

· 论著 ·

单肺复张对单侧急性呼吸窘迫综合征猪
血流动力学和死腔比例的影响

杨万杰 魏凯 安友仲 冯庆国 赵雪峰 李昶 王伟 滕洪云

【摘要】 目的 比较单侧急性呼吸窘迫综合征(ARDS)动物实施分侧肺机械通气基础上单肺复张与传统肺复张的效果,探寻单侧肺病变情况下合理的机械通气策略。方法 实验动物为健康杂种家猪,按随机数字表法(信封封闭隐藏)分为两组,每组 20 只。对照组应用 1 台呼吸机同时对两肺实施常规机械通气;分肺组在分侧肺机械通气(即应用 2 台呼吸机分别对两肺实施通气)基础上,进行患侧单肺复张。制作左侧 ARDS 动物模型后,两组根据不同肺复张方法分别实施控制性肺膨胀。观察两组在 20、40、60 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa)肺复张压力下血流动力学和死腔比例(V_D/V_T)的差异。结果 ① 血流动力学参数变化:随着肺复张压力增高,对照组心率(HR)逐渐加快,60 cmH₂O 明显高于 20 cmH₂O 时(次/min:192.65±22.99 比 178.20±18.25, $P<0.05$);平均动脉压(MAP)逐渐降低,60 cmH₂O 时明显低于 20 cmH₂O 和 40 cmH₂O 时[mmHg(1 mmHg=0.133 kPa):78.55±25.77 比 112.40±10.84、106.15±13.54,均 $P<0.01$];心排血量(CO)逐渐降低,20、40、60 cmH₂O 复张压力间两两比较差异均有统计学意义(L/min:11.14±2.65、9.56±2.17、6.01±1.39, $P<0.05$ 或 $P<0.01$)。随着肺复张压力增高,分肺组 HR、MAP 和 CO 无明显改变;60 cmH₂O 复张压力下 HR 较对照组明显降低(次/min:178.20±18.26 比 192.65±22.99, $P<0.05$),MAP 和 CO 则明显增高[MAP(mmHg):110.80±11.60 比 78.55±25.77, CO(L/min):9.68±2.08 比 6.01±1.39,均 $P<0.01$]。② V_D/V_T 变化:随着肺复张压力的增高,对照组氧合指数(PaO_2/FiO_2)逐渐降低,60 cmH₂O 时明显低于 20 cmH₂O 和 40 cmH₂O 时(mmHg:126.40±37.55 比 187.40±21.66、175.20±23.00,均 $P<0.01$);右侧 V_D/V_T 逐渐增高,20、40、60 cmH₂O 复张压力间两两比较差异有统计学意义(0.52±0.12、0.60±0.15、0.72±0.12, $P<0.05$ 或 $P<0.01$),左侧 V_D/V_T 无明显变化。随着肺复张压力增高,分肺组 PaO_2/FiO_2 逐渐升高,40 cmH₂O、60 cmH₂O 时明显高于 20 cmH₂O 时(mmHg:244.45±53.93、270.05±53.42 比 205.65±31.33, $P<0.05$ 和 $P<0.01$),且 20、40、60 cmH₂O 时均高于对照组(205.65±31.33 比 187.40±21.66, $P<0.05$;244.45±53.93 比 175.20±23.00, $P<0.01$;270.05±53.42 比 126.40±37.55, $P<0.01$);双侧 V_D/V_T 均无明显变化,其中右侧 V_D/V_T 在 20、40、60 cmH₂O 复张压力下明显低于对照组(0.38±0.14 比 0.52±0.12、0.43±0.11 比 0.60±0.15、0.50±0.13 比 0.72±0.12,均 $P<0.01$)。结论 对于严重单肺损伤所致 ARDS,分侧肺机械通气基础上实施患侧单肺复张在改善血流动力学和 V_D/V_T 方面均明显优于传统肺复张方式。

