

论著·临床研究

电阻抗成像技术在不停跳冠脉旁路移植术后肺复张中的临床应用

王颖骅^{1*}, 潘雁^{2*}, 杨敏¹

上海交通大学附属胸科医院 1. 重症监护科, 2. 药剂科, 上海 200030

[摘要] **目的**·应用电阻抗成像技术 (electrical impedance tomography, EIT) 确定不停跳冠状动脉旁路移植术 (off pump coronary artery bypass grafting surgery, OPCAB) 术后最合适的呼气末正压 (positive end expiratory pressure, PEEP), 以达到改善肺通气分布情况、优化肺复张的效果。**方法**·入选 2017 年 1—12 月于上海交通大学附属胸科医院行 OPCAB 的 105 例患者。采用随机数余数分组法将患者分为实验组 54 例, 对照组 51 例。EIT 观察术后肺通气的 4 个兴趣区 (region of interest, ROI)。对照组应用 3 cmH₂O PEEP, 实验组调整 PEEP 值由 0 cmH₂O 逐步升高至 14 cmH₂O, 每次增加 2 cmH₂O, 并应用最适 PEEP。比较 2 组术后氧合指数 (PaO₂/FiO₂) 和肺部并发症的差异。**结果**·105 例患者中死亡 2 例 (1.90%), 术后肺部并发症发生 19 例 (18.10%)、肺部感染 3 例 (2.86%)、肺不张 19 例 (18.10%)、胸腔积液 19 例 (18.10%)。OPCAB 术后最适 PEEP 区间为 6 ~ 9 cmH₂O。实验组应用最适 PEEP 后, PaO₂/FiO₂ 显著升高 ($P=0.00$)。与对照组相比, 实验组术后肺部并发症发生率显著降低 ($P=0.02$)。**结论**·应用 EIT 可实时直观监测 OPCAB 术后肺通气分布情况, 滴定适合肺复张的 PEEP; 能够显著减少 OPCAB 术后肺部并发症, 改善 PaO₂/FiO₂, 减少 ICU 停留时间及机械通气时间。

[关键词] 电阻抗成像技术; 不停跳冠状动脉旁路移植术; 肺复张; 呼气末正压

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2018.06.012 **[中图分类号]** R654.2 **[文献标志码]** A

Application of electrical impedance tomography for postoperative lung recruitment in patients undergoing off pump coronary artery bypass grafting surgery

WANG Ying-hua^{1*}, PAN Yan^{2*}, YANG Min¹

1. Department of Intensive Care Unit; 2. Department of Pharmacy, Shanghai Chest Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China

[Abstract] **Objective**·To find out the optimal positive end expiratory pressure (PEEP) by electrical impedance tomography (EIT) for better lung recruitment and ventilation distribution in patients undergoing off pump coronary artery bypass grafting surgery (OPCAB). **Methods**·105 patients underwent OPCAB from Jan. 2017 to Dec. 2017 were analysed. Patients were randomly divided into two groups, i.e. experiment group (54 cases) and control group (51 cases). Four regions of interest (ROI) were recorded by EIT. PEEP were 3 cmH₂O in control group while PEEP were increased stepwise by 2 cmH₂O from 0 cmH₂O to 14 cmH₂O in experiment group. The optimal PEEP for lung recruitment was applied in experiment group. Postoperative oxygenation index (PaO₂/FiO₂) and pulmonary complication were compared between two groups. **Results**·The overall mortality was 2 (1.90%). The incidence of postoperative pulmonary complication, pulmonary infection, atelectasis, pleural effusion were 18.10%, 2.86%, 18.10%, 18.10%, respectively. The optimal PEEP zone was 6–9 cmH₂O. PaO₂/FiO₂ was significantly increased with the optimal PEEP in experiment group ($P=0.00$). There were significant differences in postoperative pulmonary complication between two groups ($P=0.02$). **Conclusion**·EIT can directly monitor ventilation distribution and titrate suitable PEEP for better lung recruitment in patients undergoing OPCAB. It can significantly reduce postoperative pulmonary complication, improve oxygenation, and decrease ICU stay and ventilation duration.

