

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2014.28.051

单肺通气时低氧血症的预防的研究进展

邢柏春¹ 徐学敏¹ 冀晋杰² 麻瑞晨² 姚立农^{2Δ}

(1 长治医学院附属和平医院麻醉科 山西 长治 046000; 2 第四军医大学唐都医院麻醉科 陕西 西安 710038)

摘要:单肺通气技术广泛用于开胸手术的麻醉处理,低氧血症是其重要并发症。低氧血症严重影响病人的正常生理功能,是麻醉医生和外科医生面临的重大挑战。因此,尽可能地预测、预防和处理低氧血症非常重要。术前肺功能、哪侧手术、肺血流灌注是其发生的重要预测因素。使用合理的通气方式,麻醉方法及药物会降低单肺通气时低氧血症的发生。本文综合分析单肺通气时低氧血症的预防进展,以期减少其发生率。

关键词:单肺通气;低氧血症;缺氧性肺血管收缩

中图分类号:R614;R65 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2014)28-5591-04

Prevent and Development of Hypoxemia during One-Lung Ventilation

XING Bai-chun¹, XU Xue-min¹, JI Jin-jie², MA Rui-chen², YAO Li-nong²

(1 Peace Hospital, Changzhi Medical College, Changzhi, Shanxi, 046000, China;

2 Tangdu Hospital, Fourth Military Medical University, Xi'an, Shaanxi, 710038, China)

ABSTRACT: One-lung ventilation is widely applied in cardiothoracic surgery. Hypoxemia is the main complication during one-lung ventilation. Hypoxemia during one-lung ventilation may affect the safety of the patient and is a challenge for the anesthesiologist and for the surgeon. It is therefore important to predict, to prevent if possible, and to promptly treat hypoxemia during one-lung ventilation. Use reasonable ventilation strategy, type of anesthesia and anaesthetic can reduce incidence of hypoxemia. The paper would analyze and conclude the prevent and development of hypoxemia in order to reduce incidence of hypoxemia during one-lung ventilation.

Key words: One-lung ventilation; Hypoxemia; Hypoxic pulmonary vasoconstriction

Chinese Library Classification: R614; R65 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2014)28-5591-04

单肺通气技术广泛应用于开胸手术的麻醉处理,尽管有些手术单肺通气并不是绝对适应症,但单肺通气可增加手术视野,减少手术操作对膨胀肺的损伤,一定程度上增加手术进程,临床上应用有逐渐增多的趋势。但单肺通气必然会影响患者的通气功能,当由双肺通气转为单肺通气时,非通气肺萎陷,但仍有血流灌注,非通气侧肺的灌注将不可避免地引起肺内分流导致氧合障碍,甚至出现低氧血症。最新的一项研究表明^[1]:吸入氧浓度大于 50%的病人中有 4%发生低氧血症(定义为动脉血氧饱和度小于 90%),其他研究(同样的定义下)的数据为 5%~10%^[2,3]。低氧血症影响病人的安全,是麻醉医生和外科医生面临的挑战,因此,尽可能地预测、预防和处理低氧血症非常重要。

1 单肺通气时低氧血症的预测

1.1 哪侧手术

由于右肺比左肺大,左侧开胸手术时单肺通气的氧合可能比右侧开胸手术更好(即靠更大的右侧肺通气)^[4]。在最新一项研究中发现,当吸入纯氧时,左侧开胸单肺通气时,平均动脉血氧分压约为 280 mmHg,而在行右侧开胸时,约为 170 mmHg^[1]。Slinger 等人的一项回顾性研究发现哪侧手术对于预测单肺通

气时的低氧血症的发生是一项重要指标^[5]。

1.2 术前肺功能的检查

尽管肺功能异常可导致单肺通气时低氧血症的发生,但并不是所有肺功能监测都是可靠的。一些研究显示了完全相反的结果:一些阻塞性肺通气功能指标的结果显示出与单肺通气时的氧合呈负相关,即阻塞越严重,单肺通气时病人越不易发生低氧血症。Slinger 等人的研究发现:第 1 秒用力肺活量越低,单肺通气时的氧合反而越好^[2]。这种反常现象的一种解释可能是由于阻塞性肺疾患病人单肺通气时,气体残存于通气的肺里,形成内源性呼气末正压(PEEP),减少了通气侧肺不张的可能性,改善了氧合。然而,其他近期研究显示术前检查阻塞性肺疾患程度(第 1 秒用力肺活量)和单肺通气时氧合的关系并无明显意义^[3]。

另一项重要检查是动脉血气分析,术前动脉血气或者是单肺通气前双肺通气时的动脉血氧分压异常往往提示肺功能异常和术中可能发生低氧血症,Slinger 等人认为,自主呼吸时,特别是双肺通气时氧分压水平和单肺通气时血氧分压有直接的关系^[2]。

