

• 论著 •

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

薛贻敏 吴畏 陈明光 陈茜 陈德伟 林风辉

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,福州 350001

通信作者:林风辉, Email: 13906917567@163.com

【摘要】 目的 对比每搏连续无创血压监测系统(CNAP)与脉搏指示连续心排量监测(PiCCO)技术测定机械通气重症患者血流动力学参数的差异及一致性,评估 CNAP 无创监测血流动力学的可行性。**方法** 采用前瞻性观察性自身对照研究方法,选择福建省立医院重症医学四科 2018 年 6 月至 2019 年 3 月收治的机械通气且需行血流动力学监测的重症患者,在入科后立刻置入 PiCCO 导管,先采用热稀释法监测血流动力学参数,分别在 0 h 和 24 h 获得平均动脉压(MAP_{PiCCO})、心排量指数(CI_{PiCCO})、脉压变异度(PPV_{PiCCO})及外周血管阻力指数(SVRI_{PiCCO}),然后再用 CNAP 监测获取相同参数(MAP_{CNAP}、CI_{CNAP}、PPV_{CNAP} 及 SVRI_{CNAP}),两种方法均连续测量 3 次取平均值;比较两种方法监测各血流动力学参数的差异。采用 Pearson 检验分析两种方法获取血流动力学参数的相关性;采用 Bland-Altman 法分析指标的一致性。**结果** 共有 38 例患者入选,排除 24 h 内死亡 1 例和自动出院 2 例、心房颤动 2 例、数据采集丢失 1 例,最终纳入 32 例患者。32 例患者中女性 12 例,男性 20 例;年龄 26~84 岁,平均(66.8±19.1)岁;体重指数(23.7±3.9)kg/m²;急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II)为(19.5±5.3)分;序贯器官衰竭评分(SOFA)为(9.7±4.1)分。两种方法监测结果显示,CI_{CNAP} 与 CI_{PiCCO}、PPV_{CNAP} 与 PPV_{PiCCO} 差异无统计学意义[CI(mL·s⁻¹·m⁻²):59.8±12.6 比 58.5±14.2, PPV:(14.7±6.8)% 比 (14.0±6.8)%,均 $P>0.05$];MAP_{CNAP}、SVRI_{CNAP} 均明显高于 MAP_{PiCCO}、SVRI_{PiCCO} [MAP(mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa):65.6±9.4 比 60.1±9.2, SVRI(kPa·s·L⁻¹·m⁻²):206.2±53.9 比 179.5±57.8,均 $P<0.01$]。相关性分析显示,两种方法测得的 MAP、CI、PPV 及 SVRI 均呈显著正相关(r 值分别为 0.624、0.864、0.835 及 0.655,均 $P<0.05$)。一致性分析显示,CI_{CNAP} 与 CI_{PiCCO}、PPV_{CNAP} 与 PPV_{PiCCO} 的一致性较好,平均差值分别为 1.2 mL·s⁻¹·m⁻²、0.5%,95% 可信区间(95%CI)分别为 -12.8~15.3 mL·s⁻¹·m⁻²、-7.1%~8.2%;MAP_{CNAP} 与 MAP_{PiCCO}、SVRI_{CNAP} 与 SVRI_{PiCCO} 的一致性较差,平均差值分别为 5.5 mmHg、26.8 kPa·s·L⁻¹·m⁻²,95%CI 分别为 -10.4~21.3 mmHg、-64.5~118.0 kPa·s·L⁻¹·m⁻²。**结论** 监测机械通气重症患者的 CI 和 PPV 时, CNAP 与 PiCCO 可以相互替代;而两种方法监测的 MAP、SVRI 可能存在差异,需正确谨慎解读。

【关键词】 机械通气; 每搏连续无创血压监测系统; 脉搏指示连续心排量监测; 血流动力学**基金项目:**福建省重症医学中心建设项目(2017-510)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.10.010

A clinical study of the evaluation of hemodynamic status in mechanically ventilated critically ill patients by continuous non-invasive arterial pressure monitor