[Key words] electrical impedance tomography (EIT); off pump coronary artery bypass grafting surgery (OPCAB); lung recruitment; positive end expiratory pressure (PEEP)

心脏外科术后低氧血症、急性肺损伤是常见的并发症。有文献^[1]报道, 心脏术后急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 的发生率为 0.6% ~ 20%、致死率达 80%, 而由于呼吸功能不全将会导致 43% 的患者再次进入重症监护室 (intensive care unit, ICU)。通过调整机械通气的参数, 医生可优化患者术后肺

复张, 减少心脏术后肺部并发症的发生, 缩短 ICU 住院时间, 从而降低费用。电阻抗成像技术 (electrical impedance tomography, EIT) 参照 CT 的断层成像原理, 应用电阻抗技术, 将肺容积的变化转换成图像信号, 进而实现实时、床边、无创伤、无辐射^[2-3]地观察肺通气情况。本研究利用 EIT, 完善心脏术后机械通气参数, 滴定呼气末正压

[作者简介] 王颖骅 (1981—), 女, 主治医师, 硕士; 电子信箱: pen1019@hotmail.com。潘雁 (1971—), 女, 副主任药师, 硕士; 电子信箱: sispan@126.com。* 为共同第一作者。

[通信作者] 杨敏, 电子信箱: yangmin1996@126.com。



(positive end expiratory pressure, PEEP), 以达到改善肺通气分布情况、优化肺复张的效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料

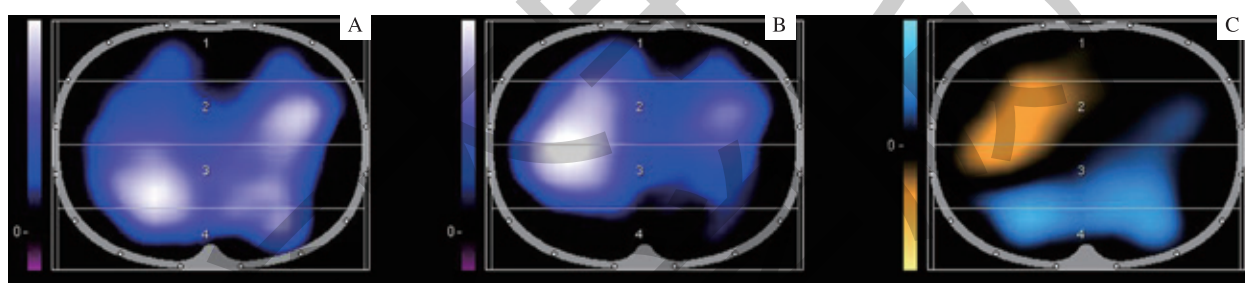
入选 2017 年 1—12 月于上海交通大学附属胸科医院行不停跳冠状动脉旁路移植术 (off pump coronary artery bypass grafting surgery, OPCAB) 的 105 例患者。采用随机数表法将其分为实验组 (54 例) 和对照组 (51 例), 应用 EIT 对患者进行观察分析。本课题研究内容与实施过程符合科学的伦理学基本原则, 经上海交通大学附属胸科医院伦理委员会审查批准同意 [伦理号: KS (P) 1808]。

患者纳入标准: ① OPCAB 手术患者。② 18 ~ 80 岁。③ 男女不限。④ 择期手术 (非急诊手术)。患者排除标准: ① 体外循环下冠状动脉旁路移植术患者。② 术中中转体外

