

不同单肺通气模式对胸腔镜下肺癌根治术呼吸力学及氧化应激的影响



扫码阅读电子版

宋正环 顾连兵 谭婧

江苏省肿瘤医院 江苏省肿瘤防治研究所 南京医科大学附属肿瘤医院麻醉科
210009

通信作者：谭婧，Email:273664318@qq.com

【摘要】 目的 比较 2 种单肺通气模式对胸腔镜下右肺癌根治术患者气道压力及氧化应激因子水平的影响。**方法** 选择拟行胸腔镜下右肺癌根治术需单肺通气的患者 62 例，采用随机数字表法分组，分为容量控制通气（VCV）组和压力控制通气（PCV）组，每组 31 例。2 组在双肺通气期间均采用 VCV 通气。单肺通气开始后，VCV 组潮气量为 6 ml/kg，呼气末正压为 0 cmH₂O（1 cmH₂O=0.098 kPa）；PCV 组：先用 VCV 模式，调节气道压力至潮气量达到 6 ml/kg，改为 PCV 模式，呼气末正压为 0 cmH₂O，调节通气频率，使呼气末二氧化碳分压的值维持在 30~45 mmHg（1 mmHg=0.133 kPa）。2 组在进胸前双肺通气开始后 10 min（T1）及单肺通气开始后 30 min（T2）、60 min（T3）、120 min（T4）4 个时间点采集桡动脉血 2 ml 行血气分析。2 组患者分别在 T1、T3、T4 时间点采取桡动脉血血清检测丙二醛（MDA）和超氧化物歧化酶（SOD）。**结果** 2 组在各时间点的血流动力学参数差异无统计学意义。在 T3、T4 时 PCV 组的气道峰压分别为（22.00±4.44）、（21.68±4.55）cmH₂O，显著低于 VCV 组〔（25.00±4.14）、（25.00±4.03）cmH₂O〕。在 T3、T4 时 PCV 组的 MDA 分别为（6.64±2.15）、（7.11±1.50）μmol/L，显著低于 VCV 组〔（7.31±2.09）、（8.00±1.83）μmol/L〕；PCV 组的 SOD 分别为（39.42±15.36）、（37.49±13.02）U/ml，显著高于 VCV 组〔（35.94±8.47）、（31.72±7.83）U/ml〕。2 组的动脉血氧分压、动脉血二氧化碳分压在单肺通气期间差异无统计学意义。**结论** 肺癌患者胸腔镜下肺癌根治术采用 PCV 通气模式有利于降低气道峰压，同时降低氧化应激因子水平，从而可能有利于减少气道损伤。

【关键词】 单肺通气；容量控制通气；压力控制通气；血气分析；氧化应激因子

基金项目：江苏省肿瘤医院院级科研项目（ZQ201303）

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2019.03.007

Effects of different modes of one-lung ventilation on respiratory physiology and oxidative stress in thoracoscopic radical resection of lung cancer

Song Zhenghuan, Gu Lianbing, Tan Jing

Department of Anesthesia, Jiangsu Cancer Hospital, Jiangsu Institute of Cancer Prevention, Cancer Hospital affiliated to Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China

Corresponding author: Tan Jing, Email:273664318@qq.com

【Abstract】 Objective To explore the effects of two different modes for one-lung ventilation on airway pressure and oxidative stress factors during thoracoscopic radical resection of right lung cancer. **Methods** Sixty-two patients who needed one-lung ventilation after thoracoscopic radical resection of right lung cancer were divided into volume-controlled ventilation (VCV) group and pressure-controlled ventilation (PCV) group by random number table. VCV was used in both groups during dual lung ventilation. In VCV group, tidal volume was 6 ml/kg, positive end-expiratory pressure was 0 cmH₂O（1 cmH₂O=0.098 kPa）. In PCV group, VCV mode was firstly used to regulate airway pressure to tidal volume at 6 ml/kg, then PCV mode was used, positive end-expiratory pressure was 0 cmH₂O, and ventilation frequency was adjusted to maintain the value of end-tidal carbon dioxide partial pressure at 30-45 mmHg（1 mmHg=0.133 kPa）. Radial artery

