

肺总顺应性的容量反应性研究

黄晶¹, 王琳², 曹阳^{1,2}

(1. 贵州医科大学, 贵州 贵阳, 550004;

2. 广东省广州市红十字会医院 麻醉科, 广东 广州, 510220)

摘要: **目的** 探讨肺总顺应性(C)的容量反应性以及高血压对其反应能力的影响。**方法** 选择广东省广州市红十字会医院行择期平卧位手术的患者 65 例为研究对象, 记录患者机械通气后不同时间[5 min(t_1), 10 min(t_2), 15 min(t_3), 20 min(t_4), 25 min(t_5), 30 min(t_6)]的 C、气道平台压(p_{plat})、气道峰压(p_{peak})、心率(HR)、平均动脉压(MAP)、心排量(CO)、每搏量变异度(SVV)、每搏输出量(SV)。计算不同时间段[T_1 (5~10 min)、 T_2 (>10~15 min)、 T_3 (>15~20 min)、 T_4 (>20~25 min)、 T_5 (>25~30 min)]患者 C、SV、SVV 的变化量(ΔC 、 ΔSV 、 ΔSVV)。采用日本科林动脉硬化检测仪采集高血压及非高血压者的桡动脉搏波传导速度(BaPWV)。**结果** t_1 至 t_6 时点, 患者 HR、MAP、SVV、SV、CO、 p_{plat} 、 p_{peak} 、C 比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。受试者分层相关性分析结果显示, T_1 至 T_5 5 个时间段, 所有受试者的 ΔC 与 ΔSVV 的相关系数(r)分别为 -0.626、-0.650、-0.676、-0.588、-0.518, ΔC 与 ΔSV 的 r 分别为 0.744、0.772、0.785、0.698、0.681; T_1 至 T_5 5 个时间段, ΔC 与 ΔSVV 以及 ΔC 与 ΔSV 的相关性在非高血压受试者中增强, 在高血压受试者中减弱, 并在 T_3 时间段高血压及非高血压受试者的 ΔC 与 ΔSVV 以及 ΔC 与 ΔSV 的相关性最强。高血压与非高血压者的 BaPWV 比较, 差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** C 具有容量反应能力, 高血压能够影响其反应能力。

关键词: 肺总顺应性; 容量反应性; 高血压; 非高血压; 桡动脉搏波传导速度; 机械通气

中图分类号: R 614; R 544.1 文献标志码: A 文章编号: 1672-2353(2022)10-088-04 DOI: 10.7619/jcmp.20214873

Volumetric responsiveness of total lung compliance

HUANG Jing¹, WANG Lin², CAO Yang^{1,2}

(1. Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou, 550004; 2. Anesthesiology Department, Guangzhou Red Cross Hospital of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong, 510220)

Abstract: Objective To investigate the volumetric responsiveness of lung total compliance (C) and the effect of hypertension on its responsiveness. **Methods** Sixty-five patients who underwent elective recumbent surgery in Red Cross Hospital of Guangzhou in Guangdong Province were selected as study subjects. C, airway plateau pressure (p_{plat}), peak airway pressure (p_{peak}), heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), cardiac output (CO), stroke volume variability (SVV) and stroke volume (SV) of patients were recorded at different time points[5 min (t_1), 10 min (t_2), 15 min (t_3), 20 min (t_4), 25 min (t_5), 30 min (t_6)] of 30 min after mechanical ventilation. The change of C, SV, SVV (ΔC , ΔSV , ΔSVV) of patients in time periods of T_1 (5 to 10 min), T_2 (>10 to 15 min), T_3 (>15 to 20 min), T_4 (>20 to 25 min) and T_5 (>25 to 30 min) were recorded. The brachial and ankle pulse wave conduction velocity (BaPWV) of hypertensive and non-hypertensive patients was collected by Japanese Kelin arteriosclerosis detector. **Results** There were no significant differences in HR, MAP, SVV, SV, CO, p_{plat} , p_{peak} and C from t_1 to t_6 time points ($P>0.05$). The correlation coefficients (r) between ΔC and ΔSVV were -0.626, -0.650, -0.676, -0.588, -0.518, respectively, were 0.744, 0.772, 0.785, 0.698 and 0.681, respectively between ΔC and ΔSV in all subjects during T_1 to T_5 ; during T_1 to T_5 , the correlations between ΔC and ΔSVV , between ΔC and ΔSV increased in non-hypertensive subjects, but decreased in hypertensive subjects, the correlations between ΔC and ΔSVV or ΔC and ΔSV were the

strongest during T_3 in both hypertensive and non-hypertensive subjects. BaPWV of hypertensive and non-hypertensive patients showed significant difference ($P < 0.05$). **Conclusion** C has capacity response and hypertension can affect its responsiveness.