【关键词】 单肺复张; 分侧肺机械通气; 血流动力学; 死腔比例

Effect of unilateral lung recruitment maneuver on hemodynamics and dead space ratio in pigs with unilateral acute respiratory distress syndrome Yang Wan-jie*, Wei Kai, An Youzhong, Feng Qingguo, Zhao Xuefeng, Li Chang, Wang Wei, Teng Hongyun. *Department of Critical Care Medicine, the Fifth Center Hospital in Tianjin, Tianjin 300450, China

Corresponding author: Yang Wan-jie, Email: yang_wanjie@163.com

【Abstract】 Objective To compare unilateral lung and traditional lung recruitment maneuver (RM) in animals with unilateral acute respiratory distress syndrome (ARDS) by implementing independent lung ventilation, and to explore the rational mechanical ventilation strategy for unilateral lung lesions. Methods Healthy hybrid pigs were used as experimental animals, and they were divided into two groups according to random number table method (sealed concealed envelope). There were 20 pigs in each group. According to different methods of lung RM, the conventional mechanical ventilation (i.e. implementing ventilation for both lung by using a ventilator) was performed as control group; the individual lung ventilation (that was, implementing ventilation for both lung individually by using two ventilators) as independent lung ventilation group. The model of left lung ARDS was reproduced, and the respective RM was implemented according to respective method of the two groups. The differences in hemodynamic parameters and dead

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.08.006

基金项目:国家发明专利(ZL 2012 1 0195200.8);天津市医药卫生科技计划项目(2010KZ23);天津市滨海新区医药卫生科技项目(2011BHKZ006)

作者单位:300450 天津市第五中心医院重症医学科(杨万杰、魏凯、冯庆国、赵雪峰、李昶、王伟、滕洪云);100044 北京大学人民医院重症医学科(安友仲)

通信作者:杨万杰,Email: yang_wanjie@163.com

space ratio (V_D/V_T) between two groups under the RM pressure of 20, 40, 60 cmH₂O (1 cmH₂O=0.098 kPa) were observed. **Results** ① Hemodynamics parameters changes: with the increase in RM pressure, the heart rate (HR) in control group showed a tendency of gradual increase, and the level at 60 cmH₂O was significantly higher than that at 20 cmH₂O (bpm: 192.65 ± 22.99 vs. 178.20 ± 18.25 , $P<0.05$). Mean arterial pressure (MAP) showed a tendency of gradual decrease, and that at 60 cmH₂O was lower significantly than that at 20 cmH₂O and 40 cmH₂O [mmHg (1 mmHg=0.133 kPa): 78.55 ± 25.77 vs. 112.40 ± 10.84 , 106.15 ± 13.54 , both $P<0.01$]. Cardiac output (CO) gradually lowered, and the differences at 20, 40, 60 cmH₂O were logistically significant (L/min: 11.14 ± 2.65 , 9.56 ± 2.17 , 6.01 ± 1.39 , $P<0.05$ or $P<0.01$). With an increase in RM pressure, the difference in HR, MAP, CO in independent lung ventilation group were not significant, and the HR at 60 cmH₂O was significantly lower than that of the control group (bpm: 178.20 ± 18.26 vs. 192.65 ± 22.99 , $P<0.05$), and MAP and CO were significantly higher than those of the control group [MAP (mmHg): 110.80 ± 11.60 vs. 78.55 ± 25.77 , CO (L/min): 9.68 ± 2.08 vs. 6.01 ± 1.39 , both $P<0.01$]. ② V_D/V_T changes: with an increase in RM pressure, the oxygenation index ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) in control group showed a tendency of gradual decrease, and the level at 60 cmH₂O was significantly lower than that at 20 cmH₂O and 40 cmH₂O (mmHg: 126.40 ± 37.55 vs. 187.40 ± 21.66 , 175.20 ± 23.00 , both $P<0.01$). On the right side, V_D/V_T showed a tendency of gradual increase, and there was statistical significance in paired comparison among 20, 40, 60 cmH₂O (0.52 ± 0.12 , 0.60 ± 0.15 , 0.72 ± 0.12 , $P<0.05$ or $P<0.01$). There was no obvious change on the left side. Along with the increase in RM pressure, the $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ of independent lung ventilation group showed a tendency of gradual increase, and that at 40 cmH₂O and 60 cmH₂O were significantly higher than that at 20 cmH₂O (mmHg: 244.45 ± 53.93 , 270.05 ± 53.42 vs. 205.65 ± 31.33 , $P<0.05$ and $P<0.01$), and the level at 20, 40, 60 cmH₂O was higher than that of the control group (205.65 ± 31.33 vs. 187.40 ± 21.66 , $P<0.05$; 244.45 ± 53.93 vs. 175.20 ± 23.00 , $P<0.01$; 270.05 ± 53.42 vs. 126.40 ± 37.55 , $P<0.01$). There were no changes in V_D/V_T on both sides, and V_D/V_T on the right side was significantly lower than that of the control group when the inflation pressure was 20, 40, 60 cmH₂O (0.38 ± 0.14 vs. 0.52 ± 0.12 , 0.43 ± 0.11 vs. 0.60 ± 0.15 , 0.50 ± 0.13 vs. 0.72 ± 0.12 , all $P<0.01$). **Conclusions** For severe ARDS caused by single lung injury, implementation of independent lung RM on the basis of independent lung mechanical ventilation for individual lung was significantly superior to the traditional lung RM for the improvement of hemodynamic parameters and V_D/V_T .