blood was collected for blood gas analysis at 10 minutes (T1) before dual lung ventilation and 30 minutes (T2), 60 minutes (T3) and 120 minutes (T4) after one-lung ventilation. Malondialdehyde (MDA) and superoxide dismutase (SOD) in radial artery blood serum were measured at T1, T3 and T4 time points in the two groups. **Results** There was no significant difference in hemodynamic parameters between the two groups at different time points. At T3 and T4, the peak airway pressures of PCV group were (22.00 ± 4.44) and (21.68 ± 4.55) cmH₂O, which were significantly lower than those of VCV group [(25.00 ± 4.14) , (25.00 ± 4.03) cmH₂O]. At T3 and T4, MDA of PCV group was (6.64 ± 2.15) , (7.11 ± 1.50) μmol/L, which was significantly lower than that of VCV group [(7.31 ± 2.09) , (8.00 ± 1.83) μmol/L], and SOD of PCV group was (39.42 ± 15.36) , (37.49 ± 13.02) U/ml, which was significantly higher than that of VCV group [(35.94 ± 8.47) , (31.72 ± 7.83) U/ml]. There was no significant difference in arterial partial pressure of oxygen and carbon dioxide between the two groups during one-lung ventilation. **Conclusions** PCV in thoracoscopic radical resection of lung cancer is helpful to reduce peak airway pressure and levels of oxidative stress factors, which may be helpful to reduce airway injury.

【Key words】 One-lung ventilation; Volume-controlled ventilation; Pressure-controlled ventilation; Blood gas analysis; Oxidative stress mediators

Fund program: Jiangsu Cancer Hospital Research Fund (ZQ201303)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2019.03.007

随着胸腔镜及微创治疗技术的发展及不断成熟完善,胸腔镜下肺癌根治术被广泛运用于临床,给外科医师创造了良好的操作条件,胸腔镜下肺癌根治手术均要求进行单肺通气。单肺通气期间肺内分流增加和高气道压力可诱发或加重肺损伤,单肺通气术中肺内分流和氧合失衡容易发生低氧血症,发生率约为9%~27%^[1]。本研究观察单肺通气期间采用容量控制通气(volume-controlled ventilation, VCV)和压力控制通气(pressure-controlled ventilation, PCV)模式对患者呼吸道压力、动脉血气及氧化应激因子的影响,为临床选择较为合适的通气模式提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选择2015年4月至2016年5月入住江苏省肿瘤医院择期行胸腔镜下右肺癌根治术患者62例,单肺通气时间>2h,美国麻醉医师协会分级I~II级,其中男35例,女27例,年龄范围为18~70岁。术前心肝肾功能和肺功能都在正常范围。本研究已获本院伦理委员会批准,术前与患者或其家属均签署了知情同意书。

1.2 麻醉方法 所有患者麻醉前30min肌肉注射阿托品0.5mg。入室后建立右颈内静脉通路,局部麻醉下行左侧桡动脉穿刺置管。麻醉诱导:咪唑安定0.08mg/kg,丙泊酚1~2mg/kg,芬太尼3~4μg/kg,顺式阿曲库铵0.15mg/kg。插入双腔支气管导管,导管型号:男37~39#,女35~37#。纤维支气管镜调整定位确切后,Ohmeda7900型麻醉机行机械通气。麻醉维持:顺

式阿曲库铵7~10μg·kg⁻¹·min⁻¹,瑞芬太尼0.1~0.2μg·kg⁻¹·min⁻¹,异丙酚6~12mg·kg⁻¹·min⁻¹。平均动脉压较基础值高于20%时,间断推注芬太尼50~100μg。所有患者插管后皆给予容量控制双肺通气。呼吸机设置:潮气量为8ml/kg,呼吸频率为12次/min,吸呼比=1:2,吸入氧浓度为1.0,氧流量为1L/min。进胸后改为单肺通气,按随机数字表法将患者分为2组:VCV组和PCV组,每组31例。VCV组潮气量为6ml/kg;PCV组先用VCV行单肺通气,调节气道压至潮气量达6ml/kg后更改通气模式为PCV。2组调整呼吸频率,维持P_{ET}CO₂的值在30~45mmHg(1mmHg=0.133kPa)。2组呼气末正压为0cmH₂O(1cmH₂O=0.098kPa)。单肺通气期间吸入氧浓度为1.0,氧流量为1L/min。

