

单肺通气期间使用不同呼气末正压通气值对呼吸力学和血流动力学的影响

周鸿丽 欧阳婷 白毅平 王晓斌

【摘要】目的 观察单肺通气(OLV)期间采用不同呼气末正压通气(PEEP)值对胸腔镜手术患者呼吸力学及血流动力学的影响。**方法** 将 150 例择期 OLV 下行胸腔镜手术患者按随机数字表法分为 A、B、C、D、E 5 组,每组各 30 例。OLV 期间分别给予 0、4、6、8、10 cmH₂O 的 PEEP 值。常规麻醉诱导插双腔支气管导管,记录仰卧位双肺通气 5min(T₁),侧卧位双肺通气 15min(T₂)、OLV 30min(T₃)、60min(T₄)和 90min(T₅)的呼吸参数指标[潮气量(VT)、气道峰压(P_{peak})、呼气末二氧化碳分压(P_{ET}CO₂)],动脉血气分析指标(PaO₂、PaCO₂)及血流动力学指标[心输出量(CO)、心率(HR)、平均动脉压(MAP)]。据上述指标计算各时间点肺顺应性和死腔分数,最后根据肺顺应性、死腔分数及 CO 计算最佳 PEEP 值(M 值)。**结果** 与 T₁ 比较,各组患者 T₂、T₃、T₄、T₅ 时点肺顺应性和 M 值均明显降低(均 P<0.05);与 T₂ 比较,各组患者 T₃、T₄、T₅ 时点肺顺应性、PaO₂ 明显降低(均 P<0.05),A 组患者 T₃、T₄、T₅ 时点 M 值均明显降低(均 P<0.05);在 T₃ 时点,B、C、D、E 组的肺顺应性和 M 值较 A 组均明显增加(均 P<0.05),但 B、C、D、E 组之间肺顺应性和 M 值比较差异均无统计学意义(均 P>0.05)。各组患者各时点死腔分数、CO、HR、MAP 比较差异均无统计学意义(均 P>0.05)。**结论** OLV 胸腔镜手术期间加用 4~10cmH₂O PEEP 可提高早期肺顺应性,对 CO、HR、MAP 及死腔分数无明显影响。

【关键词】 单肺通气 呼气末正压通气 肺顺应性 死腔分数

Effects of positive end-expiratory pressure on respiratory mechanics and hemodynamics during one-lung ventilation in patients undergoing thoracoscopic surgery ZHOU Hongli, OUYANG Ting, BAI Yiping, et al. Department of Anesthesiology, the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou 646000, China

【Abstract】Objective To investigate the effect of positive end-expiratory pressure (PEEP) on respiratory mechanics and hemodynamics during one lung ventilation in patients undergoing thoracoscopic surgery. **Methods** One hundred and fifty patients who underwent electively thoracoscopic surgery were randomly divided into groups A, B, C, D, E (n=30 in each), receiving 0, 4, 6, 8, 10 cmH₂O PEEP during one-lung ventilation, respectively. An appropriately sized double-lumen bronchial tube was inserted after general anesthesia induction, respiratory parameters (VT, P_{peak} and P_{ET}CO₂), arterial blood gas analysis (PaO₂, PaCO₂) and hemodynamics indexes (CO, HR, MAP) were recorded at supine double lung ventilation for 5 min (T₁), lateral position double lung ventilation for 15 min (T₂), one lung ventilation for 30 min (T₃), 60 min (T₄) and 90 min (T₅), respectively. According to the above indicators, the lung compliance and dead space fraction were calculated at each time point. Then according to the lung compliance (C), dead space fraction (D), and cardiac output (CO), the M values were calculated. **Results** Compared with T₁, the lung compliance and M values at T₂, T₃, T₄ and T₅ were significantly decreased in each group (P<0.05). Compared with T₂, the lung compliance and PaO₂ values at T₃, T₄ and T₅ were decreased significantly in each group (P<0.05), the M values at T₃, T₄, T₅ were decreased more markedly in group A (P<0.05). Compared with T₃ of group A, the lung compliance and M values were significantly increased in groups B, C, D and E (P<0.05), while there were no statistical differences among groups B, C, D and E (P>0.05). There were no significant differences in lung dead fraction, cardiac output, HR and MAP at the all time points among the groups (P>0.05). **Conclusion** The application of 4-10 cmH₂O PEEP for one-lung ventilation during thoracoscopic surgery improves the early lung compliance and has no significant effect on cardiac output, heart rate, mean arterial

DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2019.41.16.2019-45

作者单位: 646000 泸州, 西南医科大学附属医院麻醉科

通信作者: 王晓斌, E-mail: wangxiaobin67@163.com

pressure, and dead space fraction.