[Key words] Unilateral lung recruitment maneuver; Independent lung mechanical ventilation; Hemodynamics; Dead space ratio

肺保护性机械通气是治疗急性呼吸窘迫综合征 (ARDS) 的重要策略, 肺复张又是机械通气中常用的手段^[1]。在肺部病变为两侧对称的情况下, 可以采用 1 台呼吸机进行常规机械通气。而当 ARDS 患者双侧肺部病变严重不对称且常规机械通气不能解决时, 可考虑应用分侧肺机械通气并采用患侧肺的单肺复张。本实验通过对单侧 ARDS 动物模型分别实施常规机械通气下的双肺复张和分侧肺机械通气下的单肺复张, 观察两组动物血流动力学及死腔比例 (V_D/V_T) 的差异, 探寻单侧 ARDS 的合理机械通气模式, 为患者的临床治疗提供实验及理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物分组及处理: 健康杂种家猪 40 只, 雌雄各半。用随机数字表法 (计算机随机计数, 信封密封) 分为两组, 每组 20 只。两组动物基本资料比较差异无统计学意义 (均 $P>0.05$; 表 1), 具有可比性。

本研究符合动物伦理学要求, 并通过天津市第

五中心医院伦理委员会批准。

1.2 操作方法: 麻醉后, 经 3、4 或 4、5 气管软骨环行气管切开, 将普通气管切开导管与 Evita 4 呼吸机 (德国 Dräger 公司) 连接, 采用同步间歇指令通气模式, 吸入氧浓度 0.60, 呼吸频率 20 次/min, 呼气末正压 (PEEP) 5 cmH₂O (1 cmH₂O=0.098 kPa), 潮气量 6~8 mL/kg。连接六导 Dash 4000 监护仪 (美国 GE 公司) 持续进行综合心电监测, 经左/右股动脉置入动脉导管, 经压力传感器与监护仪有创模块连接, 显示股动脉压力, 也作为动脉血气分析的取血途径。

1.3 动物模型制备: 建立猪左肺 ARDS 模型^[2]。将普通气管切开导管更换为左侧型双腔气管导管 (美国 Edwards 公司), 经气管镜确定位置恰当。用 37℃ 等渗盐水按 10~25 mL/kg 注入左侧气管插管内灌洗约 1 min 后通过纤维支气管镜回收, 间隔 1~10 min 后重复灌洗至 ARDS 出现。单侧 ARDS 的标准: 氧合指数 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) ≤ 200 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa),

