DOI:10.16016/j.2097-0927.202107084

每搏连续无创血压监测系统监测脉压变异度指导外科术后患者液体复苏的临床研究

薛贻敏[1],黄廷烽[1],陈美琪[1],范桥连[1],林风辉[1],陈 锋[2] 350001 福州,福建医科大学省立临床医学院,福建省立医院:重症医学四科[1];急诊科,福建省急诊医学重点实验室[2]

[**摘要**] **目的** 探讨每搏连续无创血压监测系统(continuous non-invasive arterial pressure monitor, CNAP)监测的脉压变异度(pulse pressure variability, PPV)在指导外科术后患者液体复苏中的作用。**方法** 采用随机对照研究方案,选择2018年8月至2020年8月福建省立医院重症医学科收治的外科术后低血容量患者,按照随机数字表法分为PPV组和中心静脉压(central venous pressure, CVP)组,分别以CNAP监测PPV(<10%)和CVP(8~12 mmHg)为目标导向来指导液体复苏。主要观察指标为复苏达标时间、机械通气时间、复苏达标累计液体平衡量及心肺并发症发生率;次要观察指标为复苏达标时的血流动力学指标[心率(heart rate, HR)、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、CVP、心排血指数(cardiac index, CI)、PPV]和组织氧代谢指标[中心静脉血氧饱和度(central venous oxygen saturation, $ScvO_2$)、动脉血乳酸(lactic acid, Lac)、氧供指数(oxygen delivery index, DO_2I)、氧耗指数(oxygen consumption index, VO_2I)、氧摄取率(oxygen uptake rate, ERO_2)]。**结果** 共纳入78例患者,其中PPV组38例CVP组40例。两组患者入组时的一般临床资料、血流动力学和组织氧代谢指标无统计学差异。复苏后,两组患者的血流动力学及组织氧代谢指标均有所改善,MAP、CI及PPV无统计学差异,但PPV组的CVP明显低于CVP组($P<0.05$)。PPV组的$ScvO_2$、DO_2I、VO_2I及ERO_2均明显高于CVP组($P<0.05$),且Lac明显低于CVP组($P<0.05$)。PPV组的复苏达标时间及机械通气时间明显缩短,累计液体平衡量明显减少,心肺并发症发生率明显降低($P<0.05$)。**结论** 每搏连续无创血压监测系统监测脉压变异度可以指导术后低血容量患者的早期液体复苏,有助于尽快稳定血流动力学状态,改善机体组织灌注,缩短机械通气时间,减少心肺并发症的发生风险。

[**关键词**] 每搏连续无创血压监测系统;术后;液体复苏;脉压变异度
[**中图法分类号**] R443.5;R654.1 [**文献标志码**] A

Fluid resuscitation with guidance of pulse pressure variability measured by continuous non-invasive arterial pressure monitor in postoperative hypovolemic patients: a prospective randomized controlled trial

XUE Yimin[1], HUANG Tingfeng[1], CHEN Meiqi[1], FAN Qiaolian[1], LIN Fenghui[1], CHEN Feng[2] [1]Fourth Department of Intensive Care Unit, [2]Department of Emergency, Fujian Provincial Key Laboratory of Emergency Medicine, Fujian Provincial Hospital, Shengli Clinical Medical College of Fujian Medical University, Fuzhou, Fujian Province, 350001, China

[**Abstract**] **Objective** To investigate the effectiveness of pulse pressure variability (PPV) measured by continuous non-invasive arterial pressure (CNAP) monitor in guidance of fluid resuscitation in postoperative hypovolemic patients. **Methods** A prospective randomized controlled trial was conducted on the postoperative hypovolemic patients admitted to Department of Intensive Care Unit of Fujian Provincial Hospital

[**基金项目**] 福建省重症医学中心建设项目(2017-510);福建省卫生健康委青年科研课题(2019-2-1)
[**通信作者**] 陈 锋,E-mail:cf9066@126.com