【Key words】 One lung ventilation Positive end-expiratory pressure Lung compliance Dead space fraction

保护性肺通气策略,即以小潮气量联合呼气末正压通气(positive end-expiratory pressure, PEEP)的运用越来越普遍^[1-3]。在单肺通气(one lung ventilation, OLV)期间应用保护性肺通气策略可有效减少术后肺部并发症的发生^[4-7],如改善肺氧合作用、预防术后肺不张、减少术后肺损伤。PEEP 值过小不能维持肺泡扩张,过大导致肺内压增高而影响回心血量,最佳 PEEP 值(M 值)的探讨一直是研究的热点^[8-9]。有研究报道 OLV 期间分别应用 PEEP 值为 4、5、8、10cmH₂O 可有效改善术后肺部并发症,但未得出适宜 PEEP 值^[10-13]。故本研究旨在观察胸腔镜手术 OLV 期间应用不同 PEEP 值(0、4、6、8、10cmH₂O)对患者呼吸力学、血气分析及血流动力学指标的影响,从而探讨 OLV 期间的 M 值。

1 对象和方法

1.1 对象 选取 2018 年 1 月至 8 月我院行择期胸腔镜手术患者 150 例,ASA 分级 I~II 级;所有患者均采用全麻,均既往无脑血管意外史,半年内无心肌梗死病史,无药物滥用史。排除标准:肺部感染或呼吸系统严重疾病;严重心脑血管疾病;肺大泡患者;OLV 期间脉搏血氧饱和度(SpO₂)<90%及气道峰压(P_{peak})>30cm H₂O;术中失血量>20%血容量;中转开胸手术;动脉穿刺置管失败。采用随机数字表法分为 A、B、C、D、E 组,每组 30 例,OLV 期间分别予以 PEEP 0、4、6、8、10cmH₂O。本研究通过本院伦理委员会批准,患者术前签署知情同意书。最终纳入 143 例患者(7 例因故退出:B、C、D、E 组各有 1 例因中转开胸手术而排除;A、B、C 组各有 1 例因术中发生严重低氧血症且难以纠正而排除),其中胸腔镜下纵隔占位病变切除术 21 例,食管癌根治术 60 例,肺叶切除术 62 例。5 组患者基本资料比较差异均无统

计学意义(均 $P > 0.05$),见表 1。

1.2 方法 所有患者术前常规禁饮 4h、禁食 8h。入手术室后持续监测心电图(ECG)和心率(HR),非手术侧上肢监测 SpO₂,无创心排仪监测心输出量(CO),并在局麻下行桡动脉穿刺置管监测有创平均动脉压(MAP)。麻醉诱导:依次静脉注射盐酸戊乙奎醚注射液 0.01mg/kg,枸橼酸舒芬太尼 0.5~0.8μg/kg,顺苯磺酸阿曲库铵 0.15~0.2mg/kg,丙泊酚 2mg/kg。麻醉维持:静脉泵注顺苯磺酸阿曲库铵 0.1~0.2mg/(kg·h),盐酸瑞芬太尼 0.1~0.2μg/(kg·min),吸入七氟烷 1.5%~2.5%。诱导给药充分给氧去氮 3min,根据患者性别、身高选择能通过声门的最大号双腔管(35~39F)经口明视插管^[14],纤维支气管镜确定导管位置后将其固定,接麻醉机行容量控制模式通气,所有患者双肺通气时采用容量控制模式,潮气量(VT)为 8~10ml/kg,吸呼比为 1:2,调节呼吸频率(RR)使呼气末二氧化碳(P_{ET}CO₂)维持在 35~45mmHg。术中维持脑电双频指数(BIS)在 40~60,MAP>60mmHg,气道平台压(PIP)<30cmH₂O。OLV 期间,每组 VT 减为 6ml/kg,吸呼比为 1:1.5,实时调节 RR 使 P_{ET}CO₂维持在 35~45mmHg,A、B、C、D、E 组分别予以 PEEP 0、4、6、8、10cmH₂O。