Xue Yimin, Wu Wei, Chen Mingguang, Chen Qian, Chen Dewei, Lin Fenghui

The Fourth Department of Intensive Care Unit, Fujian Provincial Hospital, Provincial Clinical College of Fujian Medical University, Fuzhou 350001, Fujian, China

Corresponding author: Lin Fenghui, Email: 13906917567@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the difference and correlation between continuous non-invasive arterial pressure (CNAP) monitor and pulse indicated continuous cardiac output (PiCCO) monitor on determination of hemodynamic parameters in mechanically ventilated critically ill patients, and to assess the feasibility of non-invasive monitoring of hemodynamics with CNAP. **Methods** A prospective observation self-control study was conducted. The critically ill patients with mechanical ventilation who needed hemodynamics monitoring, and admitted to the fourth department of intensive care unit (ICU) of Fujian Provincial Hospital from June 2018 to March 2019 were enrolled. PiCCO catheter were inserted immediately after admission, the hemodynamic indexes were measured by thermodilution method, and mean arterial pressure (MAP_{PiCCO}), cardiac index (CI_{PiCCO}), pulse pressure variation rate (PPV_{PiCCO}) and systemic vascular resistance index (SVRI_{PiCCO}) were obtained at 0 hour and 24 hours respectively. Meanwhile, the above indexes (MAP_{CNAP}, CI_{CNAP}, PPV_{CNAP} and SVRI_{CNAP}) were measured with CNAP. All measurements were repeated thrice and average values were reported. The differences in above parameters between the two methods were evaluated. Pearson test was used for the correlation analysis and Bland-Altman analysis method was used for consistency test. **Results** Thirty-eight patients were enrolled into this study. One patient died within 24 hours was excluded, 2 patients were excluded due to withdrawing treatment within 24 hours, 2 patients were excluded because of atrial fibrillation, and 1 patient's data was lost due to technical problems. Thus, data from 32 patients were available for final analysis. There were 12 females and 20 males, aging 26~84 years old with the mean of (66.8±19.1) years old, body mass index (BMI) of (23.7±3.9) kg/m²,

acute physiology and chronic health evaluation II (APACHE II) score of 19.5 ± 5.3 , sepsis-related organ failure assessment (SOFA) score of 9.7 ± 4.1 . There were no significant differences in CI or PPV between CNAP and PiCCO groups [CI ($\text{mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 59.8 ± 12.6 vs. 58.5 ± 14.2 , PPV: $(14.7 \pm 6.8)\%$ vs. $(14.0 \pm 6.8)\%$, both $P > 0.05$]. MAP and SVRI measured by CNAP were significantly higher than those measured by PiCCO [MAP (mmHg, $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$): 65.6 ± 9.4 vs. 60.1 ± 9.2 , SVRI ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 206.2 ± 53.9 vs. 179.5 ± 57.8 , both $P < 0.01$]. The correlation analysis showed that MAP, CI, PPV and SVRI measured by the two methods were significantly positively correlated (r value was 0.624, 0.864, 0.835 and 0.655 respectively, all $P < 0.05$). Bland-Altman analysis showed that CNAP and PiCCO had a good consistency for the measurement of CI and PPV, the average differences were $1.2 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ and 0.5% respectively, while the 95% confidence interval (95%CI) were -12.8 – $15.3 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ and -7.1% – 8.2% respectively. However, the consistency of MAP and SVRI measured by those two methods was poor, the average differences were 5.5 mmHg and $26.8 \text{ kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ respectively, while the 95%CI was -10.4 – 21.3 mmHg and -64.5 – $118.0 \text{ kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ respectively. **Conclusion** CNAP was comparable with PiCCO when monitoring CI and PPV in mechanically ventilated critically ill patients; while the results of MAP and SVRI might be inaccurate, which should be interpreted correctly and carefully.

