CVP、CO 和全心舒张期末容积(GEDV)。记录同一只动物先后实施吸气保持法和循环停止法所获得的 Pmsf(Pmsf2、Pmsf3)及  $V_{stress}$ ( $V_{stress2}$ 、 $V_{stress3}$ )。

**1.4 统计学处理：**使用 SPSS 11.5 软件进行统计学处理，正态分布的计量资料以均数 ± 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示，组间比较采用配对 t 检验， $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 描记两条静脉回流曲线之间输入液体后血流动力学参数的变化(表 1)：**最终对 50 只猪完成了实验观察，共获得 50 组数据。与输液前比较，输液后 HR 和 MAP 差异无统计学意义(均  $P > 0.05$ )，CVP、CO 和 GEDV 均显著升高(均  $P < 0.01$ )。

**2.2 吸气保持法和循环停止法获得的静脉回流参数比较(表 2)：**循环停止组与吸气保持组所测得的 Pmsf 值和  $V_{stress}$  值比较差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。



表2 两种方法测定50只家猪  
静脉回流参数自身前后对照比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	动物数(只)	Pmsf(mmHg)	Vstress(mL/kg)
吸气保持组	50	23.11 ± 0.53	13.10 ± 15.79
循环停止组	50	22.82 ± 0.94	10.60 ± 1.49
t 值		1.910	-1.113
P 值		0.059	0.268

注: Pmsf为平均体循环充盈压, Vstress为产生Pmsf的应激容积; 1 mmHg=0.133 kPa

### 3 讨论

血流动力学监测始终贯穿于重症患者救治的全过程。目前对动脉系统的监测技术已经在临床广泛开展,如肺动脉系统压力监测、PiCCO监测等,但对于静脉系统的了解还较少。静脉是循环系统中的容量血管,储备全身血液的60%~70%,随着神经和激素的调节而不断产生变化,受到多种因素的影响,静脉回流的多少决定着心脏前负荷、动脉系统及整个血流动力学的变化。Monnet等<sup>[5]</sup>的研究显示,应用去甲肾上腺素后,不仅可引起MAP的增高,还可引起心脏前负荷的增加和前负荷反应性的降低,说明血管活性药物对静脉回流系统有影响,也说明了静脉回流系统在整个血液循环中的重要地位。

静脉回流系统包括其上游的压力、下游的压力和静脉回流阻力。下游压力即CVP,上游压力称为Pmsf,产生Pmsf的容积称为Vstress。临床上能常规获得CVP,但CVP仅是静脉回流系统下游的压力,是静脉回流系统中的一个片段,不能反映静脉回流系统全貌,这可能也是多数学者认为CVP不能反映容量状态的真正原因<sup>[6]</sup>。于是获得Pmsf及Vstress就显得尤为重要。然而这两个参数的获得非常困难,基本只能在动物实验中获得。1894年, Bayliss和Starling<sup>[7]</sup>进行了动物实验,在犬股动脉、股静脉、门静脉、下腔静脉、主动脉测压,通过迷走神经刺激法令心跳停止后发现各处压力迅速平衡,他们将此压力称为Pmsf。此后有几名研究者在不同动物身上测得Pmsf<sup>[8-11]</sup>。到1940年, Starr<sup>[12]</sup>把Pmsf假定为静脉回流的驱动压,第一次在刚刚死亡30 min内的人体测量了Pmsf。1957年, Guyton等<sup>[13]</sup>通过动物(犬)实验描记出静脉回流曲线并通过斜率计算出静脉回流阻力,使得静脉回流全貌得以窥见。对Vstress的测定则更加困难,1998年, Magder和De Varennes<sup>[14]</sup>对实施体外循环的心脏外科或大血管手术患者通过暂时停止体外循环而让血流入体外循环池内,测得Vstress为20.2 mL/kg。但以上数据均在一些极端情况下获得, Pmsf和Vstress依然无