1.3 肺血流的灌注

双肺的血流灌注是一项可术前测量并可以帮助预测单肺通气时低氧血症的重要指标^[5]:非通气侧肺灌注越少,通气侧肺灌注越多,单肺通气时氧分压越高^[6]。如果胸科手术病人在术前做了肺灌注扫描,对于麻醉医生来说,分析扫描结果对低氧血症的预测是很重要的。如果没有扫描结果,病人的临床症状也可为非通气侧的血流灌注情况提供线索:大的中心性肿瘤的病

作者简介:邢柏春(1982-),男,硕士研究生,医师,从事单肺通气低氧血症的研究,E-mail:xbcfmmu@sohu.com

Δ通讯作者:姚立农(1968-),男,麻醉科教授,硕士生导师,从事神经器官保护方面研究,E-mail:yaolin@fmmu.edu.cn

(收稿日期:2013-10-11 接受日期:2013-12-09)

人手术侧(非通气侧)的血流灌注要比小的周围型包快的病人少。更多的中央型肿瘤行肺叶或是全肺切除,而小的外周病变,通常是肺以外的转移瘤,则行楔形切除。有研究表明,行肺叶切除和全肺切除的患者单肺通气时的氧合比行开胸或者胸腔镜转移瘤切除的氧合更好^[4]。肺灌注研究表明:行肺叶或者全肺切除的患者非通气侧的血流灌注比行转移瘤患者的血流灌注要少。

影响单肺通气时通气和非通气肺血流灌注的另一个因素就是重力。病人仰卧位时,重力对双肺的影响是一致的,而在侧卧位时,重力的影响导致通气侧的血流量增加,非通气侧减少从而氧合改善,单肺通气时侧卧位的病人很可能比仰卧位的病人氧合好。在一组患有慢性阻塞性肺疾病的人的研究中:吸入纯氧,单肺通气 15 分钟后,仰卧位病人的氧分压为 301 (215-422) mmHg,而侧卧位的氧分压为 486 (288-563) mmHg,氧分压相对较高的原因可能是患有阻塞性肺疾患的患者非通气侧排出气体不完全所致^[7]。

手术操作可能也是影响肺血流分布的一项因素。手术挤压或牵拉可使更多的血液流向通气侧肺,从而使患者的氧合得到改善。预测低氧血症不仅是麻醉医生面临的问题,对外科医生同样重要,因为在手术中处理低氧血症的方法可能影响到手术。一个术前氧合功能差,甚至双肺血流分布差的病人行仰卧位手术,很可能较侧卧位手术更容易发生低氧血症,因此,在术前跟外科医生对此进行讨论是很有必要的。

以上因素对单肺通气时低氧血症的预测可能是有帮助的,但是,这些因素中,任何一项都不能独立预测出病人术中是否会发生低氧血症。因此,尽可能全面的对患者做术前检查及评估对预测低氧血症是有帮助的。

2 单肺通气时低氧血症的预防

2.1 增强术前的肺功能

尽管没有相关的文献确切证实,但是大多数学者认为术前提高肺功能不但将极大可能地减少术后并发症,而且可以提高单肺通气时的氧合^[8]。术前提高肺功能包括物理治疗、药物治疗扩张支气管和减少分泌物。

2.2 肺隔离监测

双腔支气管插管是胸科手术时肺隔离和单肺通气的常用方法。双腔管经常由于放置错误或者放置后移动,从而导致术中氧合不好或者肺隔离不佳,所以胸科手术放置双腔管时和由于病人体位和手术操作的影响导致的移位需要纤维支气管镜监测调整^[9]。一项对 1170 例患者的回顾性研究发现,有 35 例患者(3%)术中出现低氧血症,其中绝大部分需要调整双腔管的位置^[10]。及时的听诊和适当的固定可以减少低氧血症发生的可能性。临床上超过 1cm 的错位都是有意义的,都应该予以纠正,即使这么小的错位不至于阻塞支气管或者影响到纤支镜检查,但随后外科手术操作可导致完全的错位和增加低氧血症发生的机率^[11]。基于以上原因,Klein 等人建议双腔管应用纤维支气管镜检查下调整使其处于最佳位置,最好双腔管在放置时和病人体位改变后均用纤维支气管镜检查^[12]。