2097-0927/Copyright © 2022, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循CC BY许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

from August 2018 to August 2020. They were randomly divided into PPV group and central venous pressure (CVP) group, and fluid resuscitation targeted by PPV <10% (measured by CNAP) and CVP 8~12 mmHg were performed respectively. The main outcomes included fluid resuscitation time, duration of mechanical ventilation, cumulative fluid balance and incidence of cardiopulmonary complications. The secondary outcomes included hemodynamics [heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), CVP, cardiac index (CI), and PPV] and tissue oxygen metabolism [central venous oxygen saturation ($ScvO_2$), arterial lactic acid (Lac), oxygen delivery index (DO_2I), oxygen consumption index (VO_2I), and oxygen uptake rate (ERO_2)] as the goal of fluid resuscitation was arrived. **Results** A total of 78 patients were enrolled, including 38 in PPV group and 40 in CVP group. There were no significant differences in the baseline, hemodynamic and tissue oxygen metabolism parameters between the 2 groups (all $P>0.05$). The hemodynamic and tissue oxygen metabolism parameters were significantly improved as the goal of fluid resuscitation was arrived. No significant differences were seen in MAP, CI and PPV between the 2 groups after fluid resuscitation (all $P>0.05$), while CVP in the PPV group was significantly lower than that of the CVP group ($P<0.05$). Compared with the CVP group, the $ScvO_2$, DO_2I, VO_2I and ERO_2 were increased significantly after fluid resuscitation in the PPV group (all $P<0.05$), while Lac was decreased obviously in the PPV group ($P<0.05$). Furthermore, the fluid resuscitation time and duration of mechanical ventilation were notably shortened, the cumulative fluid balance was remarkably decreased, and the incidence of cardiopulmonary complications was statistically reduced in the PPV group than the CVP group (all $P<0.05$). **Conclusion** PPV measured by CNAP monitor can be used to guide the early fluid resuscitation in postoperative hypovolemic patients, which contributes to stabilizing the hemodynamic state more timely, improving the tissue oxygen metabolism, shortening the duration of mechanical ventilation, and reducing the risk of cardiopulmonary complications.

[**Key words**] continuous non-invasive arterial pressure monitor; postoperation; fluid resuscitation; pulse pressure variability

Supported by the Construction Project for Critical Care Medical Center of Fujian Province (2017-510) and the Youth Scientific Research Project of Fujian Provincial Health Commission (2019-2-1). Corresponding author: CHEN Feng, E-mail: cf9066@126.com

受术前禁食、全麻、手术创伤及应激等因素影响,外科术后患者容易出现不同程度的低血容量状态,有效的循环血量是维持合适的心脏前负荷、保证器官和组织灌注的重要前提[1]。已有研究表明,外科术后早期合理的液体复苏有助于减少术后相关并发症、改善患者预后,故尽早识别低血容量状态、优化术后的液体管理尤为重要[2-3]。每搏连续无创血压监测系统(continuous non-invasive arterial pressure monitor, CNAP)是无创动脉波轮廓分析技术的代表,在快速血流动力学评估中具有独特优势,近年来已广泛应用于临床[4]。脉压变异度(pulse pressure variability, PPV)可反映通气周期中脉压的变异情况,是指导液体复苏治疗的可靠指标[5],但通过 CNAP 监测获得的 PPV 对外科术后低血容量患者液体复苏的指导价值尚不清楚。本研究通过 CNAP 监测血流动力学状态,综合对比分析 PPV 与中心静脉压(central venous pressure, CVP)指导外科术后低血容量患者液体复苏的效果,探讨 CNAP 监测获得的 PPV 在外科术后的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用前瞻性随机对照研究方法,选取 2018 年 8 月至 2020 年 8 月收治在福建省立医院重症医学科(ICU)的外科术后低血容量患者。

