

## 论著·临床研究

## 呼气末正压对侧卧位体外循环下行先天性心脏病纠治术患儿肺不张发生率的影响

贺盼, 孙瑛, 杨艳艳, 白洁, 郑吉建, 张马忠

上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心麻醉科, 上海 200127

**[摘要]** **目的**·应用肺超声评估侧卧位体外循环(cardiopulmonary bypass, CPB)下行先天性心脏病纠治术患儿肺不张的发生率, 探讨呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)对此类患儿肺不张发生率的影响。**方法**·纳入2019年10月—2020年8月于上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心择期侧卧位CPB下行先天性心脏病纠治术的患儿60例, 采用随机数字表将患儿随机分为PEEP组(P组,  $n=30$ )和对照组(C组,  $n=30$ )。P组患儿在气管插管后即刻予5 cmH<sub>2</sub>O PEEP维持, 直至手术结束。C组患儿在气管插管后即刻予5 cmH<sub>2</sub>O PEEP维持, 直至手术开始。分别于机械通气后1 min (T1)、手术开始前1 min (T2)、手术后即刻(T3)共3个时间点行肺超声检查。记录2组患儿的肺超声评分, 比较其肺不张的发生率。**结果**·2组患儿在T1、T2时肺不张的发生率均无统计学意义, 在T3时P组患儿肺不张发生率较C组明显降低( $P=0.000$ )。C组患儿在T3时的肺不张发生率较T1、T2时明显升高(均 $P<0.05$ )。**结论**·PEEP可显著降低侧卧位CPB下行先天性心脏病纠治术患儿肺不张的发生率。

**[关键词]** 肺不张; 呼气末正压; 肺超声; 先天性心脏病; 侧卧位开胸手术

**[DOI]** 10.3969/j.issn.1674-8115.2021.06.013 **[中图分类号]** R725.4 **[文献标志码]** A

## Effect of positive end-expiratory pressure on the incidence of atelectasis in children with congenital heart disease undergoing lateral thoracotomy under cardiopulmonary bypass

HE Pan, SUN Ying, YANG Yan-yan, BAI Jie, ZHENG Ji-jian, ZHANG Ma-zhong

Department of Anesthesiology, Shanghai Children's Medical Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China

**[Abstract]** **Objective**·To evaluate the incidence of atelectasis in children undergoing lateral thoracotomy cardiac surgery with cardiopulmonary bypass (CPB) by lung ultrasound, and investigate the effect of positive end-expiratory pressure (PEEP) on the incidence of atelectasis in these children. **Methods**·Sixty children undergoing selective lateral thoracotomy cardiac surgery with CPB in Shanghai Children's Medical Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine from October 2019 to August 2020 were included. They were randomly divided into PEEP group (P group,  $n=30$ ) and control group (C group,  $n=30$ ). The P group was treated with 5 cmH<sub>2</sub>O PEEP immediately after tracheal intubation until the end of operation. The C group was treated with 5 cmH<sub>2</sub>O PEEP immediately after tracheal intubation until the beginning of operation. Lung ultrasound exam was performed three times in each patient, 1 min after starting mechanical ventilation of the lungs (T1), 1 min before the beginning of surgery (T2) and the time immediately upon completion of the surgery (T3). The lung ultrasound scores of the two groups were recorded, and the incidences of atelectasis were compared. **Results**·There was no significant difference in the incidences of atelectasis at T1 and T2 between the two groups. The incidence of atelectasis in P group was significantly lower than that in the C group at T3 ( $P=0.000$ ). The incidence of atelectasis in the C group at T3 was significantly lower than those at T1 and T2 (all  $P<0.05$ ). **Conclusion**·PEEP can significantly reduce the incidence of atelectasis in children undergoing lateral thoracotomy cardiac surgery with CPB.