Key words: pulmonary total compliance; volumetric responsiveness; hypertension; non-hypertension; brachial and ankle pulse wave conduction velocity; mechanical ventilation

液体治疗是决定临床结局的关键因素,每搏输出量(SV)、每搏量变异度(SVV)是常用的指导液体治疗的参数,但易受潮气量、呼气末正压通气、呼吸系统顺应性等因素的影响^[1-3]。研究^[4]表明,呼吸系统顺应性为 30 mL/cmH₂O 是区分 SVV 预测液体容量反应(FR)的界值,呼吸系统顺应性越高,SVV 的容量反应能力越高。肺顺应性是呼吸系统顺应性的组成部分,其反应迅速,易受到液体容量以及高血压导致血管僵硬增加的影响^[5-6],但目前肺顺应性是否具有容量反应能力以及能否为液体治疗策略提供补充仍缺乏研究支持。本研究首先探讨肺总顺应性(C)的容量反应能力,在证明 C 具有容量反应性基础上,进一步探讨高血压对容量反应能力的影响,以期对液体治疗提供呼吸方面的参考,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为队列研究,应用 PASS 11 软件估计样本量,考虑 10% 的失访率,本研究最后选择 2020 年 12 月—2021 年 6 月广东省广州市红十字会医院行择期平卧位手术的患者 70 例为研究对象,剔除 3 例诱导后心率(HR) < 60 次/min 和 2 例研究时间窗内应用了血管活性药物的患者,最终纳入 65 例患者。患者年龄 42 ~ 65 岁;体质指数(BMI) 21.6 ~ 27.4 kg/m²;男 35 例,女 30 例;射血分数(EF)为(67.4 ± 8.3)%;美国麻醉医师协会(ASA)分级为 I ~ II 级;手术分级为 2 ~ 4 级;骨科手术 45 例,胃肠外科手术 20 例;高血压患者 25 例,非高血压患者 40 例。纳入标准:年龄 > 18 岁者;患者性别不限;患者 BMI 18 ~ 28 kg/m²;患者 ASA 分级 I ~ II 级,心功能 1 ~ 2 级,无失代偿性心肺疾病。排除标准:术前收缩压 ≥ 160 mmHg,舒张压 ≥ 100 mmHg 者;机械通气后 30 min 内 HR < 60 次/min 或 > 100 次/min 者;平均动脉压(MAP)降低或超过基础值 20% 者;研究期间应用血管活性药物干预者。本研究经医院伦理委员会审查批准(伦理审查号 2020 - 209 - 01),

且患者及家属签署知情同意书。

1.2 方法

术前常规禁食、禁水。常规监测 MAP、HR、血氧饱和度(SpO₂),连接脑电监测仪监测脑电双频指数(BIS)。局部麻醉下行桡动脉穿刺置管并连接 VigileoTM,监测心排量(CO)、SV、SVV。依据体质量标准行麻醉诱导:依次静脉推注咪达唑仑 0.05 mg/kg,依托咪酯 0.3 mg/kg,舒芬太尼 0.4 μg/kg,顺阿曲库铵 0.3 mg/kg。采用持续吸入 1.0 最低肺泡有效浓度(MAC)七氟烷进行麻醉维持,BIS 维持 40 ~ 60。采用容量控制模式(VCV)对患者行机械通气,流量 2 L/min,氧浓度 60%,潮气量 8 mL/kg,吸呼比 1:2,呼吸频率 12 次/min,压力限制 40 cmH₂O,呼气末正压(PEEP)设置为 0,维持呼气末二氧化碳分压 35 ~ 45 mmHg。采用日本科林动脉硬化检测仪采集高血压及非高血压者的肱踝脉搏波传导速度(BaPWV)。本研究采用双盲法,对数据采集、处理者和受试者设盲。