【Key words】 Mechanical ventilation; Continuous non-invasive arterial pressure monitor; Pulse indicated continuous cardiac output monitor; Hemodynamic

Fund program: Critical Care Medical Center Construction Projects of Fujian Province of China (2017–510)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.10.010

重症患者病情复杂且凶险,多合并血流动力学紊乱,通过血流动力学监测可以充分了解患者的循环容量状态和心功能情况,进而指导个体化治疗,对改善患者的转归预后具有重要意义。目前临床上血流动力学的监测手段分为有创监测和无创监测两种:脉搏指示连续心血排量监测(PiCCO)技术属于有创监测,研究证实其与经典的 Swan-Ganz 导管法具有良好的相关性,可系统全面地评估患者的血流动力学状态,然而其操作技术水平要求较高,存在一定的风险,且监测费用高昂,故临床应用受限^[1-2];每搏连续无创血压监测系统(CNAP)采用无创方式进行连续血压监测,并基于动脉波轮廓分析技术获得相关的血流动力学参数,近年来在临床上的应用越来越广^[3]。Renner 等^[4]对血流动力学稳定、行开放性腹部手术患者研究发现, CNAP 可以替代 PiCCO 进行无创容量反应性评估,然而其在重症患者中的应用价值尚不清楚。本研究针对机械通气重症患者,通过对比研究 CNAP 与 PiCCO 监测参数的差异及一致性,评估 CNAP 无创监测重症患者血流动力学的可行性。

1 对象与方法

1.1 研究对象:本研究为前瞻性观察性自身对照研究,选取 2018 年 6 月至 2019 年 3 月收住本院重症医学四科行机械通气并需行血流动力学监测的患者。

1.1.1 纳入标准:① 年龄 > 18 岁;② 需机械通气;③ 生命体征不稳定需行血流动力学监测,并同意使用 CNAP 及 PiCCO 进行血流动力学监测的重症患者。

1.1.2 排除标准:① 拒绝参与该项研究;② 孕妇;③ 已出现心搏呼吸骤停者;④ 严重上肢动脉硬化或 CNAP 监测末梢灌注信号无法通过者;⑤ 手指缺

失或者严重肥胖、水肿无法使用指套者;⑥ 严重失血性疾病或局部炎症无法行 PiCCO 置管者;⑦ 行主动脉内球囊反搏术(IABP)治疗者;⑧ 严重心律失常者;⑨ 巨大主动脉瘤、严重瓣膜反流者。

1.1.3 剔除标准:① 入科 24 h 内死亡、自动出院者;② 入科 24 h 内出现严重心律失常或需 IABP 治疗者;③ 因各种原因导致数据丢失者。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,通过医院伦理委员会批准(批号:K2018-06-028),患者或家属均知情同意。

1.3 监测指标及方法:入科后记录患者的性别、年龄、体重指数(BMI)、急性生理学与慢性健康状况评分 II (APACHE II)、序贯器官衰竭评分(SOFA),给予床旁心电监护监测生命体征。顺利置入 PiCCO 导管后分别在 0 h 和 24 h 使用热稀释法进行 PiCCO 定标,采集相关血流动力学参数,同时再用 CNAP 法测定相同参数,比较两种方法测得参数的差异和一致性。两种方法监测过程中呼吸机参数、镇静药物及血管活性药物的剂量不变。所有操作及数据采集均由同一位熟练掌握 PiCCO 及 CNAP 技术的重症医学科(ICU)主治医师完成。

1.3.1 PiCCO 监测:患者入科后立即应用 PiCCO plus 监测仪(PULSION Medical Systems SE,德国)进行监测,行锁骨下静脉和股动脉置管,输入患者的身高、体重及注射冰盐水容积(15 mL)等信息。患者为完全机械通气状态(潮气量 $\geq 6 \text{ mL/kg}$),行中心静脉压(CVP)及有创股动脉压校准,输入校准后的 CVP,暂停中心静脉输液 30 s 以上,待基线稳定后经锁骨下静脉导管上的温度探头(PV4046)快速而均匀地推注 15 mL 冰盐水(5 s 内注射完毕),获取单次参数,

连续重复上述操作 3 次,系统自动取平均值,记录平均动脉压(MAP_{PiCCO})、心排血指数(CI_{PiCCO})、脉压变异度(PPV_{PiCCO})及外周血管阻力指数($SVRI_{PiCCO}$)。