**[Key words]** atelectasis; positive end-expiratory pressure (PEEP); lung ultrasound; congenital heart disease; lateral thoracotomy

近年来,随着外科技术的发展,侧开胸小切口手术已安全应用于一些简单先天性心脏病(先心病)手术的纠治<sup>[1-2]</sup>,并因其微创、美观而日益受到家属和外科医师的关注。然而,侧卧位手术的体位和操作可导致较平卧位手术更高的肺不张发生率。呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)可通过增加功能残气量

(functional residual capacity, FRC)和呼气末的肺容量,维持呼气末一定水平的气道压力,使肺泡在呼气末不易塌陷,从而减少肺不张的发生。由于术中PEEP的使用会导致肺泡处于膨胀状态,从而影响手术视野的暴露,再加之该类小切口手术本身视野局限,因此一些外科医师对术中使用PEEP的接受度较低。目前,国内外尚未对

**[作者简介]** 贺盼(1987—),女,住院医师,学士;电子信箱:hp878888@163.com。

**[通信作者]** 孙瑛,电子信箱:yingsun821@163.com。

**[Corresponding Author]** SUN Ying, E-mail: yingsun821@163.com.

**[网络首发]** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.2045.r.20210528.1718.010.html> (2021-05-31 17:31:37)。

PEEP在这类手术中的应用进行报道。肺超声检查是一种无创、可重复的床旁检查技术,其对于肺不张的评估具有较高的特异度和敏感度<sup>[3-5]</sup>。本研究通过肺超声检查评估PEEP对该类患儿围术期肺不张的影响,探讨PEEP在侧开胸小切口手术中应用的合理性与有效性。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象及分组

选择2019年10月—2020年8月于上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心择期体外循环(cardiopulmonary bypass, CPB)下由同一组外科医师行侧卧位开胸心脏手术的患儿60例。采用随机数字表将患儿分为PEEP组(P组)和对照组(C组),每组30例。入组标准:①年龄3个月~3岁。②美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级为Ⅱ~Ⅲ级。③体质量不超过按身高测量的标准体质量的20%。排除标准:①既往有先心病手术史。②既往患有呼吸系统疾病,存在气道异常史。③术前胸片或CT异常。④术前需血管活性药物支持。⑤术前在吸入空气的情况下,血氧饱和度( $\text{SpO}_2$ )<95%。本研究经上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心医学伦理委员会批准(审批号:SCMCIRB-K2016042),所有入组患儿的家属均签署了知情同意书。

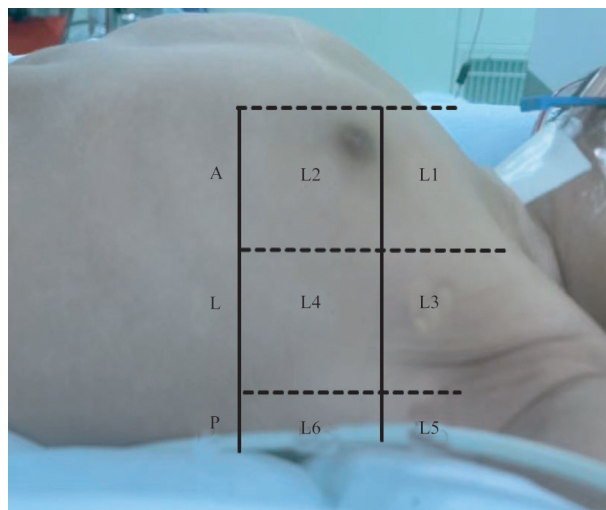
### 1.2 麻醉方法

患儿术前常规禁食、禁饮。麻醉诱导前,采用80%氧气给氧去氮。采用咪达唑仑0.1 mg/kg、依托咪酯0.2 mg/kg、舒芬太尼2  $\mu\text{g/kg}$ 、罗库溴铵0.6 mg/kg进行麻醉诱导。待达到一定麻醉深度后,插入合适大小的带囊气管导管。P组患儿在气管插管后即刻予5  $\text{cmH}_2\text{O}$  (1  $\text{cmH}_2\text{O}$ =0.098 kPa) PEEP维持,直至手术结束。C组患儿在气管插管后即刻予5  $\text{cmH}_2\text{O}$  PEEP维持,直至手术开始。给予2组患儿七氟烷吸入,静脉泵注丙泊酚、舒芬太尼、罗库溴铵维持麻醉。术中双肺通气,采用压力控制通气(pressure-controlled ventilation, PCV)模式。呼吸机参数设置为:吸入氧浓度50%,潮气量6~8 mL/kg,吸呼比=1:2,调整呼吸频率维持呼气末二氧化碳分压(end-tidal pressure of carbon dioxide,  $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ )为35~45 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。术中监测心电图、 $\text{SpO}_2$ 、有创动脉压、中心静脉压、直肠温和鼻咽温。上下腔静脉阻断后两肺停止通气。CPB期间将P组呼吸机设置为手动模式,流量为1~2 L/min,将压力阀设置为5