1.3 观察指标

记录机械通气后 30 min 的 HR、MAP、SV、SVV、CO、C、气道平台压(p_{plat})、气道峰压(p_{peak}),每 5 min 记录 1 次[5 min (t_1)、10 min (t_2)、15 min (t_3)、20 min (t_4)、25 min (t_5)、30 min (t_6)]。时间段记为 T_1 (5 ~ 10 min)、 T_2 (> 10 ~ 15 min)、 T_3 (> 15 ~ 20 min)、 T_4 (> 20 ~ 25 min)、 T_5 (> 25 ~ 30 min)。计算各时间段 C、SV、SVV 的变化量,分别将变化量记为 ΔC 、 ΔSV 、 ΔSVV 。计算公式: $\Delta C = \Delta C_{x+1} - \Delta C_x$; $\Delta SV = \Delta SV_{x+1} - \Delta SV_x$; $\Delta SVV = \Delta SVV_{x+1} - \Delta SVV_x$ 。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件处理数据,符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示;随机区组设计的计量资料不同时点比较采取重复测量方差分析,组间比较采用成组 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用 Pearson 相关分析探讨正态分布参数变化之间的相关性;采用 Spearman 相关分析探讨非正态分布参数变化之间的相关性,计算相

关系数(r)。

2 结果

2.1 不同时点呼吸、循环参数比较

t_1 至 t_6 时点患者的呼吸、循环参数比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$), 见表 1。

2.2 $T_1 \sim T_5$ 各时间段 ΔC 与 ΔSV 、 ΔSVV 的相关性分析

T_1 至 T_5 5 个时间段, ΔC 与 ΔSV 、 ΔSVV 具

有相关性, 所有受试者的 ΔC 与 ΔSVV 、 ΔSV 的相关性较非高血压受试者弱, 较高血压受试者强, 见表 2。

2.3 高血压受试者与非高血压受试者的 BaPWV 比较

高血压受试者的 BaPWV 为 (14.3 ± 2.1) m/s, 非高血压受试者为 (10.1 ± 1.7) m/s, 高血压受试者 BaPWV 与非高血压受试者比较, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。

表 1 $t_1 \sim t_6$ 各时点患者的呼吸、循环参数比较($\bar{x} \pm s$)

参数	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
HR/(次/min)	66.0 ± 5.5	65.8 ± 4.8	65.8 ± 5.4	65.4 ± 5.0	65.0 ± 5.5	65.4 ± 5.1
MAP/mmHg	80.2 ± 5.8	80.4 ± 6.0	80.8 ± 5.2	80.6 ± 5.6	80.8 ± 5.3	80.8 ± 5.5
CO/(L/min)	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.3	3.4 ± 0.4
SV/mL	64.2 ± 5.2	65.2 ± 5.6	65.8 ± 5.9	65.0 ± 5.7	64.4 ± 5.7	64.0 ± 5.8
SVV/%	8.6 ± 2.5	8.6 ± 2.4	8.8 ± 2.8	8.8 ± 3.0	9.0 ± 3.0	9.0 ± 3.2
p_{peak} /cmH ₂ O	14.8 ± 1.8	14.8 ± 1.9	14.6 ± 1.6	14.2 ± 1.7	14.2 ± 1.8	14.4 ± 1.8
p_{plat} /cmH ₂ O	13.4 ± 1.7	13.4 ± 1.6	13.4 ± 1.6	13.2 ± 1.7	13.2 ± 1.8	13.6 ± 1.8
C/(mL/cmH ₂ O)	46.8 ± 4.6	46.2 ± 4.4	46.6 ± 4.6	46.4 ± 4.2	46.8 ± 5.7	46.8 ± 6.2

HR: 心率; MAP: 平均动脉压; SVV: 每搏量变异度; SV: 每搏输出量; CO: 心排量; p_{peak} : 气道峰压; p_{plat} : 气道平台压; C: 肺总顺应性。

表 2 患者 $T_1 \sim T_5$ 各时间段的 ΔC 与 ΔSV 、 ΔSVV 的相关性分析

r	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
r_1	-0.626	-0.650	-0.676	-0.588	-0.518
r_2	0.744	0.772	0.785	0.698	0.681
r_3	-0.602	-0.614	-0.625	-0.536	-0.501
r_4	0.694	0.702	0.710	0.628	0.624
r_5	-0.703	-0.705	-0.753	-0.640	-0.572
r_6	0.827	0.849	0.875	0.840	0.810

r_1 : 所有受试者 ΔC 与 ΔSVV 的相关系数;
 r_2 : 所有受试者 ΔC 与 ΔSV 的相关系数;
 r_3 : 高血压受试者 ΔC 与 ΔSVV 的相关系数;
 r_4 : 高血压受试者 ΔC 与 ΔSV 的相关系数;
 r_5 : 非高血压受试者 ΔC 与 ΔSVV 的相关系数;
 r_6 : 非高血压受试者 ΔC 与 ΔSV 的相关系数。