入选标准:①年龄>18 岁;②术后即入 ICU;③机械通气,无自主呼吸;④无心律失常;⑤PPV>10%;⑥有血容量不足的证据且排除其他类型休克,满足以下任意一项:收缩压<90 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)或较基础血压下降>40 mmHg 或需要血管活性药物维持平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)>65 mmHg;存在组织低灌注的表现,包括肢端湿冷、神志烦躁或淡漠,尿量<0.5 mL·kg^{-1}·h^{-1} 或动脉血乳酸(lactic acid, Lac)进行性升高;CVP<5 mmHg;肺动脉楔压<8 mmHg[6]。

排除标准:①术后无法控制的活动性出血;②体外循环下心脏手术后患者;③移植或烧伤术后患者;④接受主动脉球囊反搏或体外膜肺氧合治疗的患者;⑤心、

肝、肾等重要脏器功能衰竭者;⑥严重上肢动脉硬化或CNAP监测末梢灌注信号无法通过者;⑦严重水肿或手指缺失无法使用指套者。

剔除标准:需二次手术、自动出院、死亡的患者。

本研究通过本院伦理委员会批准审核(批号:K2018-06-028)。

1.2 研究方法

1.2.1 基本情况 患者转入ICU后按照随机数字表法分为PPV组和CVP组,记录患者年龄、性别、体质指数(body mass index, BMI)、手术类型、手术时间、呼吸机参数、左室射血分数、急性生理学与慢性健康状况评分系统-Ⅱ(acute physiology and chronic health evaluation-Ⅱ, APACHE-Ⅱ)评分、美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级等基线资料。所有患者给予床旁心电监护监测生命征,留置锁骨下或颈内静脉导管监测CVP,留置桡动脉导管监测有创血压,给予CNAP(CNSystems Medizintechnik AG, 奥地利)监测心排血指数(cardiac index, CI)和PPV,仪器操作及数据收集均由熟练应用CNAP技术的ICU主治医师负责。连接好CNAP后开始进行液体复苏。

1.2.2 CNAP监测 连接测压袖带和CNAP控制器,测压袖带依据箭头标记置于患者右上臂,将合适大小的指套套入患者右手相邻的两个手指根部,复苏过程中双指套位置不变,输入患者的性别、年龄、身高、体质量及测得的CVP,末梢灌注信号显示通过后,CNAP主机开始测量无创血压,校准后同步采集CI、PPV,测量重复3次,取平均值。

1.2.3 液体复苏方法 两组均在完全机械通气[潮气量8 mL/kg、呼气末正压5 cmH_2O (1 cmH_2O = 0.098 kPa)]及CNAP监测血流动力学的基础上,以30 min内输注250 mL液体的速度进行液体复苏,晶体:胶体为1.0∶0.6~1.0,晶体液选择乳酸钠林格氏液,胶体液选择琥珀酰明胶注射液。PPV组液体复苏目标:PPV<10%,MAP>65 mmHg,尿量>0.5 mL·kg^{-1}·h^{-1}。CVP组液体复苏目标:CVP 8~12 mmHg,MAP>65 mmHg,尿量>0.5 mL·kg^{-1}·h^{-1}。

1.3 观察指标

1.3.1 主要观察指标 复苏达标时间(复苏开始至达到相应目标所需的时间)、机械通气时间(复苏开始至脱离有创呼吸机的时间)、复苏达标累计液体平衡量(复苏达标累计的液体入量与出量的差值)、心肺并发症发生率(复苏过程中通过体格检查、监测生命体征、血气分析及床旁心肺超声等判断是否出现肺部湿罗音明显增多、急性肺水肿或急性心力衰竭等并发症)。

1.3.2 次要观察指标 复苏达标时的血流动力学指标:心率(heart rate, HR)、MAP、CVP、CI、PPV;组织氧代谢指标:中心静脉血氧饱和度(central venous oxygen saturation, $ScvO_2$)、动脉血Lac、氧供指数(oxygen delivery index, DO_2I)、氧耗指数(oxygen consumption index, VO_2I)、氧摄取率(oxygen uptake rate, ERO_2)= $VO_2I/DO_2I\times100\%$。