表 1 常规双肺复张和单肺复张两组单侧 ARDS 模型家猪基本资料及制模后基本参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	动物数 (只)	月龄 (月)	身长 (cm)	体质量 (kg)	HR (次/min)	MAP (mmHg)	CO (L/min)	$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (mmHg)	PAWP (mmHg)
对照组	20	12.12 ± 1.33	107.45 ± 11.59	55.30 ± 7.15	173.20 ± 19.98	110.50 ± 10.56	6.98 ± 1.07	188.40 ± 30.77	14.20 ± 2.06
分肺组	20	14.03 ± 1.68	102.70 ± 9.87	58.40 ± 6.26	181.60 ± 19.35	104.20 ± 10.58	6.60 ± 0.99	192.80 ± 32.39	15.05 ± 1.99

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, HR 为心率, MAP 为平均动脉压, CO 为心排量, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 为氧合指数, PAWP 为肺动脉楔压; 1 mmHg=0.133 kPa

肺动脉楔压(PAWP) ≤ 18 mmHg, 两肺顺应性相差 $> 50\%$ ^[3], PAWP 采用呼气保持法校正^[4-5]。两组动物制模后均达到诊断标准, 各参数比较差异无统计学意义(均 $P > 0.05$; 表 1), 具有可比性。

1.4 肺复张步骤

1.4.1 对照组: 应用 1 台呼吸机同时对两肺实施常规机械通气。在双腔气管导管与 Y 型管连接处各放置 1 个呼气末二氧化碳分压($P_{Et}CO_2$)主流传感器, 分别获得左、右肺 $P_{Et}CO_2$ 。将之前的间歇指令通气改为持续气道正压通气, 在此基础上进行控制性肺膨胀, 按照 20、40、60 cmH₂O 压力水平更换肺复张压力参数, 每次均持续 40 s。每次更换参数间隔 5 min 以恢复至肺复张前间歇指令通气参数。

1.4.2 分肺组: 在分侧肺机械通气基础上进行患侧单肺复张, 即应用 2 台呼吸机分别对两肺实施通气。双腔气管导管外露两端与各自呼吸机连接处分别放置一个 $P_{Et}CO_2$ 主流传感器, 获得左、右肺 $P_{Et}CO_2$ 。采用分侧肺通气(ILV)模式, 肺复张前通过 8411794 型同步电缆线连接 2 台 Evita 4 呼吸机, 主机与患侧肺连接, 从机与健侧肺连接, 2 台呼吸机呼吸频率均为 20 次/min, 吸气时间均为 1.2 s, 患侧肺设置潮气量为 3 mL/kg, 健侧肺为 6 mL/kg。肺复张时, 关闭主机侧呼吸机后备通气, 同时断开同步导线连接, 对患侧肺进行肺复张, 步骤同对照组, 健侧肺通气参数同前。每次更换肺复张参数时重新连接同步导线, 恢复肺复张前同步分侧肺机械通气参数。

1.5 观察指标: 观察两组不同肺复张压力下的心率(HR)、平均动脉压(MAP)、心排量(CO)、 PaO_2/FiO_2 。按照公式计算左肺和右肺的 V_D/V_T ^[6]。

1.6 统计学处理: 应用 SPSS 11.5 软件进行统计学处理。计量数据以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 同一肺复张压力下两组间比较采用配对 t 检验, 同组中不同肺复张压力间数据比较使用方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 血流动力学参数比较(表 2): 随着肺复张压力增高, 对照组 HR 逐渐加快, 60 cmH₂O 时明显快于 20 cmH₂O 时($P < 0.05$); MAP 逐渐降低, 60 cmH₂O 时明显低于 20 cmH₂O、40 cmH₂O 时(均 $P < 0.01$); CO 逐渐降低, 各复张压力间两两比较差异有统计学意义($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。随着肺复张压力的增高, 分肺组 HR、MAP 和 CO 无明显变化(均 $P > 0.05$)。与对照组比较, 分肺组 60 cmH₂O 复张压力下 HR 明显减慢, MAP、CO 明显增高($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