1.3 观察指标 记录患者性别、年龄、BMI、ASA 分级、FEV₁、FEV₁/FVC、手术时间、OLV 时间、失血量等基本信息。同时记录患者仰卧位双肺通气 5min(T₁),侧卧位双肺通气 15min(T₂),OLV 30min(T₃)、60min(T₄)及 90min(T₅)5 个时点患者呼吸参数指标(VT、P_{peak}、P_{ET}CO₂)、动脉血气分析(PaO₂、PaCO₂)以及血流动力学指标(CO、HR、MAP),并根据公式计算呼吸力学指标:肺顺应性^[15]=VT/(P_{peak}-PEEP),死腔分数^[16]=(PaCO₂-P_{ET}CO₂)/PaCO₂。联合肺顺应性、死腔分数、心输出量(CO)3 个因素设计目标

表 1 5 组患者基本资料比较

组别	n	性别 (男/女,n)	年龄 (岁)	ASA 分级 (I/II,n)	手术部位 (左/右,n)	BMI (kg/m ²)	FEV ₁ (ml/kg)	FEV ₁ /FVC (%)	OLV 时间 (min)	失血量 (ml)	手术时间 (min)
A 组	29	17/12	56.7 ± 12.79	13/16	15/14	23.23 ± 4.51	2.57 ± 0.52	77.72 ± 7.49	130.35 ± 61.07	131.23 ± 51.35	200.76 ± 68.30
B 组	28	19/9	54.67 ± 9.57	10/18	18/10	22.76 ± 3.32	2.43 ± 0.59	80.34 ± 8.25	137.19 ± 53.89	126.57 ± 49.65	170.42 ± 64.47
C 组	28	16/12	54.79 ± 9.53	13/15	17/11	23.51 ± 3.79	2.59 ± 0.61	79.35 ± 7.98	129.59 ± 53.75	135.18 ± 52.55	186.43 ± 75.60
D 组	29	15/14	56.81 ± 11.91	13/16	16/13	24.38 ± 2.97	2.71 ± 0.33	80.53 ± 7.18	128.37 ± 54.39	132.13 ± 55.32	163.75 ± 47.96
E 组	29	16/13	56.35 ± 9.55	11/18	17/12	24.16 ± 4.02	2.64 ± 0.78	80.58 ± 9.13	135.03 ± 56.32	134.77 ± 43.47	169.17 ± 39.18

注:FEV₁:1 秒用力呼气量;FEV₁/FVC:FEV₁ 所占用力肺活量比值

公式: M 值=[肺顺应性/死腔分数 \times CO]以综合评估“最佳 PEEP 值”。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 17.0 统计软件。计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 组内不同时间点比较采用重复测量的方差分析, 多组间比较采用单因素方差分析, 组间两两比较采用 LSD- t 检验; 计数资料组间比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 5 组患者不同时点肺功能指标的比较

2.1.1 肺顺应性 与 T_1 比较, 5 组 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 肺顺应性均明显降低(均 $P < 0.05$); 与 T_2 比较, 5 组 T_3 、 T_4 、 T_5 肺顺应性均明显降低(均 $P < 0.05$); B、C、D、E 组 T_3 时点肺顺应性均较 A 组明显增高(均 $P < 0.05$); 5 组 T_4 、 T_5 时点肺顺应性差异无统计学意义($P > 0.05$), 见表 2。

表 2 5 组患者不同时点肺顺应性的比较

组别	n	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
A 组	29	34.31 \pm 5.56	29.75 \pm 6.58*	16.73 \pm 4.53* Δ	17.41 \pm 3.26* Δ	17.24 \pm 2.97* Δ
B 组	28	32.68 \pm 5.56	28.21 \pm 5.30*	20.92 \pm 3.77* Δ	19.31 \pm 4.68* Δ	20.30 \pm 3.99* Δ
C 组	28	31.48 \pm 5.70	26.93 \pm 3.51*	21.25 \pm 2.50* Δ	19.57 \pm 4.83* Δ	19.50 \pm 3.35* Δ
D 组	29	32.16 \pm 5.67	27.59 \pm 5.45*	21.75 \pm 3.64* Δ	20.12 \pm 4.74* Δ	19.33 \pm 3.41* Δ
E 组	29	33.77 \pm 6.31	29.75 \pm 4.51*	21.55 \pm 2.77* Δ	19.61 \pm 2.46* Δ	20.07 \pm 4.08* Δ