1.3 观察指标 持续监测心电图、心率、脉搏血氧饱和度和动脉压。分别在双肺通气开始后10min(T1)及单肺通气开始后30min(T2)、60min(T3)、120min(T4)4个时间点记录2组的气道峰压、平均气道压、气道平台压、气道阻力、PaO₂和P_{ET}CO₂;在T1、T3、T4时间点取桡动脉血清采用比色法(试剂盒为南京建成生物制品公司产品)检测超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性及丙二醛(malondialdehyde, MDA)浓度。所有手术由同一组外科医师完成。

1.4 统计学分析 应用SPSS 19.0软件进行统计处理。所有数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2组间数据比较采用成组 t 检验,组内采用配对 t 检验。 $P < 0.05$ 为

差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组患者一般资料 2 组患者性别、年龄、体质指数比较差异无统计学意义 (表 1)。

2.2 2 组患者血流动力学和动脉血气的比较 2 组患者的血流动力学指标差异无统计学意义 (表 2)。在单肺通气期间 2 组血气分析结果差异均无统计学

意义 (表 2)。单肺通气期间 2 组患者的脉搏血氧饱和度均 >90%，2 组麻醉及手术经过顺利，无麻醉意外和并发症发生。

2.3 2 组患者呼吸道压力的比较 与 VCV 模式比较，采用 PCV 模式时气道峰压、气道平台压、气道阻力明显降低。2 组患者的平均气道压比较差异无统计学意义 (表 3)。

表 1 2 组患者一般资料 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	性别 (例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	身高 (cm, $\bar{x} \pm s$)	体质指数 (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)
		男	女				
PCV 组	31	15	16	54.16±8.43	165.32±6.36	23.29±2.83	171.74±23.09
VCV 组	31	12	19	56.03±8.40	167.00±6.46	23.51±2.92	173.39±31.03
P 值		0.442		0.385	0.307	0.270	0.814

注: PCV 为压力控制通气; VCV 为容量控制通气

表 2 2 组患者不同时间点血流动力学及动脉血气的比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	心率 (次/min)				
		T0	T1	T2	T3	T4
PCV 组	31	78.81±14.47	68.55±11.80	78.06±11.68 ^a	74.52±8.85	69.87±11.46
VCV 组	31	72.97±11.97	67.00±13.45	73.55±13.06	70.65±12.06	67.29±10.22
P 值		0.089	0.632	0.156	0.155	0.353
组别	例数	平均动脉压 (mmHg)				
		T0	T1	T2	T3	T4
PCV 组	31	100.19±8.92	88.87±13.95	83.42±10.40	86.52±8.25	91.48±7.59
VCV 组	31	97.34±11.93	87.13±20.19	87.10±11.30	86.13±8.79	89.03±8.54
P 值		0.402	0.694	0.188	0.870	0.237
组别	例数	P _{ET} CO ₂ (mmHg)				
		T0	T1	T2	T3	T4
PCV 组	31	-	34.84±3.62	37.32±3.29	37.35±3.72	37.16±3.74
VCV 组	31	-	35.23±4.06	37.87±3.32	37.23±3.05	37.42±3.56
P 值			0.693	0.156	0.882	0.321
组别	例数	PaO ₂ (mmHg)				
		T0	T1	T2	T3	T4
PCV 组	31	86.39±30.56	300.74±122.50	168.84±87.73 ^b	184.48±76.12 ^b	263.65±106.83 ^b
VCV 组	31	88.00±19.79	304.74±110.40	186.81±76.53 ^b	183.03±67.44 ^b	262.16±95.32 ^b
P 值		0.806	0.893	0.394	0.938	0.954
组别	例数	PaCO ₂ (mmHg)				
		T0	T1	T2	T3	T4
PCV 组	31	39.97±4.39	40.13±4.96	42.84±4.93	42.42±4.76	42.87±4.94
VCV 组	31	38.71±7.73	40.62±4.45	43.77±3.68 ^b	44.10±5.05 ^a	42.27±8.25
P 值		0.434	0.688	0.400	0.186	0.730