$\text{cmH}_2\text{O}$ 。C组患儿与呼吸管路断开连接。上下腔静脉开放后恢复两肺通气,呼吸机设置参数同前。

### 1.3 超声检查

选用便携式GE Healthcare超声仪(通用电气医疗系统超声及基础医疗诊断有限公司,美国)线阵4~12 MHz探头,按照Acosta等<sup>[6]</sup>描述的肺部超声检查定位方法对2组患儿进行检查。如图1所示,以腋前线、腋后线将两肺纵向分为前、侧、后3个区域,以乳头上方1 cm水平将两肺横向分为上、下区,共12个肺区。分别于机械通气后1 min (T1)、手术开始前1 min (T2)、手术后即刻(T3)共3个时间点行肺超声检查。所有超声检查均由1名具有至少80次儿童肺超声检查经验且对分组不清楚的麻醉医师完成,由另一位没有参与超声检查的人员行肺超声图像分析。胸膜旁不同大小的实变和B线是麻醉后最常见的2种肺部超声征象<sup>[7]</sup>。参照Lee等<sup>[8]</sup>的肺超声评分标准(图2),将胸膜旁实变程度分为4级,共计0~3分:0分为无实变,1分为轻度实变,2分为小型实变,3分为大型实变;B线评分共计0~3分:0分为少于3条孤立的B线,1分为多条边界清晰的B线,2分为多条合并的B线,3分为白肺。



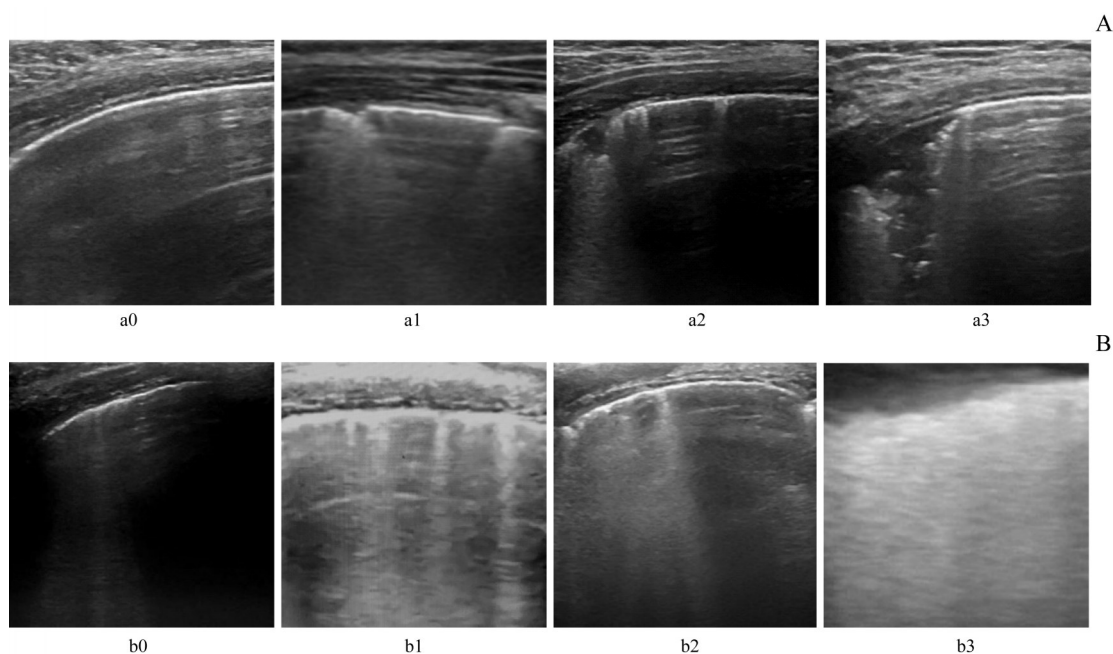
Note: A—anterior area; L—lateral area; P—posterior area.