注: 与 T_1 比较, $P < 0.05$; 与 T_2 比较, $\Delta P < 0.05$; 与 A 组比较, $\Delta P < 0.05$

2.1.2 死腔分数 5 组患者不同时点通气期间死腔分数比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$), 见表 3。

表 3 5 组患者不同时点死腔分数的比较

组别	n	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
A 组	29	0.32 \pm 0.07	0.30 \pm 0.07	0.28 \pm 0.05	0.29 \pm 0.05	0.28 \pm 0.06
B 组	28	0.31 \pm 0.08	0.31 \pm 0.07	0.29 \pm 0.07	0.28 \pm 0.07	0.28 \pm 0.08
C 组	28	0.33 \pm 0.06	0.32 \pm 0.07	0.30 \pm 0.06	0.29 \pm 0.06	0.29 \pm 0.07
D 组	29	0.28 \pm 0.04	0.29 \pm 0.06	0.28 \pm 0.05	0.28 \pm 0.03	0.30 \pm 0.04
E 组	29	0.32 \pm 0.06	0.31 \pm 0.05	0.29 \pm 0.06	0.28 \pm 0.05	0.29 \pm 0.05

2.2 5 组患者不同时点 PaO_2 和 $PaCO_2$ 比较 与 T_1 比较, 5 组 T_3 、 T_4 、 T_5 的 PaO_2 均明显下降(均 $P < 0.05$); 与 T_2 比较, 5 组 T_3 、 T_4 、 T_5 的 PaO_2 均明显下降(均 $P < 0.05$);

5 组 T_3 、 T_4 、 T_5 的 PaO_2 比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。5 组患者各时点 $PaCO_2$ 比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$), 见表 4、5。

2.3 5 组患者不同时点血流动力学指标的比较 5 组患者不同时点 CO、MAP、HR 比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$), 见表 6~8。

2.4 5 组患者不同时点 M 值变化情况的比较 与 T_1 比较, 5 组 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 时点的 M 值均明显降低(均 $P < 0.05$); 与 T_2 比较, 仅 A 组 T_3 、 T_4 、 T_5 时点的 M 值明显降低(均 $P < 0.05$); B、C、D、E 组 T_3 的 M 值均明显高于 A 组(均 $P < 0.05$), T_3 、 T_4 、 T_5 时点 B、C、D、E 组 M 值比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$), 见表 9。

表 4 5 组患者不同时点 PaO_2 比较(mmHg)

组别	n	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
A 组	29	367.91 \pm 96.75	371.62 \pm 91.35	179.34 \pm 83.57* Δ	169.20 \pm 79.88* Δ	160.78 \pm 61.46* Δ
B 组	28	395.58 \pm 89.33	398.11 \pm 85.37	179.37 \pm 98.92* Δ	181.43 \pm 91.57* Δ	231.92 \pm 103.56* Δ
C 组	28	399.79 \pm 92.47	415.57 \pm 85.76	169.53 \pm 87.32* Δ	174.08 \pm 102.68* Δ	192.44 \pm 101.74* Δ
D 组	29	401.03 \pm 88.17	399.79 \pm 91.33	154.46 \pm 78.41* Δ	175.75 \pm 91.35* Δ	210.51 \pm 79.31* Δ
E 组	29	417.72 \pm 89.67	407.52 \pm 86.62	189.01 \pm 80.79* Δ	197.12 \pm 82.34* Δ	182.89 \pm 74.97* Δ

注: 与 T_1 比较, $P < 0.05$; 与 T_2 比较, $\Delta P < 0.05$

表 5 5 组患者不同时点 $PaCO_2$ 比较(mmHg)

组别	n	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
A 组	29	48.47 \pm 8.53	49.68 \pm 6.81	48.83 \pm 5.75	47.80 \pm 7.78	47.56 \pm 7.68
B 组	28	49.94 \pm 4.58	48.65 \pm 4.55	49.30 \pm 7.02	49.56 \pm 5.51	50.29 \pm 7.96
C 组	28	47.65 \pm 4.77	47.11 \pm 3.96	46.70 \pm 2.53	47.18 \pm 4.13	49.32 \pm 3.11
D 组	29	48.90 \pm 5.78	46.43 \pm 2.90	47.71 \pm 3.23	47.48 \pm 3.99	47.19 \pm 3.63
E 组	29	50.86 \pm 8.79	48.69 \pm 7.33	46.90 \pm 5.00	48.03 \pm 7.95	46.23 \pm 5.62