循环的冠状动脉旁路移植术患者。③ 急诊手术患者。

1.2 EIT 成像与分析

EIT 成像应用 EIT 监护设备 Pulmo Vista 500 (Draeger Medical, 德国), 后期图像分析使用 EIT 数据分析软件包 Draeger EIT Data Analysis Tool 6.1 (Draeger Medical, 德国)。将 16 个电极组成的电极带围绕在第 4、5 肋胸廓处, 以确保电极与皮肤贴合良好。电极 8、9 在脊柱附近, 电极 15、16 在胸骨附近。肺部图像由腹侧至背侧, 将取样框水平四等分为 4 个兴趣区 (region of interest, ROI), 即 ROI1、ROI2、ROI3 和 ROI4, $ROI = \text{区域通气容积} / \text{总通气容积} \times 100\%$, $ROI1 + ROI2 + ROI3 + ROI4 = 100\%$, 见图 1。根据 Draeger 医疗公司统计的临床经验, 健康人 ROI1 和 ROI4 为 10% ~ 15%, ROI2 和 ROI3 为 30% ~ 40%。EIT 监护设备记录每一位患者的 EIT 图像资料后, 经人工导出再利用 EIT 数据软件包对数据及图像进行分析, 记录 ROI 的具体数值。



注: A. PEEP=12 cmH₂O 时; B. PEEP=4 cmH₂O 时; C. A 与 B 的差异。橙色为肺不张的部位, 浅蓝色为肺复张的部位。

图 1 EIT 肺通气图像

Fig 1 Ventilation distribution image by EIT

1.3 PEEP 滴定

Suter 等^[4]在 1975 年提出了最适 PEEP 的概念。本研究的最适 PEEP 为能够避免重力依赖区肺泡不张和非重力依赖区肺泡过度膨胀, 并对血流动力学影响最小的最适合患者的 PEEP。PEEP 滴定则为确定最适 PEEP 的过程。使用该滴定方法, 医生可以选择最适合的 PEEP 为患者进行安全有效的肺复张, 避免机械通气引起的气压伤和血流动力学波动。患者行 OPCAB 后进入 ICU, 用 1% 丙泊酚镇静, 同步间歇指令通气 (synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV) 容量控制模式辅助通气, 根据患者体表面积进行个体化参数设置。应用 EIT 观察肺通气图像, 记录 EIT 测定的 4 个 ROI 和呼气末肺容积变化值 (change of end expiratory lung volume, ΔEEL)。对照组设定 PEEP 为 3 cmH₂O, PEEP 维持直至撤除呼吸机辅助通气。实验组 PEEP 从 0 cmH₂O 开始, 每 10 min 增加 2 cmH₂O 直

至 14 cmH₂O; 每增加一次, 记录 EIT 测定的 4 个 ROI 和 ΔEEL , 并根据 EIT 通气图像和 ROI 趋势确定最适 PEEP 并维持, 撤机时逐渐降低 PEEP。

1.4 手术方法

该手术为非体外冠状动脉旁路移植术, 桥血管选用左乳内动脉、桡动脉和大隐静脉。OPCAB 需在固定器帮助下完成桥血管远端吻合。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 20.0 统计学软件进行分析。对所有数据进行方差齐性检验。定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 和中位数表示, 单因素分析采用 t 检验及单因素方差分析。定性资料采用 χ^2 检验, 用率和百分比表示。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 术前、术中资料比较

入选的 105 例患者中, 死亡 2 例, 占比 1.90%。经随机数余数分组后, 实验组和对照组的术前、术中临床资料相比, 除了体质质量指数 (body mass index, BMI) 外, 其余项目组间差异均无统计学意义 (表 1)。