2.2 V_D/V_T 的比较(表 2): 随着肺复张压力的增高, 对照组 PaO_2/FiO_2 逐渐降低, 60 cmH₂O 时明显低于 20 cmH₂O 和 40 cmH₂O 时(均 $P < 0.01$); 右侧 V_D/V_T 逐渐增高, 各复张压力间两两比较差异均有统计学意义($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 而左侧 V_D/V_T 无明显变化(均 $P > 0.05$)。随着肺复张压力的增高, 分肺组 PaO_2/FiO_2 逐渐升高, 40 cmH₂O、60 cmH₂O 时明显高于 20 cmH₂O 时($P < 0.05$ 和 $P < 0.01$); 双侧 V_D/V_T 均无明显变化(均 $P > 0.05$)。与对照组比较, 分肺组各复张压力下 PaO_2/FiO_2 明显增高, 右侧 V_D/V_T 明显降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

3 讨论

ARDS 患者的肺保护性通气策略已被广泛接受和实施^[7-9], 同时, 因为小潮气量容易导致肺膨胀不全, 故肺复张策略成为肺保护性通气策略的有效补充^[6, 10-12]。早在 20 年前, Lachmann^[13]就提出肺复张的概念, 其目的是适度打开塌陷的肺泡, 改善通气。通过查新发现, 目前针对复张性肺水肿、肺挫伤、肺癌术后肺不张等情况, 国内临床上肺复张措施多采用单肺通气的方法^[14-17], 国外针对单肺复张的报道也是采用单肺通气^[18-20], 且都是个案报道。单肺通气有一定的局限性, 对于严重双肺非对称性疾病可能需要分侧肺机械通气^[21]。

不是所有双肺非对称性病都要使用分侧肺机

表 2 单肺复张对单侧 ARDS 家猪血流动力学及 V_D/V_T 的影响($\bar{x} \pm s$)

组别	复张压力 (cmH ₂ O)	动物数 (只)	HR (次/min)	MAP (mmHg)	CO (L/min)	PaO_2/FiO_2 (mmHg)	V_D/V_T	
							右肺	左肺
对照组	20	20	178.20 $\pm$ 18.25	112.40 $\pm$ 10.84	11.14 $\pm$ 2.65	187.40 $\pm$ 21.66	0.52 $\pm$ 0.12	0.29 $\pm$ 0.11
	40	20	182.60 $\pm$ 17.23	106.15 $\pm$ 13.54	9.56 $\pm$ 2.17 ^a	175.20 $\pm$ 23.00	0.60 $\pm$ 0.15 ^a	0.34 $\pm$ 0.10
	60	20	192.65 $\pm$ 22.99 ^a	78.55 $\pm$ 25.77 ^{bc}	6.01 $\pm$ 1.39 ^{bc}	126.40 $\pm$ 37.55 ^{bc}	0.72 $\pm$ 0.12 ^{bd}	0.35 $\pm$ 0.12
分肺组	20	20	170.55 $\pm$ 20.16	113.15 $\pm$ 10.93	11.07 $\pm$ 3.44	205.65 $\pm$ 31.33 ^e	0.38 $\pm$ 0.14 ^f	0.30 $\pm$ 0.09
	40	20	173.80 $\pm$ 23.65	106.00 $\pm$ 12.42	9.59 $\pm$ 2.24	244.45 $\pm$ 53.93 ^{df}	0.43 $\pm$ 0.11 ^f	0.35 $\pm$ 0.12
	60	20	178.20 $\pm$ 18.26 ^e	110.80 $\pm$ 11.60 ^f	9.68 $\pm$ 2.08 ^f	270.05 $\pm$ 53.42 ^{bf}	0.50 $\pm$ 0.13 ^f	0.37 $\pm$ 0.11