表 6 5 组患者不同时点 CO 的比较(L/min)

组别	n	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
A 组	29	7.94 ± 2.47	6.83 ± 1.62	6.56 ± 2.30	7.63 ± 4.79	7.22 ± 4.29
B 组	28	7.60 ± 2.22	6.97 ± 2.24	7.48 ± 2.87	7.46 ± 3.03	7.30 ± 2.32
C 组	28	7.22 ± 1.37	7.04 ± 1.21	7.13 ± 2.92	6.55 ± 2.91	5.94 ± 2.43
D 组	29	7.53 ± 1.89	6.58 ± 1.27	6.63 ± 1.92	6.82 ± 2.57	7.14 ± 3.37
E 组	29	7.73 ± 2.46	7.03 ± 2.09	7.49 ± 2.21	6.84 ± 1.85	6.82 ± 2.17

表 7 5 组患者不同时点 HR 的比较(次/min)

组别	n	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
A 组	29	72.77 ± 6.99	69.77 ± 8.57	73.92 ± 10.80	78.15 ± 9.57	77.08 ± 8.24
B 组	28	73.79 ± 8.59	72.14 ± 5.46	76.50 ± 8.45	79.93 ± 10.19	78.29 ± 10.82
C 组	28	74.25 ± 7.19	70.67 ± 5.07	72.42 ± 10.08	75.58 ± 10.26	73.25 ± 10.70
D 组	29	71.08 ± 9.17	71.00 ± 8.24	77.00 ± 9.99	73.83 ± 9.47	73.25 ± 11.42
E 组	29	73.58 ± 7.80	70.75 ± 6.98	74.33 ± 8.06	73.92 ± 8.33	74.33 ± 8.62

表 8 5 组患者不同时点 MAP 的比较(mmHg)

组别	n	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
A 组	29	76.92 ± 8.61	77.54 ± 7.24	79.62 ± 5.06	80.08 ± 9.77	79.15 ± 10.78
B 组	28	81.57 ± 9.30	78.79 ± 8.38	79.92 ± 10.21	78.57 ± 8.42	76.71 ± 6.44
C 组	28	81.33 ± 9.95	79.08 ± 8.58	79.08 ± 10.66	75.83 ± 10.26	74.41 ± 7.70
D 组	29	80.08 ± 8.77	78.50 ± 9.34	76.42 ± 4.96	75.08 ± 8.35	77.42 ± 7.33
E 组	29	77.33 ± 4.40	73.25 ± 9.13	75.75 ± 9.16	76.67 ± 6.75	75.33 ± 8.44

表 9 5 组患者不同时点 M 值变化情况的比较

组别	n	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
A 组	29	1162.84 ± 308.24	620.87 ± 168.21*	304.70 ± 131.40 [△]	409.98 ± 145.85 [△]	411.99 ± 135.47 [△]
B 组	28	1126.96 ± 286.64	557.61 ± 165.83*	530.10 ± 134.18 [▲]	512.91 ± 115.65*	515.23 ± 125.79*
C 组	28	1187.96 ± 324.97	538.94 ± 182.52*	511.30 ± 139.54 [▲]	484.48 ± 192.90*	482.75 ± 195.78*
D 组	29	1055.08 ± 313.56	528.85 ± 198.84*	515.28 ± 130.66 [▲]	498.53 ± 131.36*	483.05 ± 178.32*
E 组	29	1082.63 ± 301.62	497.04 ± 190.97*	504.20 ± 163.94 [▲]	481.32 ± 148.43*	464.28 ± 177.04*

注:与 T₁ 比较,*P<0.05;与 T₂ 比较,[△]P<0.05;与 A 组比较,[▲]P<0.05

3 讨论

OLV 期间保护性肺通气策略在胸腔镜手术中应用普遍,其主要内容是小潮气量联合 PEEP,但如何设置适宜 PEEP 值目前尚有争议。Manzano 等^[17]定义 M 值:肺泡开启和闭合时剪切力小(顺应性最大),肺内分流低(死腔分数最小)以及血流动力学影响小(CO 最大),且 PaO₂ 最大。故本研究选择联合肺顺应性、死腔分数、CO 3 个因素设计目标公式:M 值=肺顺应性/死腔分数×CO。当 M 值最大且在相应 PEEP 值下行 OLV 时动脉血氧分压最高,该 PEEP 值则为 M 值。