1.4 统计学方法

使用SPSS 20.0软件对数据进行统计分析。计数资料以例数和百分比(%)表示,组间比较采用χ^2检验或Fisher精确检验。对计量资料进行正态性检验(Shapiro-Wilk Test),符合正态分布的计量资料以$\bar{x}\pm s$表示,复苏前后各指标的比较采用配对t检验,组间比较采用独立样本t检验;非正态分布的计量资料以$M(P_{25},P_{75})$表示,采用Mann-Whitney检验。$P<0.05$认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者基本情况

共纳入外科术后低血容量患者82例,剔除术后因活动性出血行二次手术3人,死亡1人。共有78例患者入选,其中PPV组38例,CVP组40例。两组患者一般基线资料比较均无统计学意义($P>0.05$),说明两组基线指标接近,具有可比性,见表1。

2.2 两组患者血流动力学指标的比较

两组患者复苏前血流动力学指标差异均无统计学意义。两组复苏后MAP、CVP和CI均较复苏前明显升高,PPV较复苏前明显下降($P<0.05$)。复苏达标时,PPV组的CVP明显低于CVP组($P<0.05$),其余指标差异均无统计学意义,见表2。

2.3 两组患者组织氧代谢指标比较

两组患者复苏前组织氧代谢指标差异均无统计学意义。两组复苏后$ScvO_2$、DO_2I及VO_2I均明显升高,Lac明显下降;PPV组复苏后ERO_2较复苏前明显升高($P<0.05$)。复苏达标时,PPV组$ScvO_2$、DO_2I、VO_2I及ERO_2均明显高于CVP组($P<0.05$),而Lac明显低于CVP组($P<0.05$),见表3。

2.4 两组患者主要观察指标的比较

与CVP组比较,PPV组液体复苏达标时间和机械通气时间均明显缩短,复苏达标累计液体平衡量明显减少($P<0.05$)。复苏过程中PPV组有1例听诊双肺底湿罗音明显增多,CVP组有7例听诊双肺底湿罗音明显增多,2例出现急性肺水肿,PPV组心肺并发症的

发生率明显低于 CVP 组($P<0.05$),见表 4。

3 讨论

患者存在容量反应性,说明左、右心室均在 Frank-Starling 曲线的上升支,进行液体复苏可以有效改善组织和器官的灌注。优化外科术后的液体管理有赖于对容量反应性的快速、精确评估,传统的指标如 MAP、CVP、尿量及肺动脉楔压等,通常只能反映当下的容量状态,且易受血管弹性、镇静深度、机械通气及胸腔内压等多个因素的影响,故不能准确预测容量反应性[7]。PPV 作为功能性血流动力学指标,在完全机械通气、无心律失常的情况下,预测患者液体反应性的精确性及准确性均高于传统指标[8]。MALBOUISSON 等[9]研究证实高危手术围术期,基于PPV<10%的液

表 1 两组患者一般临床资料的比较 [$\bar{x}\pm s$, 例(%),M($P_{25}P_{75}$)]

指标	PPV 组($n=38$)	CVP 组($n=40$)	$t/\chi^2/Z$	P
年龄/岁	61.69±13.60	63.18±11.73	0.363	0.719
男性	22(57.89)	25(62.50)	0.173	0.678
BMI/kg·m^{-2}	23.19±4.20	21.68±4.36	1.068	0.293
手术类型				
腹部手术	20(52.63)	24(60.00)	0.966	0.617
胸部手术	9(23.68)	10(25.00)		
其他手术	9(23.68)	6(15.00)		
手术时间/h	4.51±1.45	4.81±1.59	1.026	0.308
术中液体平衡/mL	1 400(1 200,1 950)	1 445(1 300,2 338)	0.801	0.423
潮气量/mL·kg^{-1}	8	8		
呼气末正压/cmH_2O	5	5		
左室射血分数(%)	54.76±10.78	58.68±8.45	1.121	0.266
APACHE-Ⅱ评分/分	9.52±4.25	11.23±5.34	1.626	0.108
ASA 分级/分	2.52±1.16	2.87±0.91	1.268	0.208