2.3 通气方式的管理

2.3.1 通气侧肺行呼气末正压通气 PEEP 为减少单肺通气时低氧血症发生的几率,通气方式是非常重要的。在给侧卧位的病人行单肺通气时,要考率三个问题。

首先,纵膈的重力、腹部脏器的压力、上升的膈肌、患者侧卧位通气侧胸壁顺应性及其压力以及手术操作均可使通气侧肺的舒张受到限制^[13]。由于以上原因,通气侧的肺就容易发生肺不张,引起通气肺交换面积减少,通气侧肺泡塌陷和肺不张激活低氧性肺血管收缩(HPV)或阻碍此区域的血流灌注,因此使更多的血流向非通气侧肺,增加了分流。

其次,适度地增加通气量(或通气压力)以避免肺不张和保持非通气侧肺开放是有必要的,但是,大量增加通气侧的潮气量会阻碍血流灌注,不可避免地导致非通气侧肺血流增加和分流增加。

第三,不恰当的通气方式,对某些需要单肺通气的特殊病人,可能会导致相关性肺损伤。

临床上,对个体而言,尚无可行的方法判定是否为最佳通气方式。因此,应综合病人条件,生理状况,可得的最佳临床证据来判定是否为最佳的满足个体需要的通气方式。绝大部分关于通气方式研究的结论都是以生理为基础,在一些有限的复杂病理状态下的病人运用中得出来的。理想情况是,建立在生理基础上的研究应从最少异常灌注的病人中得出结论,也就意味着需排除行肺叶切除或者全肺切除的病人,因此,直接的证据也是有限的。

2.3.2 通气侧肺行呼气末正压通气 PEEP 为减少单肺通气时的低氧血症,或者可能的肺不张的发生,有人提倡以下两种方案:10-12 ml/kg 的高潮气量不加 PEEP^[14,15]和 6-8 ml/kg 的潮气量加 PEEP^[16,17]。大的潮气量在吸气相会开放整个肺,因为大的潮气量需要更长的时间呼出,因此,在呼出周期的大部分时间,绝大部分肺都是开放的。但这两种方案也可能考虑欠佳。

首先,大的潮气量使肺过度膨胀,对某些敏感的患者造成急性肺损伤^[18,19]。这些研究表明:单纯依靠氧合并不能成为评估通气策略的唯一有效的结论。从通气方式对炎症反应和肺损伤的影响中得到的信息是有限的,Wrigge 等人针对两种通气方案对手术后 3 小时机体和肺部炎症递质的影响进行了研究比较:12 ml/kg 的高潮气量不加 PEEP 和 6 ml/kg 的低潮气量加 10 cmH₂O PEEP^[20],结果显示:相比于低潮气量(6 ml/kg)加 10 cmH₂O PEEP 的通气方式,运用大潮气量(12 ml/kg)不加 PEEP,可导致全身细胞炎性因子水平增加。但单肺通气并不是肺完整性的唯一损伤;研究中半数的病人术前经历了化疗和放疗,手术时间持续 5 小时,食管切除阻断了肺淋巴的回流。因此,至少在原有或者伴有肺损伤的情况下,高潮气量不加 PEEP 有可能损伤通气侧的肺,在同样情况下,使用低潮气量加 PEEP 可能是更合理的。

其次,许多行肺手术患者都有一定程度的呼吸道阻塞,在单肺通气时形成内源性的 PEEP。低水平的内源性 PEEP 反而有助于肺开放和避免肺不张,高水平的内在的 PEEP 可导致过度通气进而减少通气侧肺的血流灌注,潜在地影响氧合。值得注意的是,在 Wrigge 等人的研究中:运用高潮气量不加 PEEP 和低潮气量加 PEEP 相比,两种通气策略的氧合没有明显差别^[20]。一项更早集中在氧合上的研究显示将单肺通气时的潮气量从 8 ml/kg 提高到 15 ml/kg,氧合并没有增加^[21]。因此,在单肺通气时,与低的潮气量符合 PEEP 相比,高的潮气量并没有增加氧合,反而可潜在造成肺损伤。