3 讨论

液体治疗是保障患者生命安全的重要因素, 实施液体治疗不仅要维持循环稳定, 还需避免肺损伤的发生。肺损伤出现时, 肺顺应性能够迅速做出响应^[7], 指导临床医生调整呼吸模式及参数, 优化通换气^[8], 减少血流动力学剧烈波动^[9-10]。目前常用的容量管理指标包括 SV、SVV 等^[11-12], 研究^[13-14]表明, 当 SV、SVV 等得到优化时, 肺水肿可能已经发生, 这可能是因为忽略了液体治疗中肺的液体容量反应性。因此本研究探讨

了 C 变化与 SV、SVV 变化的相关性, 以期为改善液体治疗效果提供呼吸方面的参考。

本研究对相邻时间段 C 的变化量与 ΔSV 、 ΔSVV 分别进行了相关性分析, 结果显示, 所有受试者 ΔC 与 ΔSV 、 ΔSVV 均具有相关性, 其中 ΔC 与 ΔSV 呈正相关, 与 ΔSVV 呈负相关, 且 ΔC 与 ΔSV 、 ΔSVV 的相关性均在 T_3 时间段达到高峰, 相关强度发生上述改变的原因可能为在心肺功能较为稳定的前提下, 随着机体有效循环容量的增加, 右心前负荷及左心前负荷增加, 进而使 SV 增加, SVV 降低^[15]; 同时随着肺扩张能力对机械通气的同步性增强, 肺顺应性得到优化^[16], SV、SVV 以及 C 的变化较为同步。 T_3 时间段后, 相关性下降则可能是由于阻力血管、容量血管过度扩张, 引起容量再分布, 使心脏灌注减少, ΔSV 及 ΔSVV 减小, 甚至无变化^[17], 最终导致相关性减弱。

高血压使左心室舒张功能下降, 影响心脏泵血, 且早期就会引起小动脉痉挛, 这均可能导致 SV 及肺顺应性下降^[18-19]。SUNG J 等^[20]研究表明, 高血压与 BaPWV 具有强相关性, 即高血压者具有更高的动脉僵硬度。动脉僵硬度的增大则又会影响 SV、SVV 及肺顺应性^[21]。本研究通过对 T_1 至 T_5 各时间段所有受试者、高血压和非高血压受试者的 ΔC 与 ΔSV 及 ΔC 与 ΔSVV 分别进行相

关性分析发现,与所有受试者及非高血压受试者相比,高血压受试者的 ΔC 与 ΔSV 及 ΔSVV 的相关性较弱,而所有受试者 ΔC 与 ΔSV 及 ΔSVV 的相关性虽优于高血压者,但较非高血压者弱,表明高血压可以影响C的容量反应能力。

本研究仍存在一定的局限性。C包括静态顺应性及动态顺应性,由于条件所限,本研究没有对静态顺应性及动态顺应性的容量反应性进行单独测量及分析,仅评估了C的容量反应性,因此无法明确C的容量反应能力是由动态还是静态顺应性引起的,也无法说明哪一种顺应性在该容量反应性中占据主导地位。