法“走到”床旁。直到2009年, Mass等<sup>[1, 15-16]</sup>通过12 s吸气保持法实现了Pmsf、Vstress的床旁测量,使静脉回流参数从实验走向床旁成为可能。

很显然,循环停止时测得的Pmsf和在此基础上放血所获得的Vstress是相对权威的。包括吸气保持法在内的其他方法可能受到多种因素干扰。本研究应用吸气保持法与传统的循环停止法在同一动物、同一种容量状态下测得的静脉回流参数进行比较,以验证吸气保持法在临床广泛应用的可能性。结果发现,在同一生物体、相对同一容量状态下测定Pmsf和Vstress,吸气保持法与在极端情况下才能进行的循环停止法有较好的一致性,印证了吸气保持法测定静脉回流参数的可行性,为临床应用提供了实验依据。本研究显示,虽然两种方法获得的Pmsf和Vstress无统计学差异,但循环停止法的数值低于吸气保持法。考虑可能因为从实施动物心脏停跳措施到心脏实际停跳、从开始放血至放血结束均需要一定时间,此期间动物发生缺血缺氧等病理生理变化,毛细血管渗漏,一部分液体可能会进入到组织间,使得循环停止法获得的数值偏低。

在临床实际中,如果获得了完整的静脉回流参数,再结合Frank-Starling曲线便可使血流动力学的全貌得以呈现<sup>[17]</sup>。该方法可用于对休克等多种疾病复杂病理生理学过程的监测,从而精细化进行容量管理,个体化调整血管活性药物等<sup>[18-20]</sup>。对于静脉回流参数的临床应用,很多学者充满信心<sup>[15]</sup>。当然,目前仍然存在一定的争议<sup>[21-22]</sup>。相信在这样的“争议”过程中,测量静脉回流参数的方法将不断被完善,其临床应用将不断被拓展<sup>[23-25]</sup>,最终使静脉回流参数的测量真正走向临床。

本研究存在不足,虽然两种方法在同一生物体上进行,但因生物体的血管受神经支配和化学物质影响,具有弹性和通透性,故“同一容量状态”较难保证,毕竟两组参数之间的获得存在一定的时间差,此期间如果发生毛细血管渗漏<sup>[26-28]</sup>,可能对数值有一定干扰<sup>[29-30]</sup>。同时,在研究过程中也发现吸气保持法本身的不足之处。首先,吸气保持法测定CVP和CO时对实验动物状态的要求相当严格,而5个点的获得需要一定时间,此期间的任何干扰因素均可能导致相应点的偏移,进而导致斜率的偏移。另外,吸气保持法操作相对复杂,尚需要进一步改进以提高医务人员的操作依从性。