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, V_D/V_T 为死腔比例, HR 为心率, MAP 为平均动脉压, CO 为心排量, PaO_2/FiO_2 为氧合指数; 与本组 20 cmH₂O 复张压力比较, ^a $P < 0.05$, ^b $P < 0.01$; 与本组 40 cmH₂O 复张压力比较, ^c $P < 0.01$, ^d $P < 0.05$; 与对照组同复张压力比较, ^e $P < 0.05$, ^f $P < 0.01$; 1 cmH₂O = 0.098 kPa, 1 mmHg = 0.133 kPa

械通气。分侧肺通气者只占机械通气患者的 0.5%，目前临床上双肺非对称性病变的发生率呈增高趋势^[22-24]。有学者对分侧肺机械通气进行动物实验和临床观察，但多局限于单肺病变的常规肺复张^[25-26]，缺乏对分侧肺机械通气基础上实施单肺复张时两肺病理生理参数的观察报道。

分别实时监测两肺 $P_{ET}CO_2$ 有利于观察常规机械通气双肺复张和分侧肺机械通气单肺复张情况下的病理生理变化。在本实验中，对单侧肺 ARDS 动物实施常规 1 台呼吸机通气基础上的双肺复张时，由于两肺的气体在双腔气管导管的 Y 型连接管处相通，且患侧肺的顺应性差，气体充盈困难，大部分气体进入顺应性较好的健侧肺，使健侧肺过度通气。由于健侧肺过度通气，肺血管受到挤压，血液更多分布到患侧，因此患侧通气少、血流多、肺内分流增高；健侧肺通气多、血流少、死腔通气增高，造成通气/血流比例失调，氧合下降。复张压力为 20 cmH₂O（即模拟基础通气状态）时即表现出各项参数的变化，复张压力越大，两肺的病理生理改变越明显，通气/血流比例失调越严重，氧合下降越明显。在分侧肺机械通气基础上进行患侧单肺复张时，由于两肺被双腔气管导管隔离，气体不再相通。通过分别设定两肺的呼吸机参数，两侧通气和血流的相互影响均明显减轻，上述病理生理过程逆转，故在复张压力为 20 cmH₂O 时，全身氧合状态已明显优于常规机械通气。此时，健侧肺通气/血流比例适当，维持了实验动物的基本氧合；患侧肺存在一定程度的肺内分流，随着复张压力增高，患侧肺陷闭的肺泡复张增多，肺内分流减少，通气/血流比例进一步改善。

本研究尚存在不足之处。虽然用公式分别计算两侧肺 V_D/V_T 简便易行，但较代谢车测量法存在差异。两肺 $P_{ET}CO_2$ 的获得可能也存在一定的误差，尚需在今后的实验中进一步观察。

总之，对于严重单肺损伤导致的 ARDS，在分侧肺机械通气基础上实施患侧单肺复张，对血流动力学和 V_D/V_T 的改善均明显优于传统肺复张方式。

参考文献

- [1] 中华医学会重症医学分会. 急性肺损伤/急性呼吸窘迫综合征诊断和治疗指南（2006）[J]. 中国危重病急救医学, 2006, 18(12): 706-710.
- [2] Cheifetz IM, Craig DM, Kern FH, et al. Nitric oxide improves transpulmonary vascular mechanics but does not change intrinsic right ventricular contractility in an acute respiratory distress syndrome model with permissive hypercapnia [J]. Crit Care Med, 1996, 24(9): 1554-1561.
- [3] Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS. Definitions, mechanisms, relevant