图1 左侧肺的肺超声检查分区示意图

Fig 1 Schematic diagram of left lung ultrasound image partition

### 1.4 观察指标

观察并记录:①患儿的一般资料(包括性别、年龄、身高、体质量、ASA分级、手术类别、机械通气时间、体外循环时间、手术时间等)。②T1、T2、T3时的肺不张发生率。③T1、T2、T3时的肺超声评分。④T2、T3时的动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen,  $\text{PaO}_2$ )。⑤术中不良反应及处理情况。



**Note:** a0 represents no consolidation, a1 represents minimal juxta-pleural consolidation, a2 represents small-sized consolidation, and a3 represents large-sized consolidation; b0 represents fewer than three isolated B-lines, b1 represents multiple well-defined B-lines, b2 represents multiple coalescent B-lines, and b3 represents white lung.

图2 胸膜旁实变(A)和B线(B)的肺超声评分示意图

Fig 2 Schematic diagram of lung ultrasound score of juxta-pleural consolidation (A) and B-lines (B)

### 1.5 统计学分析

采用SPSS 25.0软件包对研究数据进行统计分析。采用Shapiro-Wilk法进行正态性检验,符合正态分布的定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用独立 $t$ 检验进行分析;不符合正态分布的定量资料以及等级资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,采用Mann-Whitney  $U$ 检验进行分析。定性资料以频数(百分率)表示,采用 $\chi^2$ 检验或Fisher确切概率法进行分析。2组患儿各时间点肺超声评分比较采用重复测量方差分析,并进行Bonferroni校正。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

### 1.6 样本量计算

由于先前没有针对CPB下行侧卧位开胸心脏手术患儿的肺不张发生率的研究,因此样本量的计算基于以往患儿肺不张发生率的相关数据。据报道,全身麻醉后患儿肺不张的发生率为80%<sup>[7]</sup>。假设此类手术结束时肺不张的发生率为80%,使用PEEP后肺不张的发生率降至45%,取检验水准为0.05,检验效能为0.8,丢失率为10%,则每组需要30例患儿。

## 2 结果

在纳入的60例患儿中,共计剔除3例。其中,P组1例患儿在手术结束前发生过敏性休克;C组1例未完成肺超声检查,1例在术前调整手术体位时气管导管发生移

位。最终,共计纳入P组29例、C组28例。

### 2.1 患儿一般资料比较

对患儿的一般资料进行比较分析,结果(表1)显示2组在性别、年龄、身高、体质量、ASA分级、手术类别、机械通气时间、体外循环时间、手术时间方面的差异均无统计学意义。

表1 2组患儿一般资料比较

Tab 1 Comparison of general data of the two groups

Item	P group (n=29)	C group (n=28)	P value
Age/year	1.7±0.6	1.8±0.5	0.576
Gender (male/female)/n	12/17	15/13	0.357
Weight/kg	10.6±2.1	11.8±2.4	0.830
Height/cm	81.2±13.5	84.0±10.9	0.892
ASA score (Ⅱ/Ⅲ)/n	12/17	13/15	0.701
Surgery type/n(%)			0.509
ASD	16 (55.2)	13 (46.4)	
VSD	13 (44.8)	15 (53.6)	
Mechanical ventilation time/min	153.3±31.8	150.0±23.3	0.653
CPB time/min	44.6±19.1	40.7±16.6	0.491
Operation time/min	121.8±17.9	116.8±9.1	0.476

**Note:** ASD—atrial septal defect; VSD—ventricular septal defect.

### 2.2 2组患儿肺不张发生率比较

对患儿各时间点肺不张的发生率进行比较,结果(表2)显示在T3时P组患儿肺不张的发生率低于C组



( $P=0.000$ ), 而在 T1、T2 时组间差异均无统计学意义; 在 C 组中, T3 时患儿的肺不张发生率均高于 T1、T2 时 (均  $P=0.000$ )。

表 2 2 组患儿各时间点肺不张发生率比较[n(%)]