2.2 最适 PEEP 应用前后氧合情况

本研究中应用的患者肺复张最适 PEEP 是根据 EIT 图

像和 EIT 测定的 ROI 趋势直接获得。最适 PEEP 应用后的氧合指数 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) 为使用最适 PEEP 后 1 h 测得。实验组使用最适 PEEP 前后相比, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 及血气中二氧化碳分压 (artery carbon dioxide pressure, PaCO_2) 显著升高 ($P=0.00$), 而脉搏血氧饱和度 (pulse oxygen saturation, SpO_2) 差异无统计学意义 ($P=0.11$); 对照组应用 PEEP 3 cmH_2O 1 h 前后, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 及 SpO_2 均无统计学差异 ($P=0.05$) (表 2)。与对照组使用 PEEP 3 cmH_2O 1 h 后结果相比, 实验组应用最适 PEEP 后 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 有显著升高 ($P=0.00$)。

表 1 术前、术中一般临床资料
Tab 1 Preoperative and operative clinical records

项目	实验组 (N=54)	对照组 (N=51)	t 值	χ^2 值	P 值
年龄 / 岁	62.69 ± 6.37	63.69 ± 5.54	1.19	—	0.28
性别 (男 / 女) / n	33/21	35/16	—	0.65	0.54
BMI / (kg/m^2)	23.20 ± 2.31	23.17 ± 3.40	7.90	—	0.01
NYHA 分级 / n			—	1.28	0.53
II	12	7			
III	41	43			
IV	1	1			
术前吸烟 / n	7	6	—	0.04	0.54
术前高血压 / n	16	18	—	0.38	0.68
术前糖尿病 / n	4	5	—	0.19	0.74
术前 PaO_2/mmHg	90.35 ± 6.72	87.86 ± 6.50	2.31	—	0.13
术前 LAD/mm	44.54 ± 9.22	42.73 ± 8.47	0.45	—	0.50
术前 LVDD/mm	53.31 ± 10.69	53.96 ± 8.59	0.59	—	0.44
术前 RAD/mm	44.11 ± 15.39	39.35 ± 17.49	0.79	—	0.38
术前 RVD/mm	34.70 ± 7.10	32.10 ± 6.81	1.97	—	0.16
术前 LVEF/%	59.98 ± 7.78	60.14 ± 9.04	0.60	—	0.44
术前肺动脉压力 /mmHg	39.22 ± 15.19	34.47 ± 17.41	0.62	—	0.44
EuroSCORE II	4.24 ± 2.99	3.84 ± 3.74	3.68	—	0.06
输血量 >1 000 mL/n	1	0	—	0.95	0.51
术中低氧血症 / n	1	3	—	1.16	0.35
搭桥数量 / 根	3.37 ± 0.99	3.45 ± 0.95	0.34	—	0.56

注: NYHA (New York Heart Association) 为纽约心脏病协会; PaO_2 (artery oxygen pressure) 为动脉血氧分压; LAD (left atrium diameter) 为左房内径; LVDD (left ventricular diastolic diameter) 为左室舒张末内径; RAD (right atrium diameter) 为右房内径; RVD (right ventricular diameter) 为右室内径; LVEF (left ventricular ejection fraction) 为左室射血分数; EuroSCORE II (European system for cardiac operative risk evaluation II) 为欧洲心脏手术危险评分 II。

表 2 最适 PEEP 应用前后氧合情况比较
Tab 2 Comparison of oxygenation pre and post application of PEEP

组别	实验组 (N=54)			对照组 (N=51)		
	使用最适 PEEP 前	使用最适 PEEP 后	P 值	PEEP=3 cmH_2O 1 h 前	PEEP=3 cmH_2O 1 h 后	P 值
SpO_2	99.15 ± 1.51	99.37 ± 0.83	0.11	98.88 ± 1.21	98.88 ± 1.29	0.05
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$	303.63 ± 51.66	369.44 ± 43.85	0.00	288.20 ± 53.62	300.18 ± 50.03	0.05
PaCO_2	33.50 ± 1.92	36.59 ± 2.60	0.00	31.86 ± 1.50	33.51 ± 2.19	0.00