表 2 两组患者血流动力学指标比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	n	时间	HR/次·min^{-1}	MAP/mmHg	CVP/mmHg	CI/L·min^{-1}·m^{-2}	PPV(%)
PPV 组	38	复苏前	96.35±16.87	67.54±11.45	6.13±1.81	2.87±1.16	17.87±5.68
		复苏后	94.86±14.54	73.34±9.56^{a}	8.12±2.52^{ab}	3.51±0.98^{a}	7.83±2.42^{a}
CVP 组	40	复苏前	99.33±17.46	66.41±8.76	6.52±1.83	3.11±1.23	16.61±4.73
		复苏后	96.93±14.57	74.55±8.47^{a}	10.12±1.99^{a}	3.62±0.91^{a}	6.92±2.29^{a}

PPV:脉压变异度;CVP:中心静脉压;HR:心率;MAP:平均动脉压;CI:心排血指数;1 mmHg=0.133 kPa;a:$P<0.05$,与本组复苏前比较;b:$P<0.05$,与 CVP 组同期比较

表 3 两组患者组织氧代谢指标比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	n	时间	$ScvO_2$(%)	Lac/mmol·L^{-1}	DO_2I/mL·min^{-1}·m^{-2}	VO_2I/mL·min^{-1}·m^{-2}	ERO_2(%)
PPV 组	38	复苏前	58.63±8.56	5.13±2.08	523.43±56.42	126.78±18.74	24.92±5.26
		复苏后	67.53±7.04^{ab}	2.58±1.67^{ab}	598.85±62.16^{ab}	168.06±17.86^{ab}	28.74±5.07^{ab}
CVP 组	40	复苏前	56.81±7.12	4.64±2.12	517.36±52.54	132.13±20.79	25.66±5.64
		复苏后	62.43±6.19^{a}	3.62±1.32^{a}	561.63±54.17^{a}	149.68±21.66^{a}	25.93±4.97

PPV:脉压变异度;CVP:中心静脉压;$ScvO_2$:中心静脉血氧饱和度;Lac:乳酸;DO_2I:氧供指数;VO_2I:氧耗指数;ERO_2:氧摄取率;a:$P<0.05$,与本组复苏前比较;b:$P<0.05$,与 CVP 组同期比较

表 4 两组患者主要观察指标的比较 [$\bar{x}\pm s$, 例(%),M(P_{25},P_{75})]

组别	n	复苏达标时间/h	机械通气时间/h	累计液体平衡量/mL	心肺并发症
PPV 组	38	3.35±0.76^{a}	9.55±4.71^{a}	740(500,1 000)^{a}	1(2.63)^{a}
CVP 组	40	4.93±1.42	14.89±5.61	1 160(720,1 950)	9(22.5)

PPV:脉压变异度;CVP:中心静脉压;a:$P<0.05$,与 CVP 组比较

体管理有助于改善手术效果,缩短术后住院时间。目前 PPV 多通过有创动脉导管监测如脉搏指示连续心血排量监测(pulse indicated continuous cardiac output,PiCCO)、经外周动脉心输出量监测等技术获得,监测费用相对高昂,且存在血栓、导管相关性血流感染等风险,故临床应用受到一定的限制[10]。以无创血流动力学监测获得的 PPV 能否作为早期液体复苏目标指导外科术后液体管理尚需进一步验证。