Tab 2 Comparison of the incidences of atelectasis between the two groups at each time point [n (%)]

Time point	P group (n=29)	C group (n=28)	P value
T1	8 (27.6)	9 (32.1)	0.707
T2	11 (37.9) <sup>①</sup>	10 (35.7) <sup>②</sup>	0.862
T3	13 (44.8) <sup>③⑤</sup>	26 (92.9) <sup>④⑥</sup>	0.000

Note: <sup>①</sup> $P=0.401$ , <sup>②</sup> $P=0.778$ , <sup>③</sup> $P=0.172$ , <sup>④</sup> $P=0.000$ , compared with T1 of each group; <sup>⑤</sup> $P=0.594$ , <sup>⑥</sup> $P=0.000$ , compared with T2 of each group.

对患儿 T3 时肺部各区的肺不张发生率进行比较, 结果 (表 3) 显示 P 组患儿左肺侧区、后区的肺不张发生率均低于 C 组 (均  $P<0.05$ ); C 组患儿左肺侧区、后区的肺不张发生率均大于前区 (均  $P<0.05$ )。

表 3 2 组患儿 T3 时肺部各区的肺不张发生率比较[n(%)]

Tab 3 Comparison of the incidences of atelectasis in different regions of the lung between the two groups at T3 [n(%)]

Regions of the lung	P group (n=29)	C group (n=28)	P value
L1-L2	2 (6.9)	3 (10.7)	0.670
L3-L4	3 (10.3)	10 (35.7) <sup>①</sup>	0.029
L5-L6	5 (17.2)	13 (46.4) <sup>②</sup>	0.018
R1-R2	2 (6.9)	3 (10.7)	0.670
R3-R4	1 (3.4)	2 (7.1)	0.611
R5-R6	3 (10.3)	2 (7.1)	1.000

Note: <sup>①</sup> $P=0.027$ , <sup>②</sup> $P=0.007$ , compared with L1-L2 of C group.

### 2.3 2 组患儿各时间点的肺超声评分比较

对患儿各时间点的肺超声评分进行比较, 结果 (表 4) 显示 T3 时 P 组患儿的肺超声评分较 C 组降低 (均  $P<0.05$ ), 而 T1、T2 时的组间差异均无统计学意义; T3 时 C 组患儿的肺超声评分均高于 T1、T2 时 (均  $P<0.05$ )。

表 4 2 组患儿各时间点的肺超声评分比较(分)

Tab 4 Comparison of the lung ultrasound scores between the two groups at each time point (score)

Time point	P group (n=29)	C group (n=28)	P value
T1			
Juxtapleural consolidation	1.0 (0, 2.0)	1.0 (0, 2.3)	0.741
B-lines	1.0 (0, 2.3)	1.0 (0, 3.0)	0.784
T2			
Juxtapleural consolidation	1.0 (0, 3.8)	1.0 (0, 3.0)	0.980
B-lines	1.5 (0, 3.0)	1.0 (0, 3.0)	0.989
T3			
Juxtapleural consolidation	1.0 (0, 5.0)	5.0 (2.8, 7.0) <sup>①③</sup>	0.003
B-lines	2.0 (0, 6.0)	6.0 (4.0, 7.0) <sup>②④</sup>	0.000

Note: <sup>①</sup> $P=0.000$ , <sup>②</sup> $P=0.000$ , compared with T1; <sup>③</sup> $P=0.001$ , <sup>④</sup> $P=0.000$ , compared with T2.

### 2.4 2 组患儿 T2、T3 时 PaO<sub>2</sub> 比较

T2 时, P 组患儿 PaO<sub>2</sub> 为 (155.3 ± 15.6) mmHg、C 组为 (160.1 ± 21.1) mmHg, 组间差异无统计学意义; T3 时, P 组患儿 PaO<sub>2</sub> 为 (100.6 ± 11.4) mmHg、C 组为 (79.6 ± 9.8) mmHg, 组间差异有统计学意义 ( $P=0.000$ )。