2.3 术后肺部并发症比较

与对照组相比,应用最适 PEEP 后,实验组肺部并发症的发生率 ($P=0.02$)、肺不张的发生率 ($P=0.02$) 及低氧血症发生率 ($P=0.01$) 均显著降低,胸腔积液 ($P=0.02$) 明显减少;同时, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ($P=0.00$)、呼吸机辅助通气时间 ($P=0.01$) 和 ICU 停留时间 ($P=0.01$) 的差异也具有统计学意义 (表 3)。

表 3 2 组术后临床资料比较
Table 3 Comparison of postoperative clinical records between two groups

项目	实验组 (N=54)	对照组 (N=51)	t 值	χ^2 值	P 值
术后第 1 日引流量 /mL	529.81±278.27	604.71±396.28	3.74	—	0.06
术后低氧血症 /n	2	10	—	6.55	0.01
术后呼吸机辅助通气时间 /h	12.57±10.19	32.88±103.81	6.74	—	0.01
ICU 停留时间 /d	2.04±0.82	2.86±4.19	7.06	—	0.01
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$	369.44±43.85	300.18±50.03	7.56	—	0.00
术后肺部并发症 /n	5	14	—	5.86	0.02
术后肺部感染 /n	1	2	—	0.41	0.61
术后肺不张 /n	5	14	—	5.86	0.02
术后胸腔积液 /n	5	14	—	5.86	0.02
死亡 /n	0	2	—	2.00	0.49

2.4 最适 PEEP 区间

最适 PEEP 区间由后期统计分析获得。实验组调整 PEEP 过程中, EIT 测得的 ROI 为非正态分布; 因此, 分别用 0、2、4、6、8、10、12、14 cmH_2O PEEP 时记录的 ROI1、ROI2、ROI3、ROI4 求中位数, 以 ROI 百分比作为纵坐标、PEEP 为横坐标绘制实验组 PEEP 与 4 个 ROI 的关系图谱 (图 2)。由图可知, ROI1 与 ROI4 相交处所对应的 PEEP 和 ROI2 与 ROI3 相交所对应的 PEEP 之间的区域即为最合适的 PEEP 区间。

本研究最适 PEEP 区间为 6 ~ 9 cmH_2O , 而实验中应用的最适 PEEP 恰好也落在后期统计分析获得的最适 PEEP 区间之中。

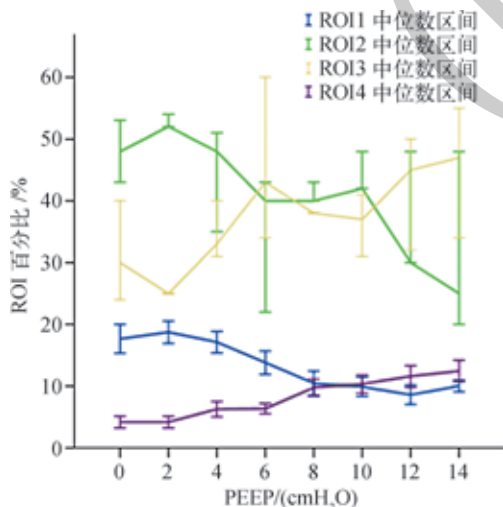


图 2 EIT 测定 ROI 与 PEEP 的关系
Fig 2 Relation between PEEP and ROI by EIT

3 讨论

EIT 是一项无创、无辐射、床边实时监测肺功能的新技术, 可通过体表电极测量胸腔内的电传导, 将电压、电阻信息集中编辑重建进而构成直观的肺通气图像。CT 虽是胸部疾病诊断的金标准, 但存在无法实时床边监测、因反复检查导致放射剂量较多等缺点^[5]。EIT 图像技术模拟了 CT 的断层成像原理, 能够在床边直观地观察肺组织塌陷或膨胀。研究^[6-7]显示, EIT 指导的肺保护通气和 PEEP 滴定能够改善通气, 优化术中、术后 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 。