1.3.2 CNAP 监测: 本研究中使用的 CNAP(CNSystems Medizintechnik AG, 奥地利)包括 CNAP Monitor 500、CNAP 控制器及双指套。在患者右上臂安置测压袖带,袖带上的箭头标记对准肱动脉;在患者右食指及中指指根部安置测压指套,连接 CNAP 控制器至患者前臂;输入患者的身高、体重及测得的 CVP,末梢灌注信号显示绿色通过后,系统开始测定无创血压,定标校准后采集 MAP_{CNAP} 、 CI_{CNAP} 、 PPV_{CNAP} 及 $SVRI_{CNAP}$,重复测量 3 次,取均值。

1.4 统计学方法: 使用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析。计量资料均符合正态分布,以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用配对 t 检验比较两种方法监测各指标的差异;采用 Pearson 检验进行相关性分析;一致性检验采用 Bland-Altman 分析法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本情况: 共有 38 例患者入选,剔除 24 h 内死亡 1 例和自动出院 2 例、心房颤动 2 例、数据采集丢失 1 例,最终有 32 例患者纳入本研究。32 例患者中女性 12 例,男性 20 例;年龄 26 ~ 84 岁,平均

(66.8 ± 19.1) 岁; BMI (23.7 ± 3.9) kg/m^2 ; APACHE II 评分 (19.5 ± 5.3) 分; SOFA 评分 (9.7 ± 4.1) 分; 疾病分类: 脓毒性休克 26 例(肺部感染 12 例,腹腔感染 7 例,泌尿系感染 4 例,血流感染 3 例),心源性休克 4 例,低血容量性休克 2 例。

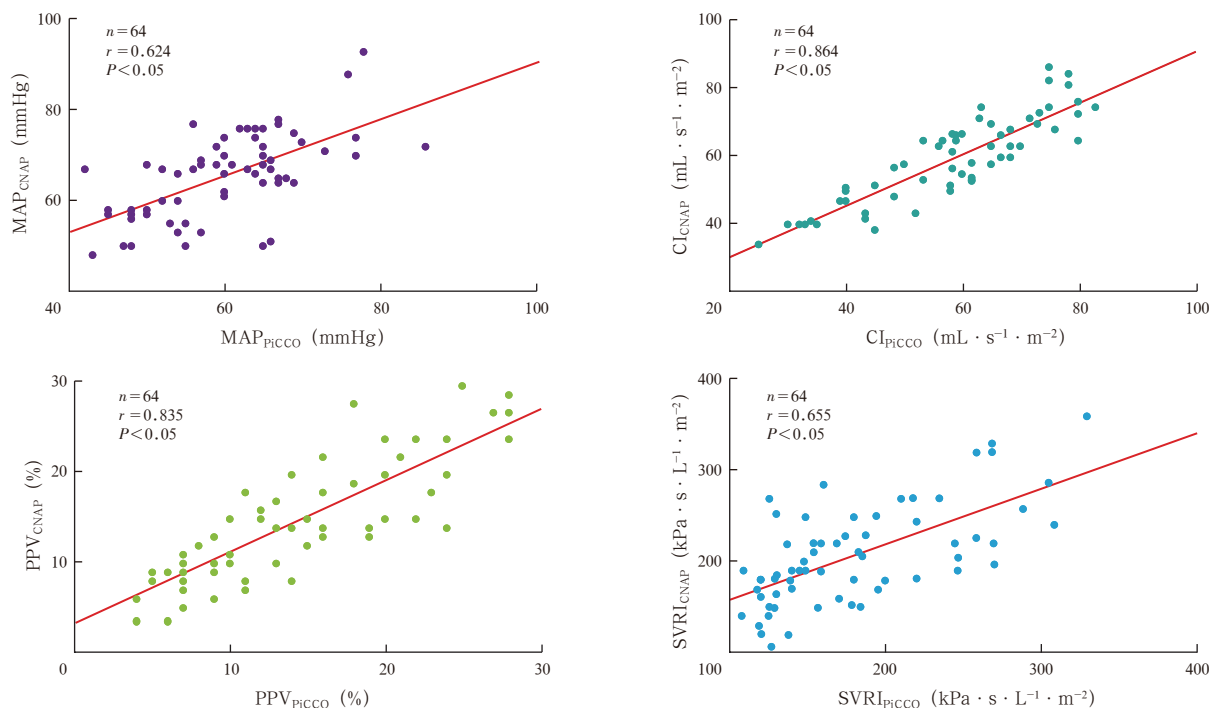
2.2 CNAP 及 PiCCO 监测血流动力学各参数对比 (表 1): 32 例患者在 0 h 和 24 h 共获得 64 对血流动力学数据。CNAP 与 PiCCO 测得的 CI、PPV 差异无统计学意义(均 $P > 0.05$); 与 PiCCO 测得的 MAP、SVRI 相比, CNAP 测得的 MAP、SVRI 数值较高,差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$)。