本研究中所有患者术前 FEV₁、FEV₁/FVC 都在正常值范围内,且各组基本资料比较无统计学差异,故可排除患者术前肺功能状态对研究指标的影响。肺顺应性是指单位压力改变时所引起肺容积的改变,分为静态和动

态肺顺应性,本实验测定动态顺应性,指气体流动过程中肺顺应性,主要受肺组织弹性和气道阻力的双重影响。机械通气状态下,气管导管直径是影响患者气道阻力的重要参数^[18],一项关于双腔管直径与气道压力的体外模拟实验报道^[19],随着气管导管直径的增加,气道阻力下降,动态肺顺应性相应增加。气管导管型号的选择与患者的身高、体重和性别密切相关,本研究中各组患者性别及 BMI 比较无统计学差异,双腔管型号的选择没有差异,笔者根据患者情况选用能通过声门的最大号双腔管,以减少气道阻力对动态肺顺应性的影响。

本研究中发现双肺通气期间仰卧位顺应性较侧卧位佳,侧卧位双肺通气肺顺应性较 OLV 好。因侧卧位通气时,腹腔内脏器移动挤压胸腔使膈肌上抬以及上侧胸腔内容物因重力作用压迫下侧胸腔,限制胸廓运动从而使肺顺应性降低。本研究中还发现侧卧位 OLV 期间应

用 PEEP 较未用 PEEP 可提高早期肺顺应性,但随着 OLV 时间的延长,对肺顺应性改善作用并不明显。这可能系小潮气量联合应用 PEEP 值($\leq 10\text{cmH}_2\text{O}$)的保护性肺通气模式可预防小气道关闭致肺功能残气量减少以缓解术中肺不张、肺塌陷,从而改善肺顺应性。另外,不同 PEEP 值之间(4、6、8、 $10\text{cmH}_2\text{O}$)对肺顺应性改善的差异不大,此结果与 Leong 等^[11]研究提示 OLV 期间应用 5、8、 $10\text{cmH}_2\text{O}$ 的 PEEP 对肺顺应性无明显影响的结果相同,Michelet 等^[20]发现 PEEP 超过 $15\text{cmH}_2\text{O}$ 会使肺顺应性明显下降,故研究设置 4~ $10\text{cmH}_2\text{O}$ 的 PEEP 在合理范围内且在 OLV 期间可改善肺顺应性。

低氧血症是 OLV 期间严重并发症^[21],通常有以下影响因素^[22]:患者术前肺功能状态,BMI,手术操作,双腔管插入时或体位变化后位置不理想,导管堵塞,缺氧性肺血管收缩被抑制,以及通气血流比例的失调等。本研究中有 3 例(A、B、C 组各有 1 例)术中发生严重低氧血症($\text{SpO}_2 < 90\%$ 或 $\text{PaO}_2 < 60\text{mmHg}$)且难以纠正故排除。其中有 2 例系体位变化后双腔管错位,在纤维支气管镜引导下多次调整后满足正常通气。另 1 例 OLV30min 后 SpO_2 不能维持在 90%以上,多次调整呼吸参数、手法复张、间断行双肺通气后继续手术,该患者术前肺功能正常,而术中发生低氧血症,可能系通气模式转变为 OLV 时,通气血流比例失调,肺循环血液重新分布,肺内分流增加导致肺静脉血掺杂,从而导致低氧血症的发生。

本研究发现 PEEP 为 4、6、8、 $10\text{cmH}_2\text{O}$ 对 CO、HR、MAP、 PaCO_2 以及死腔分数无明显影响。Jo^[23]报道 PEEP > $11\text{cmH}_2\text{O}$ 会影响血流动力学的稳定性,PEEP 值过大会使肺内压增加,从而增加胸腔内压力、降低静脉回心血量,致心排量减少,而 CO 的减少会导致肺血流灌注减少,引起肺泡死腔增加,使肺部气体交换效率降低,导致血液中 CO_2 蓄积、死腔分数增大^[24]。故本实验中 4~ $10\text{cmH}_2\text{O}$ PEEP 在安全范围对血流动力学无明显影响。

在本研究中侧卧位 OLV 期间 PaO_2 较侧卧位双肺通气明显下降,但 OLV 期间不同 PEEP 值(4、6、8、 $10\text{cmH}_2\text{O}$)对 PaO_2 无明显改善作用。有研究显示 PEEP 对术前肺功能正常患者术中 PaO_2 改善作用不明显^[25],实验中纳入的患者术前肺功能(FEV_1 、 FEV_1/FEV)均在正常范围内,实验结果与其相符。研究过程中患者一直吸入纯氧会改善氧合作用^[26],而低浓度氧气吸入可较客观观察对比不同 PEEP 对患者术中氧合作用的影响,但考虑到患者的安全因素未采用。