心脏手术后患者往往因局部肺不张或者胸腔积液影响其术后呼吸功能, 造成低氧, 而严重的低氧血症甚至会影响心排量^[8]。尽管 OPCAB 避免了体外循环, 但是术中获取乳内动脉、血管吻合时压迫心脏等操作导致的肺循环淤血、肺不张、肺水肿仍可能引起术后低氧血症和肺部并发症。PEEP 可以复张不稳定的肺泡, 维持肺泡开放, 改善气体交换和组织氧合, 从而减少低氧血症和肺部并发症的发生。然而, 高潮气量或高呼气末压力引起的肺泡过度复张, 不但可影响心脏术后血流动力学的平稳, 也是导致呼吸机相关肺损伤的重要因素^[9-11]。目前, 肺保护性通气的策略是使用小潮气量及最合适的 PEEP^[12-14], 尽量减少肺过复张或反复开闭肺不张区域引起的肺损伤。最适合的 PEEP 能使新复张的肺泡保持开放, 避免已复张的肺泡过度膨胀, 同时减少其对血流动力学的影响。CT 是确定肺复张的金标准, 但由于使用呼吸机的危重患者不适宜搬动, 故不适合反复行 CT 检查进行 PEEP 滴定。目前, 常用的 PEEP 滴定方法包

括 FiO_2 -PEEP 表格法、压力-容量环法等, 其均为基于肺复张后最佳顺应性导向的 PEEP 设置, 操作繁琐且在肺复张过程中易出现低血压、低氧甚至气压伤等并发症。此外, 也有许多研究应用直观便捷的 EIT 对 PEEP 滴定进行探索^[15-20]。

本研究应用 EIT 床边直观地记录了 OPCAB 术后机械通气的气体分布情况, 包括局部肺不张、过复张等肺通气现象; 同时, 在 EIT 引导下对 OPCAB 术后 PEEP 进行了安全有效的滴定; 结合 EIT 图像和 EIT 测定的 ROI, 方便直观地确定了最合适患者肺复张的 PEEP, 避免了背侧重力依赖区肺泡不张和腹侧非重力依赖区肺泡过度膨胀。患者应用最适 PEEP, 减少了 OPCAB 术后循环波动、呼吸机相关肺损伤、术后肺不张、胸腔积液等肺部并发症

的发生, 降低了吸入氧浓度 (fraction of inspired oxygen, FiO_2), 改善了 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, 进而也减少了机械通气时间和 ICU 停留时间。研究中, 将滴定过程中的 PEEP 变化设置为 $2\text{ cmH}_2\text{O}$, 以期观察到细微的 PEEP 变化对肺通气分布的影响; 该方法有利于精确滴定最合适的 PEEP, 以达到更有效安全的肺复张。此外, 在 EIT 指导下, 本研究床边直观获得并应用的最适 PEEP 恰好落在后期统计分析获得的最适 PEEP 区间, 从而也验证了 EIT 技术在 PEEP 滴定方面的价值和有效性。