### 2.5 2 组患儿术中不良反应及处理情况

P 组有 1 例患儿手术结束前发生过敏性休克, 需要静脉注射肾上腺素抢救。2 组患儿术中均未发生心律失常、低氧血症、气胸等不良反应。

## 3 讨论

本研究发现, 侧卧位 CPB 下行先心病纠治术患儿的肺不张发生率较高, 且主要发生在左肺 (受压侧肺) 侧区和后区; 5 cmH<sub>2</sub>O PEEP 可以减少患儿的肺不张发生率。

研究<sup>[9]</sup>显示, 儿童因气道和肺实质发育尚未完全、生理功能上存在差异等, 其围术期发生肺不张的风险显著高于成人; 而先心病患儿尤其是肺血多型先心病患儿, 由于其肺充血、淤血导致肺内血流量增多、肺顺应性降低等, 较非先心病患儿更易发生肺不张。同时, 有研究<sup>[6]</sup>发现麻醉因素也是先心病患儿肺不张的高危因素之一, 即使是肺功能正常的儿童因麻醉因素引起的肺不张发生率也高达 68%~100%。此外, 在先心病手术期间, CPB 可激活肺部炎症反应, 抑制肺泡表面活性物质的产生, 从而加剧肺泡的塌陷和肺不张的发生<sup>[10-11]</sup>。侧卧位下行先心病纠治术时, 由于重力因素导致下肺血流多于上肺, 使得下肺更易发生肺不张。据报道, 行先心病纠治术的患儿在全身麻醉诱导后 1 min 和手术后即刻肺不张的发生率分别高达 76% 和 92%<sup>[3]</sup>, 且年龄越小越明显<sup>[7]</sup>。本研究显示手术过程中未加 PEEP 的患儿手术后即刻肺不张的发生率为 92.9%, 与上述研究结果相一致。研究<sup>[12]</sup>发现, 肺不张的发生与术后肺部并发症有明显的相关性, 而严重的肺部并发症可导致医疗资源浪费、患儿住院时间延长、住院费用增加等。肺超声检查具有无创、实时、便携、准确可靠等优点, 是床旁诊断小儿先心病术后肺不张的准确可靠的方法<sup>[5]</sup>。

作为肺保护性通气策略之一<sup>[13]</sup>, 麻醉期间使用 PEEP 可以增加成人患者的 FRC, 防止气道塌陷, 从而改善通气和氧合, 减少肺不张和术后肺部并发症的发生<sup>[14-17]</sup>。儿童的 FRC 较成人有所下降, 侧卧位开胸手术时其下肺受压严重, 再加上手术切口小、外科操作压迫等, 更易

发生小气道塌陷和氧分压下降。既往研究<sup>[18]</sup>表明,在全身麻醉诱导后,给予适当的PEEP可以减少儿童肺不张的发生。本研究结果也证实了这一观点。

Song等<sup>[7]</sup>研究发现,肺超声引导下肺复张并联合使用5 cmH<sub>2</sub>O PEEP可使婴儿全身麻醉后的肺不张发生率降低至25%。本研究中,我们未对患儿行超声引导下的肺复张,仅在气管插管后即刻予5 cmH<sub>2</sub>O PEEP维持,患儿术后肺不张发生率明显高于25%,这是因为肺复张打开了已经塌陷的肺单位,而PEEP主要是用来维持肺单位的开放。即肺塌陷不能用标准水平的PEEP来克服,只有个体化的肺复张才能获得令人满意的效果。上述2项研究结果均表明5 cmH<sub>2</sub>O PEEP不能完全预防患儿肺不张,而

高水平的PEEP可能会增加胸腔内压,导致血流动力学不稳定<sup>[19]</sup>,甚至可能会影响外科医师操作。因此,预防先心病患儿肺不张的最佳PEEP值及其临床应用尚有待进一步研究。

本研究尚存在一定的局限性,如仅探讨了2组患儿术前和术后即刻的肺不张情况。有关此类患儿术后拔管后及术后24 h的肺不张状况将在今后的研究中进一步探讨。

综上所述,侧卧位CPB下行先心病纠治术患儿的肺不张发生率较高,应用5 cmH<sub>2</sub>O PEEP可显著降低肺不张的发生率,但预防先心病患儿肺不张的最佳PEEP值尚待进一步验证。