本研究显示 OLV 期间不同 PEEP 之间对 CO、死腔分数无明显影响,且 OLV 期间 PEEP 对 PaO_2 改善作用

不明显,故 M 值主要取决于肺顺应性。在 OLV30min, B、C、D、E 组 M 值及肺顺应性均显著高于 A 组,而不同 PEEP 值(4、6、8、 $10\text{cmH}_2\text{O}$)在 OLV 期间 M 值及肺顺应性无明显差异,故 OLV 期间加用 4~ $10\text{cmH}_2\text{O}$ PEEP 可改善早期肺通气效果,且 4~ $10\text{cmH}_2\text{O}$ 的 PEEP 之间效果相似。这可能与患者存在内源性 PEEP 相关^[27],即在 OLV 期间通气侧肺内气体滞留产生内源性呼气末正压,可改善氧合作用,但目前尚无有效措施测量内源性 PEEP^[28-29]。另因患者术前肺功能虽正常,但肺部可能存在病理结构异质性,故最佳 PEEP 存在个体化,且本实验样本量较少,在今后研究中还需增大样本量以更全面探讨 M 值。

综上所述,OLV 胸腔镜手术期间加用 4~ $10\text{cmH}_2\text{O}$ 的 PEEP 可提高早期肺顺应性,对 CO、HR、MAP 及死腔分数无明显影响。

4 参考文献

- [1] Josephs SA, Lemmink GA, Strong JA, et al. Improving adherence to intraoperative lung-protective ventilation strategies at a university medical center[J]. *Anesth Analg*, 2018,126(1):150-160. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002299.
- [2] Kim SH, Jung KT, An TH. Effects of tidal volume and PEEP on arterial blood gases and pulmonary mechanics during one-lung ventilation[J]. *J Anesth*, 2012,26(4):568-573. DOI: 10.1007/s00540-012-1348-z.
- [3] Choi G, Wolthuis EK, Bresser P, et al. Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents alveolar coagulation in patients without lung injury[J]. *Anesthesiology*, 2006,105(4):689-695.
- [4] Slinger P, Kilpatrick B. Perioperative lung protection strategies in cardiothoracic anesthesia: are they useful?[J]. *Anesthesiol Clin*, 2012,30(4):607-628. DOI: 10.1016/j.anclin.2012.07.001.
- [5] Mulligan MS, Berfield KS, Abbaszadeh RV. Management of post-operative respiratory failure[J]. *Thorac Surg Clin*, 2015,25(4):429-433. DOI: 10.1016/j.thorsurg.2015.07.007.
- [6] Sentürk M. New concepts of the management of one-lung ventilation[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2006,19(1):1-4. DOI: 10.1097/01.aco.0000192778.17151.2c.
- [7] Verhage RJ, Boone J, Rijkers GT, et al. Reduced local immune response with continuous positive airway pressure during one-lung ventilation for oesophagectomy[J]. *Br J Anaesth*, 2014, 112(5):920-928. DOI: 10.1093/bja/aet476.
- [8] Pfitzner J. Selecting the level of positive end-expiratory pressure for one-lung ventilation: "By Formula" or "By Feel"?[J]. *Anesthesiology*, 2016, 125(6):1254-1255. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001350.
- [9] Inomata S, Nishikawa T, Saito S, et al. "Best" PEEP during one-lung ventilation[J]. *Br J Anaesth*, 1997,78(6):754-756.