表 1 两种方法监测机械通气重症患者血流动力学参数的比较($\bar{x} \pm s$)

监测方法	样本数(个)	MAP (mmHg)	CI ($mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)	PPV (%)	SVRI ($kPa \cdot s \cdot L^{-1} \cdot m^{-2}$)
CNAP	64	65.6 ± 9.4	59.8 ± 12.6	14.7 ± 6.8	206.2 ± 53.9
PiCCO	64	60.1 ± 9.2	58.5 ± 14.2	14.0 ± 6.8	179.5 ± 57.8
t 值		3.317	0.525	0.533	2.707
P 值		0.001	0.600	0.595	0.008

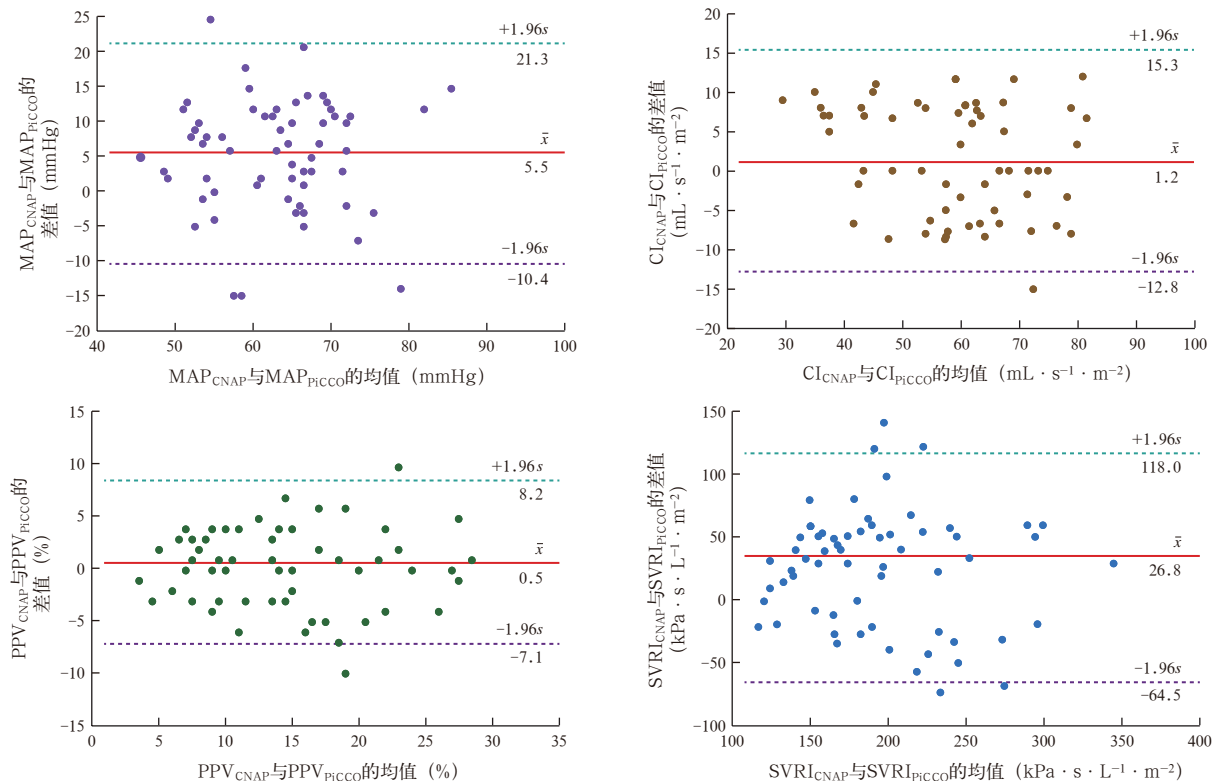
注: CNAP 为每搏连续无创血压监测系统, PiCCO 为脉搏指示连续心排量监测, MAP 为平均动脉压, CI 为心排血指数, PPV 为脉压变异度, SVRI 为外周血管阻力指数; $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$