综上所述, EIT 能够用图像形式直观地提示术后肺不张的发生以及加用 PEEP 治疗后的肺复张效果, 在心脏术后保护性肺通气中有很重要的临床应用价值。

参·考·文·献

- [1] Zochios V, Klein AA, Gao F. Protective invasive ventilation in cardiac surgery: a systematic review with a focus on acute lung injury in adult cardiac surgical patients[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2017. DOI: 10.1053/j.jvca.2017.10.031.
- [2] Nebuya S, Koike T, Imai H, et al. Feasibility of using 'lung density' values estimated from EIT images for clinical diagnosis of lung abnormalities in mechanically ventilated ICU patients[J]. Physiol Meas, 2015, 36(6): 1261-1271.
- [3] Lobo B, Hermosa C, Abella A, et al. Electrical impedance tomography[J]. Ann Transl Med, 2018, 6(2): 26-35.
- [4] Suter PM, Fairley B, Isenberg MD. Optimum end-expiratory airway pressure in patients with acute pulmonary failure[J]. N Engl J Med, 1975, 292(6): 284-289.
- [5] Yun L, He HW, Möller K, et al. Assessment of lung recruitment by electrical impedance tomography and oxygenation in ARDS patients[J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(22): e3820.
- [6] He X, Jiang J, Liu Y, et al. Electrical impedance tomography-guided PEEP titration in patients undergoing laparoscopic abdominal surgery[J]. Medicine(Baltimore), 2016, 95(14): e3306.
- [7] Blankman P, Shono A, Hermans BJ, et al. Detection of optimal PEEP for equal distribution of tidal volume by volumetric capnography and electrical impedance tomography during decreasing levels of PEEP in post cardiac-surgery patients[J]. Br J Anaesth, 2016, 116(6): 862-869.
- [8] Repessé X, Vieillard-Baron A. Right heart function during acute respiratory distress syndrome[J]. Ann Transl Med, 2017, 5(14): 295.
- [9] Bugeo G, Retamal J, Bruhn A. Does the use of high PEEP levels prevent ventilator-induced lung injury?[J]. Rev Bras Ter Intensiva, 2017, 29(2): 231-237.
- [10] Nieman GF, Satalin J, Kollisch-Singule M, et al. Physiology in medicine: understanding dynamic alveolar physiology to minimize ventilator-induced lung injury[J]. J Appl Physiol(1985), 2017, 122(6): 1516-1522.
- [11] Karsten J, Grusnick C, Paarmann H, et al. Positive end-expiratory pressure titration at bedside using electrical impedance tomography in post-operative cardiac surgery patients[J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2015, 59(6): 723-732.
- [12] Newell CP, Martin MJ, Richardson N, et al. Protective mechanical ventilation in United Kingdom critical care units: a multicentre audit[J]. J Intensive Care Soc, 2017, 18(2): 106-112.
- [13] Costa Leme A, Hajjar LA, Volpe MS, et al. Effect of intensive vs moderate alveolar recruitment strategies added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications: a randomized clinical trial[J]. JAMA, 2017, 317(4): 1422-1432.
- [14] Zamani MM, Najafi A, Sehat S, et al. The effect of intraoperative lung protective ventilation vs conventional ventilation, on postoperative pulmonary complications after cardiopulmonary bypass[J]. J Cardiovasc Thorac Res, 2017, 9(4): 221-228.
- [15] Franchineau G, Bréchet N, Lebreton G, et al. Bedside contribution of electrical impedance tomography to setting positive end-expiratory pressure for extracorporeal membrane oxygenation-treated patients with severe acute respiratory distress syndrome[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2017, 196(4): 447-457.
- [16] Kobylanski J, Murray A, Brace D, et al. Electrical impedance tomography in adult patients undergoing mechanical ventilation: a systemic review[J]. J Crit Care, 2016, 35: 33-50.
- [17] Liu S, Tan L, Möller K, et al. Identification of regional overdistension, recruitment and cyclic alveolar collapse with electrical impedance tomography in an experimental ARDS model[J]. Crit Care, 2016, 20(1): 119.
- [18] Cinnella G, Grasso S, Raimondo P, et al. Physiological effects of the open lung approach in patients with early, mild, diffuse acute respiratory distress syndrome: an electrical impedance tomography study[J]. Anesthesiology, 2015, 123(5): 1113-1121.
- [19] Long Y, Liu DW, He HW, et al. Positive end-expiratory pressure titration after alveolar recruitment directed by electrical impedance tomography[J]. Chin Med J(Engl), 2015, 128(11): 1421-1427.
- [20] Hsu CF, Cheng JS, Liu WC, et al. Electrical impedance tomography monitoring in acute respiratory distress syndrome patients with mechanical ventilation during prolonged positive end-expiratory pressure adjustments[J]. J Formos Med Assoc, 2016, 115(3): 195-202.

[收稿日期] 2018-01-16

[本文编辑] 邢宇洋