CNAP 通过上臂袖带压定标及双指套交替探测信号,并基于动脉容积钳制技术绘制血压波形和脉搏趋势图,从而获得实时的血流动力学数据,具有快速、准确、连续、无创及监测费用低等优势[11]。既往研究表明,经 CNAP 测得的 PPV 与经 PiCCO 测得的 PPV 一致性良好,可以用于预测机械通气重症患者的容量反应性[12-13]。本研究结果显示,进行液体复苏后两组患者的血流动力学都趋于稳定,CVP 组复苏后的 CVP、累计液体平衡量均明显高于 PPV 组,但 MAP、CI 及 PPV 却未见明显差异,说明过度液体复苏并不能持续改善血流动力学状态。相较于血流动力学指标,组织氧代谢指标能更确切地反映全身组织灌注情况,本研究液体复苏后,PPV 组 $ScvO_2$、DO_2I、VO_2I 及 ERO_2 均明显高于 CVP 组,而 Lac 明显低于 CVP 组,提示 PPV 为目标导向的液体复苏在保证血流动力学稳定的同时,能更有效地增加机体氧供,改善组织灌注。过量的液体使得组织间隙水肿,减弱气体交换及氧气弥散的能力,加重组织缺氧,不利于 Lac 的清除[14];ERO_2 与微循环灌注密切相关[15],CVP 组液体复苏前后 ERO_2 未见明显升高,可能还与过度液体复苏致血红蛋白稀释、微循环摄氧下降有关。

HASANIN 等[16]发现在幕上肿块切除过程中,PPV 指导液体的液体管理可以改善周围灌注而不增加脑肿胀;罗南博等[17]证实 PPV 可以用于指导肺部分切除术中的液体管理,有助于改善氧合指数,减轻术后急性肺损伤。本研究同样发现 PPV 组的复苏达标时间、机械通气时间及心肺并发症发生率均明显低于 CVP 组,提示 CNAP 监测下以 PPV<10%为目标导向的液体复苏可能会给外科术后患者带来更多益处。

本研究还存在一定局限性,首先,本研究为单中心临床研究,心脏手术、移植或烧伤患者术后血流动力学指标干扰因素多、监测困难,故予以排除,纳入的多为普通外科术后患者,故存在一定的选择偏倚;其次,对于病死率及其他并发症的影响数据趋势显示不足,尚需大规模的多中心临床研究来进一步证实。

综上,相较于传统 CVP 监测,基于 CNAP 监测获得的 PPV 可以更好地指导外科术后低血容量患者早期液体复苏,其有助于尽快稳定血流动力学状态,改善机体组织灌注,缩短机械通气时间,减少心肺并发症的发生风险,值得临床进一步推广应用。

参考文献:

[1] KALKWARF K J, COTTON B A. Resuscitation for hypovolemic shock [J]. Surg Clin North Am, 2017, 97(6): 1307-1321. DOI: 10.1016/j.suc.2017.07.011.

[2] FINFER S, BELLOMO R, BOYCE N, *et al*. A comparison of albumin and saline for fluid resuscitation in the intensive care unit [J]. N Engl J Med, 2004, 350(22): 2247-2256. DOI: 10.1056/NEJMoa040232.

[3] LOU X, LU G, ZHAO M, *et al*. Preoperative fluid management in traumatic shock: A retrospective study for identifying optimal therapy of fluid resuscitation for aged patients [J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(8): e9966. DOI: 10.1097/MD.0000000000009966.

[4] ROGGE D E, NICKLAS J Y, HAAS S A, *et al*. Continuous noninvasive arterial pressure monitoring using the vascular unloading technique (CNAP system) in obese patients during laparoscopic bariatric operations [J]. Anesth Analg, 2018, 126(2): 454-463. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002660.

[5] RATHORE A, SINGH S, LAMSAL R, *et al*. Validity of pulse pressure variation (PPV) compared with stroke volume variation (SVV) in predicting fluid responsiveness [J]. Turk J Anaesthesiol Reanim, 2017, 45(4): 210-217. DOI: 10.5152/TJAR.2017.04568.