2.3 Pearson 相关性分析(图 1): CNAP 与 PiCCO 测得的 MAP、CI、PPV 及 SVRI 均呈显著正相关(均 $P < 0.05$)。



注: CNAP 为每搏连续无创血压监测系统, PiCCO 为脉搏指示连续心排量监测, MAP_{CNAP} 、 CI_{CNAP} 、 PPV_{CNAP} 及 $SVRI_{CNAP}$ 分别为应用 CNAP 测得的平均动脉压、心排血指数、脉压变异度及外周血管阻力指数, MAP_{PiCCO} 、 CI_{PiCCO} 、 PPV_{PiCCO} 及 $SVRI_{PiCCO}$ 分别为应用 PiCCO 测得的平均动脉压、心排血指数、脉压变异度及外周血管阻力指数; $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$

图 1 CNAP 与 PiCCO 监测机械通气重症患者血流动力学指标的相关性



注: CNAP 为每搏连续无创血压监测系统, PiCCO 为脉搏指示连续心排量监测, MAP_{CNAP}、CI_{CNAP}、PPV_{CNAP} 及 SVRI_{CNAP} 分别为应用 CNAP 测得的平均动脉压、心排量指数、脉压变异度及外周血管阻力指数, MAP_{PiCCO}、CI_{PiCCO}、PPV_{PiCCO} 及 SVRI_{PiCCO} 分别为应用 PiCCO 测得的平均动脉压、心排量指数、脉压变异度及外周血管阻力指数; 1 mmHg = 0.133 kPa

图2 CNAP 与 PiCCO 监测机械通气重症患者血流动力学指标的一致性

2.4 Bland-Altman 一致性分析 (图2): CI_{CNAP} 与 CI_{PiCCO}、PPV_{CNAP} 与 PPV_{PiCCO} 的一致性较好, 平均差值分别为 $1.2 \text{ mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ [95% 可信区间 (95%CI) 为 $-12.8 \sim 15.3$]、 0.5% (95%CI 为 $-7.1 \sim 8.2\%$), 分别有 1 个样本 (1/64, 1.56%)、2 个样本 (2/64, 3.12%) 在 95%CI 外。而 MAP_{CNAP} 与 MAP_{PiCCO}、SVRI_{CNAP} 与 SVRI_{PiCCO} 的一致性较差, 平均差值分别为 5.5 mmHg (95%CI 为 $-10.4 \sim 21.3$)、 $26.8 \text{ kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (95%CI 为 $-64.5 \sim 118.0$), 分别有 4 个样本 (4/64, 6.25%)、5 个样本 (5/64, 7.81%) 在 95%CI 外。

3 讨论

本研究结果显示, CNAP 与 PiCCO 两种方法监测机械通气重症患者的 CI、PPV 差异无统计学意义, 一致性良好, 说明 CNAP 可以与 PiCCO 相互替代; 监测 MAP、SVRI 的结果总体显示, CNAP 监测值高于 PiCCO 监测值, 一致性较差, 但相关性良好, 说明其结果需正确谨慎解读。

近年来, 血流动力学监测设备已从短期监测发展为实时长期监测, 从有创监测发展为微创甚至无创监测。CNAP 的工作原理是以袖带测量的肱动脉血压为定标, 通过手指指套内的红外光发射器和接

收器探测信号, 进而利用血管卸载原理, 将测得的每搏收缩压 (SBP)、舒张压 (DBP)、MAP 及脉搏汇成血压波形和脉搏趋势图, 实现连续无创血压、CI、PPV 以及 SVRI 一体化监测体系^[5-6]。与传统有创监测技术相比, CNAP 无需穿刺、操作简便、无一次性昂贵耗材, 可以获得与有创一样实时的血流动力学参数, 故尤其适用于不宜接受有创操作或经济困难的患者, 同时也可用于早期快速血流动力学筛查, 及时制定个体化治疗措施^[7]。