注: PCV 为压力控制通气; VCV 为容量控制通气; 1 mmHg=0.133 kPa; 与同组 T1 比较, ^aP<0.05, ^bP<0.01

表 3 2 组患者不同时间点呼吸道压力的比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	气道阻力 (cmH ₂ O · L ⁻¹ · s ⁻¹)				气道峰压 (cmH ₂ O)			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
PCV 组	31	14.97±3.57	25.87±3.84 ^a	25.84±3.77 ^a	25.71±4.11 ^a	16.74±2.73	21.19±4.13 ^a	22.00±4.44 ^a	21.68±4.55 ^a
VCV 组	31	15.10±3.16	29.84±7.21 ^a	30.23±7.55 ^a	29.71±6.60 ^a	16.71±3.00	24.55±4.44 ^a	25.00±4.14 ^a	25.00±4.03 ^a
P 值		0.881	0.009	0.005	0.006	0.965	0.030	0.008	0.003
组别	例数	气道平台压 (cmH ₂ O)				平均气道压 (cmH ₂ O)			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
PCV 组	31	14.10±2.40	19.26±3.26 ^a	20.13±3.69 ^a	20.23±3.47 ^a	5.78±0.80	7.65±0.95 ^a	7.77±0.99 ^a	7.90±2.13 ^a
VCV 组	31	14.13±3.05	21.84±3.03 ^a	22.45±2.99 ^a	22.42±3.15 ^a	6.26±1.15	8.13±1.20 ^a	8.13±1.09 ^a	8.13±1.20 ^a
P 值		0.963	0.002	0.008	0.012	0.060	0.084	0.184	0.610

注: PCV 为压力控制通气; VCV 为容量控制通气; 1 cmH₂O=0.098 kPa; 与同组 T1 比较, ^aP<0.01

2.4 2 组患者血清 SOD 和 MDA 水平的比较 与 VCV 组比较, PCV 组的 MDA 水平降低, SOD 活性升高 (表 4)。

3 讨论

为保证胸腔镜肺癌手术中胸腔内的良好手术视野, 使手术操作更加方便, 常使用单肺通气, 患侧肺萎陷经历缺血再灌注损伤, 可诱发一系列重要的病理生理改变, 大量氧化因子释放引起应激反应。因此, 选择合适的通气模式很重要。

目前临床上使用的通气模式有很多种, 常用的有 2 种: VCV 和 PCV。有学者研究认为与 VCV 相比, PCV 模式下肺内气体分布更均匀, 避免局部肺泡过度膨胀和肺泡压过高, 减少剪切力等对肺的损伤, 使通气/血流得以提高^[2]。Kim 等^[3]的回顾性分析显示, 在成人单肺通气手术期间 PCV 的优点是显著降低吸气峰压。在本研究结果中, 与 VCV 相比, PCV 模式下患者的气道峰压、气道平台压、气道阻力明显降低, 在获得相同潮气量下 PCV 模式只需较小的气道峰压。因为 PCV 模式通气时, 在较短时间内达到预设峰压后, 随着递减流量将气道压力维持在预设水平, 避免因气道峰压过高发生并发症的可能性。

在 VCV 模式的单肺通气中, 可以运用小潮气量和高频通气模式降低气道压, 但容易产生通气侧肺膨胀不全, 氧合不佳^[4]。Taniguchi 等^[5]研究认为与 VCV 相比, 在相同的潮气量和相同的吸气时间下, PCV 模式可促进动脉氧合。Tuğrul 等^[6]研究发现, 在低的肺活量患者的单肺通气期间, PCV 较 VCV 模式能改善患者的动脉氧合。

也有一些学者的研究结果与上述相反。Edibam 等^[7]采用不同通气模式对 ARDS 患者动脉氧合的影响的研究中认为, 与 VCV 相比, PCV 模式没有明显增加患者的动脉氧合作用。Montes 等^[8]对术前肺功能正常的患者研究发现, 在单肺通气期间实施 PCV 和 VCV 模式对患者动脉氧合的影响无明显差别。Pardos 等^[9]研究认为, 在单肺通气期间, 在保证潮气量恒定的基础上, VCV 组和 PCV 组患者的氧合指数未见明显差异。陶佳和