- [10] Sentürk NM, Dilek A, Camci E, et al. Effects of positive end-expiratory pressure on ventilatory and oxygenation parameters during pressure-controlled one-lung ventilation[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2005,19(1):71-75. DOI: 10.1053/j.jvca.2004.11.013.
- [11] Leong LM, Chatterjee S, Gao F. The effect of positive end expiratory pressure on the respiratory profile during one-lung ventilation for thoracotomy[J]. *Anaesthesia*, 2007,62(1):23-26. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2006.04893.x.
- [12] Ferrando C, Mugarra A, Gutierrez A, et al. Setting individualized positive end-expiratory pressure level with a positive end-expiratory pressure decrement trial after a recruitment maneuver improves oxygenation and lung mechanics during one-lung ventilation[J]. *Anesth Analg*, 2014,118(3):657-665. DOI: 10.1213/ANE.000000000000105.
- [13] Choi YS, Bae MK, Kim SH, et al. Effects of alveolar recruitment and positive end-expiratory pressure on oxygenation during one-lung ventilation in the supine position[J]. *Yonsei Med J*, 2015,56(5):1421-1427. DOI: 10.3349/ymj.2015.56.5.1421.
- [14] Slinger P. A view of and through double-lumen tubes[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2003,17(3):287-288.
- [15] Hess DR. Recruitment maneuvers and PEEP titration[J]. *Respir Care*, 2015,60(11):1688-1704. DOI: 10.4187/respcare.04409.
- [16] Hinkson CR, Benson MS, Stephens LM, et al. The effects of apparatus dead space on P(aCO₂) in patients receiving lung-protective ventilation[J]. *Respir Care*, 2006,51(10):1140-1144.
- [17] Manzano F, Fernández-Mondéjar E, Colmenero M, et al. Positive-end expiratory pressure reduces incidence of ventilator-associated pneumonia in nonhypoxemic patients[J]. *Crit Care Med*, 2008,36(8):2225-2231. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31817b8a92.
- [18] Spaeth J, Hojnik A, Ott M, et al. Characteristics of Double-Lumen Tubes Determine Bronchial Airway Pressure[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2016, 30(4): 954-960. DOI: 10.1053/j.jvca.2016.03.126.
- [19] Ren S, Cai M, Shi Y, et al. Influence of bronchial diameter change on the airflow dynamics based on a pressure-controlled ventilation system[J]. *Int J Numer Method Biomed Eng*, 2018, 34(3). DOI:10.1002/cnm.2929.
- [20] Michelet P, Roch A, Brousse D, et al. Effects of PEEP on oxygenation and respiratory mechanics during one-lung ventilation[J]. *Br J Anaesth*, 2005,95(2):267-273. DOI: 10.1093/bja/aei178.
- [21] Bernasconi F, Piccioni F. One-lung ventilation for thoracic surgery: current perspectives[J]. *Tumori*, 2017,103(6):495-503. DOI:10.5301/tj.5000638.
- [22] Campos JH, Feider A. Hypoxia During One-Lung Ventilation—A Review and Update[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018,32(5): 2330-2338. DOI :10.1053/j.jvca.2017.12.026.
- [23] Jo YY, Lee JY, Lee MG, et al. Effects of high positive end-expiratory pressure on haemodynamics and cerebral oxygenation during pneumoperitoneum in the Trendelenburg position [J]. *Anaesthesia*, 2013,68(9):938-943. DOI: 10.1111/anae.12284.
- [24] Maisch S, Reissmann H, Fuehlekrug B, et al. Compliance and dead space fraction indicate an optimal level of positive end-expiratory pressure after recruitment in anesthetized patients[J]. *Anesth Analg*, 2008,106(1):175-181. DOI: 10.1213/01.ane.0000287684.74505.49.
- [25] Valenza F, Ronzoni G, Perrone L, et al. Positive end-expiratory pressure applied to the dependent lung during one-lung ventilation improves oxygenation and respiratory mechanics in patients with high FEV₁[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2004,21(12): 938-943.
- [26] Karzai W, Schwarzkopf K. Hypoxemia during one-lung ventilation: prediction, prevention, and treatment[J]. *Anesthesiology*, 2009,110(6):1402-1411. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31819fb15d.
- [27] Nilsson MC, Fredén F, Larsson A, et al. Hypercapnic acidosis transiently weakens hypoxic pulmonary vasoconstriction without affecting endogenous pulmonary nitric oxide production [J]. *Intensive Care Med*, 2012,38(3):509-517. DOI: 10.1007/s00134-012-2482-7.
- [28] Freebairn SH, Imlay R, Barrett E, et al. A lung model to demonstrate dynamic gas trapping and intrinsic positive end-expiratory pressure at realistic ventilation settings[J]. *Anaesth Intensive Care*, 2017,45(6):752-757.
- [29] Albanese A, Vicario F, Buizza R. End-inspiratory occlusion in the presence of intrinsic PEEP[J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2017,2017:149-152. DOI: 10.1109/EMBC.2017.8036784.

(收稿日期:2019-01-03)

(本文编辑:严玮雯)