总之,本研究表明,吸气保持法与循环停止法测

得的 Pmsf、Vstress 无差异,印证了吸气保持法测定静脉回流参数的可行性,使其得以在床旁实施,初步实现了静脉回流参数从实验室走向临床的目标。

### 参考文献

- [1] Maas JJ, Geerts BF, van den Berg PC, et al. Assessment of venous return curve and mean systemic filling pressure in postoperative cardiac surgery patients [J]. *Crit Care Med*, 2009, 37 (3): 912-918. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181961481.
- [2] 陈波,冯玉峰,温顺,等.血液灌流对脓毒性休克患者血管外肺水等相关因素影响的临床研究[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2015, 22 (5): 521-523. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.05.017.  
Chen B, Feng YF, Wen S, et al. A clinical study of hemoperfusion on extravascular lung water and other related factors of patients with septic shock [J]. *Chin J TCM WM Crit Care*, 2015, 22 (5): 521-523. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.05.017.
- [3] 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. 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.
- [4] 俞志刚,杨婕,陈燕琼,等.不同剂量参附注射液在治疗老年难治性慢性充血性心力衰竭中的临床价值[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2015, 22 (5): 496-498. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.05.011.  
Yu ZG, Yang J, Chen YQ, et al. Clinical effects of different dosages of Shenfu injection for treatment of elderly patients with refractory chronic congestive heart failure [J]. *Chin J TCM WM Crit Care*, 2015, 22 (5): 496-498. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.05.011.
- [5] Monnet X, Jabot J, Maizel J, et al. Norepinephrine increases cardiac preload and reduces preload dependency assessed by passive leg raising in septic shock patients [J]. *Crit Care Med*, 2011, 39 (4): 689-694. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318206d2a3.
- [6] Lichtwarck-Aschoff M, Zeravik J, Pfeiffer UJ. Intrathoracic blood volume accurately reflects circulatory volume status in critically ill patients with mechanical ventilation [J]. *Intensive Care Med*, 1992, 18 (3): 142-147. DOI: 10.1007/BF01709237.
- [7] Bayliss WM, Starling EH. Observations on venous pressures and their relationship to capillary pressures [J]. *J Physiol*, 1894, 16 (3-4): 159-318. DOI: 10.1113/jphysiol.1894.sp000498.
- [8] Pinsky MR. Instantaneous venous return curves in an intact canine preparation [J]. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 1984, 56 (3): 765-771.
- [9] Guyton AC. Determination of cardiac output by equating venous return curves with cardiac response curves [J]. *Physiol Rev*, 1955, 35 (1): 123-129.
- [10] Versprille A, Jansen JR. Mean systemic filling pressure as a characteristic pressure for venous return [J]. *Pflugers Arch*, 1985, 405 (3): 226-233. DOI: 10.1007/BF00582565.
- [11] Hiesmayr M, Jansen JR, Versprille A. Effects of endotoxin infusion on mean systemic filling pressure and flow resistance to venous return [J]. *Pflugers Arch*, 1996, 431 (5): 741-747. DOI: 10.1007/BF02253838.
- [12] Starr I. Role of the "static blood pressure" in abnormal increments of venous pressure, especially in heart failure. II. clinical and experimental studies [J]. *Ame J Med Sci*, 1940, 199 (1): 40-54. DOI: 10.1097/00000441-194001000-00005.
- [13] Guyton AC, Lindsey AW, Abernathy B, et al. Venous return at various right atrial pressures and the normal venous return curve [J]. *Am J Physiol*, 1957, 189 (3): 609-615.
- [14] Magder S, De Varennes B. Clinical death and the measurement of stressed vascular volume [J]. *Crit Care Med*, 1998, 26 (6): 1061-1064. DOI: 10.1097/00003246-199806000-00028.
- [15] Jansen JR, Maas JJ, Pinsky MR. Bedside assessment of mean systemic filling pressure [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2010, 16 (3): 231-236. DOI: 10.1097/MCC.0b013e3183283378185.
- [16] Maas JJ, Geerts BF, Jansen JR. Evaluation of mean systemic filling pressure from pulse contour cardiac output and central venous pressure [J]. *J Clin Monit Comput*, 2011, 25 (3): 193-201. DOI: 10.1007/s10877-011-9294-0.
- [17] Maas JJ, Pinsky MR, Aarts LP, et al. Bedside assessment of total systemic vascular compliance, stressed volume, and cardiac function curves in intensive care unit patients [J]. *Anesth Analg*, 2012, 115 (4): 880-887. DOI: 10.1213/ANE.0b013e31825fb01d.