## 参·考·文·献

- [1] Liu YL, Zhang HJ, Sun HS, et al. Repair of cardiac defects through a shorter right lateral thoracotomy in children[J]. *Ann Thorac Surg*, 2000, 70(3): 738-741.
- [2] Li G, Su J, Fan X, et al. Safety and efficacy of ventricular septal defect repair using a cosmetic shorter right lateral thoracotomy on infants weighing less than 5 kg[J]. *Heart Lung Circ*, 2015, 24(9): 898-904.
- [3] Sun LP, Wu L, Zhang K, et al. Lung ultrasound evaluation of incremental PEEP recruitment maneuver in children undergoing cardiac surgery[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2020, 55(5): 1273-1281.
- [4] Song IK, Kim EH, Lee JH, et al. Utility of perioperative lung ultrasound in pediatric cardiac surgery: a randomized controlled trial[J]. *Anesthesiology*, 2018, 128(4): 718-727.
- [5] Cantinotti M, Ait Ali L, Scalese M, et al. Lung ultrasound reclassification of chest X-ray data after pediatric cardiac surgery[J]. *Paediatr Anaesth*, 2018, 28(5): 421-427.
- [6] Acosta CM, Maidana GA, Jacovitti D, et al. Accuracy of transthoracic lung ultrasound for diagnosing anesthesia-induced atelectasis in children[J]. *Anesthesiology*, 2014, 120(6): 1370-1379.
- [7] Song IK, Kim EH, Lee JH, et al. Effects of an alveolar recruitment manoeuvre guided by lung ultrasound on anaesthesia-induced atelectasis in infants: a randomised, controlled trial[J]. *Anaesthesia*, 2017, 72(2): 214-222.
- [8] Lee JH, Choi S, Ji SH, et al. Effect of an ultrasound-guided lung recruitment manoeuvre on postoperative atelectasis in children: a randomised controlled trial[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2020, 37(8): 719-727.
- [9] Magnusson L, Spahn DR. New concepts of atelectasis during general anaesthesia[J]. *Br J Anaesth*, 2003, 91(1): 61-72.
- [10] Bignami E, Guarnieri M, Saglietti F, et al. Mechanical ventilation during cardiopulmonary bypass[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2016, 30(6): 1668-1675.
- [11] 郑晓方,徐峥嵘,徐长庆. 体外循环手术对小儿肺表面活性物质的影响及其与肺功能的关系[J]. *哈尔滨医科大学学报*, 2003, 37(6): 510-512.
- [12] 司翠琴,李江力. 术后肺部并发症的风险因素分析[J]. *临床合理用药杂志*, 2013, 6(19): 38,45.
- [13] Park SH. Perioperative lung-protective ventilation strategy reduces postoperative pulmonary complications in patients undergoing thoracic and major abdominal surgery[J]. *Korean J Anesthesiol*, 2016, 69(1): 3-7.
- [14] Michelet P, D'Journo XB, Roch A, et al. Protective ventilation influences systemic inflammation after esophagectomy: a randomized controlled study[J]. *Anesthesiology*, 2006, 105(5): 911-919.
- [15] Lin WQ, Lu XY, Cao LH, et al. Effects of the lung protective ventilatory strategy on proinflammatory cytokine release during one-lung ventilation[J]. *Chin J Cancer*, 2008, 27(8): 870-873.
- [16] Futier E, Jaber S. Lung-protective ventilation in abdominal surgery[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2014, 20(4): 426-430.
- [17] Rode B, Vučić M, Siranović M, et al. Positive end-expiratory pressure lung recruitment: comparison between lower inflection point and ultrasound assessment[J]. *Wien Klin Wochenschr*, 2012, 124(23/24): 842-847.
- [18] Wu L, Hou QR, Bai J, et al. Modified lung ultrasound examinations in assessment and monitoring of positive end-expiratory pressure-induced lung re-aeration in young children with congenital heart disease under general anaesthesia[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2019, 20(5): 442-449.
- [19] 曾琼,孟勇,朱四海,等. 高呼气末正压小潮气量通气对肺功能正常患者血流动力学的影响[J]. *临床麻醉学杂志*, 2009, 25(2): 109-112.

[收稿日期] 2020-10-28

[本文编辑] 邢宇洋