CI 是经体表面积校正后的心排量 (CO), 是反映心脏功能的重要指标。PiCCO 监测 CO/CI 可以通过经肺热稀释间断测量, 也可通过动脉脉搏轮廓分析连续测量。Wagner 等^[8]对比 38 例 ICU 重症患者 (其中 7 例行机械通气) 应用 CNAP 与 PiCCO 测得的 CO, 发现 CNAP 校准后即刻测得的 CO 与 PiCCO 经肺热稀释法测得的 CO 一致性良好, 平均差值为 0.2 L/min (95%CI 为 $-1.7 \sim 2.2$)。本研究虽然纳入的均为机械通气患者, 但结果与上述研究一致, 提示应用 CNAP 监测重症患者的 CO/CI 是可行的, 是否行机械通气可能并不影响 CNAP 监测 CO/CI 的准确性。

PPV 反映了通气周期中的脉压变化情况, 已

被证明是目标导向液体管理的可靠动态指标^[9]。PiCCO 通过有创血压波形获得 PPV,在完全机械通气无心律失常的情况下,具有高度的准确性。本研究显示 PPV_{CNAP} 与 PPV_{PiCCO} 的一致性良好。Monnet 等^[10]研究证实,PPV_{CNAP} 预测容量反应性的准确性与 PPV_{PiCCO} 差异无统计学意义;Biais 等^[11]以 PPV_{CNAP} 指导血管手术麻醉诱导过程中的液体管理效果与有创 PPV 无明显差异。以上研究说明通过 CNAP 获得的 PPV 同样可靠,可用于指导液体管理。

CNAP 监测血压的准确性目前存在争议,Smolle 等^[12]发现 ICU 患者应用 CNAP 可提供与有创桡动脉导管系统实时监测一致的 MAP,准确性和百分比误差符合互换性标准;而 Gayat 等^[13]则认为 CNAP 不能可靠地监测麻醉和气管插管诱导期间的血压,仅能作为血压发生变化的线索。本研究显示 MAP_{CNAP} 高于 MAP_{PiCCO},推测原因主要为:第一,本研究中纳入的主要是脓毒性休克患者,有效循环血容量多不足,血管塌陷明显,袖带加压时可进一步压闭血管,致近心端血管的容量逐渐增多,放气后压力逐渐减小,当降至一定程度时,血液冲开压闭的血管使测量的无创血压偏高;第二,CNAP 监测的 SBP 一般会比有创 SBP 偏低,而 DBP 一般会比有创 DBP 偏高^[14],本研究纳入对象平均年龄大于 65 岁,血管硬化程度高,管壁弹性差,休克状态下这种差异可能更加明显;第三,CNAP 测量血压易受袖带的大小松紧、患者的臂围、测量的部位及操作者的技术等影响,结果也可能存在一定误差。

SVRI 是监测心脏后负荷和循环血流阻力的关键参数,可用于鉴别休克类型并指导血管活性药物的合理应用^[15-16]。本研究中 SVRI_{CNAP} 与 SVRI_{PiCCO} 存在差异,一致性较差,推测可能与两种方法测量血压的方式不同有关,说明不能简单将二者相互替代。