- [18] Cecconi M, Aya HD, Geisen M, et al. Changes in the mean systemic filling pressure during a fluid challenge in postsurgical intensive care patients [J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39 (7): 1299-1305. DOI: 10.1007/s00134-013-2928-6.
- [19] Gupta K, Sondergaard S, Parkin G, et al. Applying mean systemic filling pressure to assess the response to fluid boluses in cardiac post-surgical patients [J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41 (2): 265-272. DOI: 10.1007/s00134-014-3611-2.
- [20] Uemura K, Kawada T, Kamiya A, et al. Prediction of circulatory equilibrium in response to changes in stressed blood volume [J]. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2005, 289 (1): H301-307. DOI: 10.1152/ajpheart.01237.2004.
- [21] Parkin G. Re: Mean systemic filling pressure: we can now estimate it but for what? [J]. *Intensive Care Med*, 2014, 40 (1): 139. DOI: 10.1007/s00134-013-3089-3.
- [22] Teboul JL. Mean systemic filling pressure: we can now estimate it, but for what? Response to comment by Parkin [J]. *Intensive Care Med*, 2014, 40 (1): 140. DOI: 10.1007/s00134-013-3104-8.
- [23] Maas JJ, de Wilde RB, Aarts LP, et al. Determination of vascular waterfall phenomenon by bedside measurement of mean systemic filling pressure and critical closing pressure in the intensive care unit [J]. *Anesth Analg*, 2012, 114 (4): 803-810. DOI: 10.1213/ANE.0b013e318247fa44.
- [24] Maas JJ, Pinsky MR, Geerts BF, et al. Estimation of mean systemic filling pressure in postoperative cardiac surgery patients with three methods [J]. *Intensive Care Med*, 2012, 38 (9): 1452-1460. DOI: 10.1007/s00134-012-2586-0.
- [25] Neto AS. Decrease in mean systemic filling pressure, increase in unstressed blood volume, or both? [J]. *Crit Care Med*, 2013, 41 (2): e19. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318274d282.
- [26] 杨万杰,任朝来,张如梅.创伤后毛细血管渗漏综合征的血流动力学变化规律及意义[J]. *中华危重病急救医学*, 2009, 21 (1): 55-57. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2009.01.017.  
Yang WJ, Ren CL, Zhang RM. Hemodynamic changes and significance of post-traumatic capillary leak syndrome [J]. *Chin Crit Care Med*, 2009, 21 (1): 55-57. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2009.01.017.
- [27] 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. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2013.01.010.  
Yang WJ, Feng QG, Wei K, et al. The impact of early restrictive positive fluid balance strategy on the prognosis of patients with severe trauma [J]. *Chin Crit Care Med*, 2013, 25 (1): 36-39. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2013.01.010.
- [28] 崔慧静,杨万杰,滕洪云,等. PiCCO 监测对创伤后毛细血管渗漏综合征患者液体治疗及护理的指导意义[J]. *中华危重病急救医学*, 2015, 27 (11): 916-919. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.11.010.  
Cui HJ, Yang WJ, Teng HY, et al. Significance of PiCCO monitor in guiding liquid treatment and nursing in patients with post-trauma capillary leak syndrome [J]. *Chin Crit Care Med*, 2015, 27 (11): 916-919. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.11.010.
- [29] 王家宁,平伟,樊晓武,等.胸外科术后毛细血管渗漏综合征补液治疗策略的临床研究[J]. *临床外科杂志*, 2016, 24 (4): 290-292. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6483.2016.04.018.  
Wang JN, Ping W, Fan XW, et al. Clinical study of fluid therapy strategy for capillary leak syndrome after thoracic surgery [J]. *J Clin Surg*, 2016, 24 (4): 290-292. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6483.2016.04.018.
- [30] 张独侗,吴霄迪,姜素文,等.甲型 H3N2 型流感病毒感染后严重系统性毛细血管渗漏综合征致死 1 例及文献回顾[J]. *中国急救医学*, 2016, 36 (1): 94-97. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2016.01.022.  
Zhang DY, Wu XD, Jiang SW, et al. A dead case for serious systemic capillary leak syndrome after infection of H3N2 influenza and the literature review [J]. *Chin J Crit Care Med*, 2016, 36 (1): 94-97. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2016.01.022.

(收稿日期: 2016-03-08)

(本文编辑: 保健媛, 李银平)