骆璇^[10]研究发现, 开胸手术患者在小潮气量单肺通气期间, PCV 与 VCV 比较, 气道压力降低但提高动脉氧合不明显。Unzueta 等^[11]研究表明术前肺功能正常的患者单肺通气期间, PCV 与 VCV 模式对 PaO₂ 的影响差异无统计学意义。Lin 等^[12]对术前肺功能不正常的老年患者实施单肺通气期间, 与 VCV 模式相比, PCV 模式对术后氧合具有显著优势。

在本研究中, 与双肺通气相比, 单肺通气开始后 2 种通气模式下均表现为 PaO₂ 下降, 在单肺通气后半小时达最低, VCV 与 PCV 模式相比较, 血气分析结果差异无统计学意义, 这说明单肺通气期间采用 PCV 模式较 VCV 模式在提高患者的氧合方面并不具有优势。双肺的通气血流比不均是导致单肺通气低氧血症的最主要原因。术前肺功能、手术体位、麻醉方法/麻醉剂以及缺氧性肺血管收缩等都会影响其肺的通气血流比。本研究选取术前肺功能正常患者, 采用容量保证的 PCV 模式, 减少肺内分流, 减轻气压伤, 避免因潮气量不足引起的小气道过早关闭所致的低氧血症。同时术中采用丙泊酚、瑞芬太尼静脉麻醉, 不抑制缺血性肺血管收缩, 不影响肺内分流^[9,13], 故术中无一例发生低氧血症。

有学者分析单肺通气时氧化应激反应对术后多器官功能的影响, 发现肺是最易受损的靶器官之一^[14]。当肺组织受到损伤时, 体内高活性分子如活性氧自由基大量产生, 与抗氧化之间失衡, 造成血管结构的破坏, 从而导致肺组织的损伤。活性氧自由基可以氧化细胞膜上的不饱和脂肪酸, MDA 是其反应的最终产物, MDA 的浓度是反映氧化应激状况的敏感指标之一, 可间接反映细胞损伤严重程度, 因此本研究选取富有代表性的氧化指标 MDA 进行研究。

Metnitz 等^[15]观察病程 6 d 以上的 ARDS 患者血浆中抗氧化剂和中性粒细胞产生的氧自由基水平, 发现病程中血浆 MDA 水平持续上升, 患者起病及病程中抗氧化系统严重受抑。氧自由基可损伤机体生物膜及生物大分子, 导致肺组织结构功能异

表 4 2 组患者不同时间点血清中氧化应激因子的变化 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	丙二醛 ($\mu\text{mol/L}$)			超氧化物歧化酶 (U/ml)		
		T1	T3	T4	T1	T3	T4
PCV 组	31	6.31 ± 1.80	6.64 ± 2.15 ^a	7.11 ± 1.50 ^b	40.83 ± 15.49	39.42 ± 15.36	37.49 ± 13.02 ^a
VCV 组	31	6.75 ± 1.31	7.31 ± 2.09	8.00 ± 1.83	39.01 ± 11.03	35.94 ± 8.47	31.72 ± 7.83
P 值		0.060	0.020	0.004	0.060	0.280	0.042

注: PCV 为压力控制通气; VCV 为容量控制通气; 与同组 T1 比较, ^aP < 0.05, ^bP < 0.01

常,是肺损伤发展的重要原因之一。SOD 能有效地清除过多的超氧自由基以保护细胞,有助于肺损伤的修复。SOD 值下降反映机体抗氧化能力减弱。因此,测定 SOD 的活性可在某种程度上反映机体的抗氧化能力。本研究中,与 VCV 组比较,PCV 组血清中 MDA 含量降低,SOD 活性增加,提示 PCV 模式具有减轻氧化应激作用。SOD 在清除大量氧自由基的过程中被大量消耗使其血中水平下降。肺部损伤引发产生的氧自由基增加可能导致机体反馈调节生成大量的 SOD,患者 SOD 活性增加。本研究结果显示 PCV 组中 SOD 的活性高于 VCV 组,提示抗氧化能力增强;而 MDA 含量低于 VCV 组,提示氧化减弱;但具体的研究机制有待于进一步的深入研究。