[6] 中华医学会重症医学分会. 低血容量休克复苏指南(2007)[J]. 中国危重病急救医学, 2008, 20(3): 129-134.
Branch of Critical Care Medicine of Chinese Medical Association. Guidelines for resuscitation of hypovolemic shock (2007) [J]. Chin Crit Care Med, 2008, 20(3): 129-134.

[7] 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.

[8] RATHORE A, SINGH S, LAMSAL R, *et al*. Validity of pulse pressure variation (PPV) compared with stroke volume variation (SVV) in predicting fluid responsiveness [J]. Turk J Anaesthesiol Reanim, 2017, 45(4): 210-217. DOI: 10.5152/TJAR.2017.04568.

[9] MALBOUISSON L M S, SILVA JM J R, CARMONA M J C, *et al*. A pragmatic multi-center trial of goal-directed fluid management based on pulse pressure variation monitoring during high-risk surgery [J]. BMC Anesthesiol, 2017, 17(1): 70. DOI: 10.1186/s12871-017-0356-9.

[10] SUN Y, LU Z H, ZHANG X S, *et al*. The effects of fluid resuscitation according to PiCCO on the early stage of severe acute pancreatitis [J]. Pancreatology, 2015, 15(5): 497-502. DOI: 10.1016/j.pan.2015.06.006.

[11] RENNER J, GRUENEWALD M, HILL M, *et al*. Non-invasive assessment of fluid responsiveness using CNAPTM technology is interchangeable with invasive arterial measurements during major open abdominal surgery [J]. Br J Anaesth, 2017, 118(1): 58-67. DOI: 10.1093/bja/aew399.

[12] BIAIS M, STECKEN L, MARTIN A, *et al*. Continuous and non-invasive assessment of pulse pressure variations using CNAP ® system [J]. J Clin Monit Comput, 2017, 31(4): 685-692. DOI: 10.1007/s10877-016-9899-4.

[13] 薛贻敏, 吴畏, 陈明光, 等. 每搏连续无创血压监测系统评估机械通气重症患者血流动力学状态的临床研究[J]. 中华危重病急救医学, 2019, 31(10): 1231-1235. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.10.010.
XUE Y M, WU W, CHEN M G, *et al*. A clinical study of the evaluation of hemodynamic status in mechanically ventilated critically ill patients by continuous non-invasive arterial pressure monitor [J]. Chin Crit Care Med, 2019, 31(10): 1231-1235. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.10.010.

[14] BOU CHEBL R, EL KHURI C, SHAMI A, *et al*. Serum lactate is an independent predictor of hospital mortality in critically ill patients in the emergency department: a retrospective study [J]. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, 2017, 25(1): 69. DOI: 10.1186/s13049-017-0415-8.

[15] YI X L, WANG J T, CHU C Q, *et al*. Cardiocerebral protective effects of dexmedetomidine as anesthetic in colorectal cancer surgery [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2018, 22(11): 3570 - 3576. DOI: 10.26355/eurrev_201806_15183.

[16] HASANIN A, ZANATA T, OSMAN S, *et al*. Pulse pressure variation-guided fluid therapy during supratentorial brain tumour excision: a randomized controlled trial [J]. Open Access Maced J Med Sci, 2019, 7(15): 2474-2479. DOI: 10.3889/oamjms.2019.682.

[17] 罗南博, 赵昭, 项明方, 等. 脉搏压变异度指导肺部分切除术液体管理的随机对照分析[J]. 临床外科杂志, 2017, 25(12): 942-945. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6483.2017.12.020.
LUO N B, ZHAO Z, XIANG M F, *et al*. Pulse pressure variation guided-fluid management in thoracoscopic pneumectomy: a randomized controlled trial [J]. J Clin Surg, 2017, 25(12): 942-945. DOI: 10.3969/j.issn.1005-6483.2017.12.020.

(**收稿**:2021-07-13;**修回**:2021-09-15)

(编辑 王 红)