综上所述,C具有容量反应能力,而高血压对C预测容量有一定影响。

参考文献

- [1] 徐娜,兰飞,姚东旭,等.目标导向液体治疗对脊柱手术老年患者预后的影响[J].临床麻醉学杂志,2018,34(7):647-650.
- [2] RENNER J, CAVUS E, MEYBOHM P, *et al.* Stroke volume variation during hemorrhage and after fluid loading: impact of different tidal volumes[J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2007, 51(5): 538-544.
- [3] KUBITZ J C, ANNECKE T, KEMMING G I, *et al.* The influence of positive end-expiratory pressure on stroke volume variation and central blood volume during open and closed chest conditions[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2006, 30(1): 90-95.
- [4] KIM H K, PINSKY M R. Effect of tidal volume, sampling duration, and cardiac contractility on pulse pressure and stroke volume variation during positive-pressure ventilation[J]. *Crit Care Med*, 2008, 36(10): 2858-2862.
- [5] 李思源,李静洁,江来.围手术期肺顺应性影响因素探讨[J].国际麻醉学与复苏杂志,2017,38(10):910-914,924.
- [6] JIHYUN L, DONGHWAN K, YOUNGJANG L, *et al.* Hypertension is associated with increased risk of diabetic lung[J]. *Int J Environ Res Public Heal*, 2020, 17(20): 7513.
- [7] BECHER T, SCHÄDLER D, ROSTALSKI P, *et al.* Determination of respiratory system compliance during pressure support ventilation by small variations of pressure support[J]. *J Clin Monit Comput*, 2018, 32(4): 741-751.
- [8] MAGGIORE S M, BROCHARD L. Pressure-volume curve: methods and meaning[J]. *Minerva Anestesiologica*, 2001, 67(4): 228-237.
- [9] SAXENA S, TRIPATHI M, KUMAR V, *et al.* Study of tidal volume and positive end-expiratory pressure on alveolar recruitment using spiro dynamics in mechanically ventilated patients[J]. *Anesth Essays Res*, 2020, 14(1): 154-159.
- [10] XU D, WEI W, CHEN L H, *et al.* Effects of different positive end-expiratory pressure titrating strategies on oxygenation and respiratory mechanics during one-lung ventilation: a randomized controlled trial[J]. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(2): 1133-1144.
- [11] SUNDARAM S C, SALINS S R, KUMAR A N, *et al.* Intra-operative fluid management in adult neurosurgical patients undergoing intracranial tumour surgery: randomised control trial comparing pulse pressure variance (PPV) and central venous pressure (CVP)[J]. *J Clin Diagn Res*, 2016, 10(5): UC01-UC05.
- [12] KIMURA A, SUEHIRO K, JURI T, *et al.* Hemodynamic changes via the lung recruitment maneuver can predict fluid responsiveness in stroke volume and arterial pressure during one-lung ventilation[J]. *Anesth Analg*, 2021, 133(1): 44-52.
- [13] ZHANG J, QIAO H, HE Z Y, *et al.* Intraoperative fluid management in open gastrointestinal surgery: goal-directed versus restrictive[J]. *Clin Sao Paulo Braz*, 2012, 67(10): 1149-1155.
- [14] SLOBOD D, YAO H, MARDINI J, *et al.* Bioimpedance-measured volume overload predicts longer duration of mechanical ventilation in intensive care unit patients[J]. *Can J Anaesth*, 2019, 66(12): 1458-1463.
- [15] JEAN-LOUIS V, HARRY W M. Fluid challenge revisited[J]. *Crit Care Med*, 2006, 34(5): 1333-1337.
- [16] PINSKY M R. Cardiovascular issues in respiratory care[J]. *Chest*, 2005, 128(5 Suppl 2): 592S-597S.
- [17] BONIOS M J, KYRZOPOULOS S, TSIAPRAS D, *et al.* Ultrasound guidance for volume management in patients with heart failure[J]. *Heart Fail Rev*, 2020, 25(6): 927-935.
- [18] VAN DEN BOS, WESTERHOF N, RANDALL O S. Pulse Wave Reflection: Can It Explain the Differences Between Systemic and Pulmonary Pressure and Flow Waves A Study in Dogs[J]. *Circ Res*, 1982, 51(4): 479-485.
- [19] KACZMARCZYK P, MAGA P, NIZANKOWSKI R, *et al.* The relationship between pulse waveform analysis indices, endothelial function and clinical outcomes in patients with peripheral artery disease treated using percutaneous transluminal angioplasty during a one-year follow-up period[J]. *Cardiol J*, 2020, 27(2): 142-151.
- [20] MOURA N G R, FERREIRA A S. Pulse waveform analysis of Chinese pulse images and its association with disability in hypertension[J]. *J Acupunct Meridian Stud*, 2016, 9(2): 93-98.
- [21] SUNG J, CHO S J, HONG K P. Relationship between fitness and arterial stiffness according to hypertensive state[J]. *Clin Exp Hypertens*, 2019, 41(8): 733-738.

(本文编辑:周冬梅)