本研究发现,对术前肺功能基本正常的患者,虽然单肺通气期间采用 PCV 模式在改善氧合方面并不比 VCV 模式更具有优势,但由于 PCV 模式降低气道压力,可减少 MDA 的释放,且能增加 SOD 的水平,通过减轻氧化应激反应,进而减轻肺损伤,产生肺保护作用。综上所述,胸腔镜下肺癌根治术单肺通气期间采用 PCV 模式是一种可行的通气模式。

利益冲突 所有作者均声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] 张德祥,曹苏,许忠玲,等.单肺通气时不同通气模式对呼吸功能的影响[J].中华临床医师杂志(电子版),2012,6(22):7470-7472. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2012.22.138.
- [2] De Prost N, Dreyfuss D. How to prevent ventilator-induced lung injury?[J]. *Minerva Anesthesiol*, 2012, 78(9):1054-1066.
- [3] Kim KN, Kim DW, Jeong MA, et al. Comparison of pressure-controlled ventilation with volume-controlled ventilation during one-lung ventilation: a systematic review and meta-analysis [J]. *BMC Anesthesiol*, 2016, 16(1):72. DOI:10.1186/s12871-016-0238-6.
- [4] Deveci E, Yesil M, Akinci B, et al. Evaluation of insulin resistance in normoglycemic patients with coronary artery disease[J]. *Clin Cardiol*, 2009, 32(1):32-36. DOI:10.1002/clc.20379.
- [5] Taniguchi Y, Ali SZ, Kimberger O, et al. The effects of nefopam on the gain and maximum intensity of shivering in healthy volunteers [J]. *Anesth Analg*, 2010, 111(2):409-414. DOI:10.1213/ANE.0b013e3181e332bb.
- [6] Tuğrul M, Camci E, Karadeniz H, et al. Comparison of volume controlled with pressure controlled ventilation during one-lung anaesthesia [J]. *Br J Anaesth*, 1997, 79(3):306-310.
- [7] Edibam C, Rutten AJ, Collins DV, et al. Effect of inspiratory flow pattern and inspiratory to expiratory ratio on nonlinear elastic behavior in patients with acute lung injury [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2003, 167(5):702-707.
- [8] Montes FR, Pardo DF, Charris H, et al. Comparison of two protective lung ventilatory regimes on oxygenation during one-lung ventilation: a randomized controlled trial [J]. *J Cardiothorac Surg*, 2010, 5:99. DOI:10.1186/1749-8090-5-99.
- [9] Pardos PC, Garutti I, Pineiro P, et al. Effects of ventilatory mode during one-lung ventilation on intraoperative and postoperative arterial oxygenation in thoracic surgery [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2009, 23(6):770-774. DOI:10.1053/j.jvca.2009.06.002.
- [10] 陶佳,骆璇.定压和定容通气模式对单肺通气的压力和动脉血气的影响[J].江苏医药,2016,42(20):2215-2217. DOI:10.19460/j.cnki.0253-3685.2016.20.009.
- [11] Unzueta MC, Casas JI, Moral MV. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation during one-lung ventilation for thoracic surgery [J]. *Anesth Analg*, 2007, 104(5):1029-1033.
- [12] Lin F, Pan L, Huang B, et al. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation during one-lung ventilation in elderly patients with poor pulmonary function [J]. *Ann Thorac Med*, 2014, 9(4):203-208. DOI:10.4103/1817-1737.140125.
- [13] 孙来荣,顾连兵.胸腔镜下行肺癌手术时单肺通气的麻醉分析[J].肿瘤基础与临床,2012,25(6):521-523.
- [14] Misthos P, Katsaragakis S, Theodorou D, et al. The degree of oxidative stress is associated with major adverse effects after lung resection: a prospective study [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2006, 29(4):591-595.
- [15] Metnitz PG, Bartens C, Fischer M, et al. Antioxidant status in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *Intensive Care Med*, 1999, 25(2):180-185.

(收稿日期:2018-08-08)