虽然 CNAP 获得的血流动力学参数明显少于 PiCCO,部分参数对比 PiCCO 监测值也存在一定差异,但总体显示相关性良好,且它可以快速、无创、动态地监测,弥补了有创连续与无创间断监测技术的不足,故在 ICU 患者病情评估及治疗中具有较高的应用价值。本研究存在以下不足:首先,两种方法在动态监测过程中均可连续自动获得相关的血流动力学参数,由于干扰因素众多,为保证准确性我们并未纳入这些数据;其次,以 CNAP 为导向的液体管理策略对重症患者的容量平衡、机械通气时间、ICU 住院时间及病死率等的影响尚需进一步挖掘阐明。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Sun Y, Lu ZH, Zhang XS, 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.
- [2] Roy S, Couture P, Qizilbash B, et al. Hemodynamic pressure waveform analysis in predicting fluid responsiveness [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2013, 27 (4): 676-680. DOI: 10.1053/j.jvca.2012.11.002.
- [3] Rogge DE, Nicklas JY, Haas SA, 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.
- [4] Renner J, Gruenewald M, Hill M, et al. Non-invasive assessment of fluid responsiveness using CNAP™ 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.
- [5] Wagner JY, Negulescu I, Schöfthaler M, et al. Continuous noninvasive arterial pressure measurement using the volume clamp method: an evaluation of the CNAP device in intensive care unit patients [J]. *J Clin Monit Comput*, 2015, 29 (6): 807-813. DOI: 10.1007/s10877-015-9670-2.
- [6] 耿慧,陈夏欢,杜佳丽,等.采用连续无创血压监测系统监测老年住院患者体位改变时血压的变化情况及其相关因素分析 [J]. *中华心血管病杂志*, 2019, 47 (5): 381-387. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.05.009.
- [7] Geng H, Chen XH, Du JL, et al. Analysis on the characteristics of postural blood pressure changes recorded with continuous non-invasive arterial pressure monitoring system and the correlative factors in elderly hospitalized patients [J]. *Chin J Cardiol*, 2019, 47 (5): 381-387. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.05.009.
- [8] Riley LE, Chen GJ, Latham HE. Comparison of noninvasive blood pressure monitoring with invasive arterial pressure monitoring in medical ICU patients with septic shock [J]. *Blood Press Monit*, 2017, 22 (4): 202-207. DOI: 10.1097/MBP.0000000000000258.
- [9] Wagner JY, Grond J, Fortin J, et al. Continuous noninvasive cardiac output determination using the CNAP system: evaluation of a cardiac output algorithm for the analysis of volume clamp method-derived pulse contour [J]. *J Clin Monit Comput*, 2016, 30 (4): 487-493. DOI: 10.1007/s10877-015-9744-1.
- [10] 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.
- [11] Monnet X, Dres M, Ferré A, et al. Prediction of fluid responsiveness by a continuous non-invasive assessment of arterial pressure in critically ill patients: comparison with four other dynamic indices [J]. *Br J Anaesth*, 2012, 109 (3): 330-338. DOI: 10.1093/bja/aes182.
- [12] Biais M, Stecken L, Martin A, et al. Automated, 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] Smolle KH, Schmid M, Prettenhaler H, et al. The accuracy of the CNAP® device compared with invasive radial artery measurements for providing continuous noninvasive arterial blood pressure readings at a medical intensive care unit: a method-comparison study [J]. *Anesth Analg*, 2015, 121 (6): 1508-1516. DOI: 10.1213/ANE.0000000000000965.
- [14] Gayat E, Mongardon N, Tuil O, et al. CNAP® does not reliably detect minimal or maximal arterial blood pressures during induction of anaesthesia and tracheal intubation [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2013, 57 (4): 468-473. DOI: 10.1111/aas.12028.
- [15] Kim SH, Lilot M, Sidhu KS, et al. Accuracy and precision of continuous noninvasive arterial pressure monitoring compared with invasive arterial pressure: a systematic review and meta-analysis [J]. *Anesthesiology*, 2014, 120 (5): 1080-1097. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000226.
- [16] Polderman KH, Bein B, Kluge S, et al. Guiding fluid resuscitation in critically ill patients: how to evaluate the available tools? [J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41 (5): 962-964. DOI: 10.1007/s00134-015-3741-1.
- [17] 韦廷求,韦树旺,黄宏坤,等.外周血管阻力指数联合降钙素原对脓毒症早期诊断的价值 [J]. *中华危重病急救医学*, 2016, 28 (10): 921-926. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.10.012.
- [18] Wei TQ, Wei SW, Huang HK, et al. Clinical value of systemic vascular resistance index combined with procalcitonin in the early diagnosis of sepsis [J]. *Chin Crit Care Med*, 2016, 28 (10): 921-926. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.10.012.

(收稿日期:2019-05-10)