- outcomes, and clinical trial coordination [J]. Am J Respir Crit Care Med, 1994, 149(3 Pt 1): 818-824.
- [4] 杨万杰, 赵雪峰, 冯庆国, 等. 呼气保持法测定机械通气患者呼气末肺动脉楔压的方法研究 [J]. 中国危重病急救医学, 2011, 23(4): 228-231.
- [5] Yang W, Zhao X, Feng Q, et al. "Expiratory holding" approach in measuring end-expiratory pulmonary artery wedge pressure for mechanically ventilated patients [J]. Patient Prefer Adherence, 2013, 7: 1041-1045.
- [6] 杨拔贤. 重症监护治疗病房 // 吴孟超, 吴在德. 黄家驷外科学 [M]. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 430-469.
- [7] Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, et al. Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome [J]. N Engl J Med, 1998, 338(6): 347-354.
- [8] 郑康, 郑亚安. 肺保护性通气策略临床应用进展 [J]. 中国全科医学, 2011, 14(24): 2816-2818.
- [9] 邱海波, 黄英姿. 急性呼吸窘迫综合征治疗的进步 [J]. 中华急诊医学杂志, 2011, 20(2): 117-119.
- [10] 王书鹏, 秦英智. 急性呼吸窘迫综合征肺复张策略的研究进展 [J]. 中国危重病急救医学, 2005, 17(8): 509-511.
- [11] 易丽, 席修明. 小潮气量通气加肺复张法对急性呼吸窘迫综合征疗效的影响 [J]. 中国危重病急救医学, 2005, 17(8): 472-476.
- [12] 李璐. 肺复张方式在临床的应用 [J]. 医学综述, 2013, 19(24): 4493-4496.
- [13] Lachmann B. Open up the lung and keep the lung open [J]. Intensive Care Med, 1992, 18(6): 319-321.
- [14] 胡彦艳, 秦丹丹, 叶凤青, 等. 低流量单肺通气对肺内分流和动脉氧分压的影响 [J]. 实用医学杂志, 2013, 29(8): 1258-1260.
- [15] 管小红, 蔡宏伟. 小潮气量联合呼气末正压对单肺通气肺内分流及炎性反应的影响 [J]. 临床麻醉学杂志, 2012, 28(7): 649-651.
- [16] 金宝伟, 郭建荣. 单肺通气肺损伤机制及保护策略研究进展 [J]. 中国急救医学, 2010, 30(8): 745-748.
- [17] 杨万杰, 赵雪峰, 冯庆国, 等. 分侧肺通气治疗单侧气胸合并复张性肺水肿 1 例报告 [J]. 中国危重病急救医学, 2011, 23(1): 50-51.
- [18] Picard E, Goldberg S, Joseph L. Selective unilateral lung ventilation in preterm infants with acquired bullous emphysema; a series of nine cases (Jakob et al.) [J]. Pediatr Pulmonol, 2013, 48(3): 313.
- [19] Singh A, Wander GS. An unusual masquerade of community acquired pneumonia: Left-side unilateral pulmonary edema [J]. Lung India, 2013, 30(4): 344-346.
- [20] Madershahian N, Wippermann J, Sindhu D, et al. Unilateral re-expansion pulmonary edema: a rare complication following one-lung ventilation for minimal invasive mitral valve reconstruction [J]. J Card Surg, 2009, 24(6): 693-694.
- [21] Carlon GC, Ray C Jr, Klein R, et al. Criteria for selective positive end-expiratory pressure and independent synchronized ventilation of each lung [J]. Chest, 1978, 74(5): 501-507.
- [22] Tobin MJ. Principles and Practice of Mechanical Ventilation, 2nd ed. RC735. 15P75, 2006: 573-593.
- [23] Hammersen G, Beiderlinden M. Functional separation of the lungs. Ventilation strategy for unilateral blunt force thoracic trauma [J]. Anaesthetist, 2012, 61(12): 1045-1048.
- [24] Sawulski S, Nestorowicz A, Wogko J, et al. Independent lung ventilation for treatment of post-traumatic ARDS [J]. Anaesthesiol Intensive Ther, 2012, 44(2): 84-88.
- [25] 卜小宁, 王辰, 曹志新, 等. 侧卧位和分侧肺通气对单侧急性肺损伤犬的影响 [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2006, 29(5): 324-328.
- [26] Komatsu T, Shibata S, Seo R, et al. Unilateral re-expansion pulmonary edema following treatment of pneumothorax with exceptionally massive sputum production, followed by circulatory collapse [J]. Can Respir J, 2010, 17(2): 53-55.

(收稿日期: 2014-04-03)

(本文编辑: 李银平)