对于使用多大的 PEEP 提高氧合目前尚有争议。一些研究

证明单肺通气时较低的或者适度水平的 PEEP (约 4-5 cmH₂O) 能增加氧合,而进一步增加 PEEP 值(8-10 cmH₂O),在一些病人则会产生相反作用^[2]。但也有些研究证实 PEEP 不能增加氧合,至少不是所有病人。有研究称:0、5、8、10 cmH₂O 的 PEEP 对氧合并无影响^[23]。在另一项研究中,在使用低潮气量的单肺通气或者是之前的双肺通气中使用 PEEP 对病人是有益的,仍有些研究称外源性 PEEP 和内源性的 PEEP 之间相互的影响决定外加的 PEEP 是否会影响氧合^[24]。为支持这种观点,Valenza 等人强调第 1 秒用力肺活量高的病人,因此产生内源性 PEEP 的可能性越小,将比第 1 秒用力肺活量低的病人从 PEEP 的使用中获益更大^[25]。Slinger 等人指出如果呼气末压力(等于总的 PEEP)与通气侧肺的容量压力曲线的较低转折点接近,那么 PEEP 对增加氧合是有效的^[26]。他的建议是,如有存在肺不张等问题时,PEEP 可增加氧合,但如果自身的呼气末压力能保持肺开放,PEEP 就没有必要了。同时应该认识到内源性 PEEP 不仅仅取决于肺自身的力学特点,而且可以通过通气方式予以调整。也就是说在使用 PEEP 的时候,明确机械通气是否已经产生自身的 PEEP 是有意义的。在临床中一项判断自身 PEEP 的可行方法是看流量-时间或者是流量-容积曲线^[27]。

2.4.2 非通气肺持续正压通气 CPAP CPAP 可以用来预防或治疗单肺通气时的低氧血症。CPAP 对增加单肺通气时的氧合是非常有效的,其压力值在 3 cm H₂O 的时候就可产生作用,一些研究证实常规使用 CPAP 不仅可增加氧合,而且对减少非通气侧的肺损伤是有益的^[28]。然而,一些胸科手术的病人不宜使用 CPAP(如胸腔镜手术),而且在开胸手术中,许多外科医生认为 CPAP 时肺塌陷不良妨碍了手术。常规使用 CPAP 的另一个问题是其有效提供良好氧合的时候掩饰了通气侧肺气管导管的错位和肺不张,在无 CPAP 的单肺通气时,导管错位引起的肺叶通气不良可通过血氧饱和度降低而发觉,在常规使用 CPAP 的时候,情况可能相反。

2.5 通过药物调节

一些研究使用了增加通气侧血流和减少非通气侧血流的药物,如一氧化氮。一氧化氮是一种血管内皮释放因子,因为一氧化氮是一种气体,在麻醉中易于管理,有研究通过吸入一氧化氮 NO(选择性舒张通气侧肺血管)是否增加单肺通气时通气侧的血流灌注进而改善氧合,当 NO 从浓度由 5ppm 增加到 40ppm,NO 并没有减少单肺通气时低氧血症的发生^[29]。

另一种调节血流的方法是使用合适的药物减少非通气侧的灌注,其中一种药物就是阿米三嗪,阿米三嗪被认为是通过增强 HPV 而减少肺通气侧肺血流,HPV 是一种通过收缩肺小动脉血管而减少含氧量低和塌陷区域的肺血流的生理反射,因此减少了非通气肺的肺血流,分流降低,增加了氧合。在单肺通气时,任何增强 HPV 的药物都可进一步减少非通气侧的血流和增加氧合。Moutafis M 等人在研究中使用了 16 μg/kg/min 的阿米三嗪,其氧分压增加了 130%^[30]。虽然,阿米三嗪作为一种方法可以改善单肺通气时的氧合,但是在临床中并没有产生广泛的推荐。因为临床医生因为其毒性不愿常规使用阿米三嗪,而且一旦低氧血症发生,有更简单、有效、安全的处理办法。阿米三嗪只在 CPAP 和间断双肺通气不适用的电视胸腔镜辅助的胸科手术中作为最后选择。

高氧液是经高氧医用液体治疗仪溶氧活化生理盐水,葡萄

糖等制备而成的含有高浓度溶解氧(O₂)且有高氧分压(PO₂=80-100 kPa)的液体。高氧液可部分代偿肺部向组织供氧,对各种慢性缺血缺氧有一定的预防和治疗作用。GAO 等人在单肺通气的猪的试验中发现,单肺通气时静脉泵注 15 mL/kg/h 的高氧液体,在单肺通气 30 和 60 分钟后可改善动脉氧合,但对肺内分流无明显改善,提示高氧液也可作为一种途径预防和治疗低氧血症^[31]。

2.6 麻醉方式和药物的影响

2.6.1 麻醉药物 尽管麻醉方式对单肺通气时的氧合影响似乎不大,但是是一些试验性的研究则不这么认为。在体外,所有吸入麻醉药均抑制 HPV,而静脉麻醉药则影响极小^[31]。吸入麻醉药对 HPV 的抑制不仅仅在体外,同样发生在单肺通气时的体内。在一组对照动物实验中,Domino 等人对右肺通以纯氧,对左肺通低氧的混合气体,只增加含氧低的左肺的异氟烷的浓度,呈现了浓度依赖的肺内分流和氧分压降低,客观地说明了在体外证实的异氟烷对 HPV 呈现的浓度依赖抑制效应在体内也存在^[32],一些对通气侧肺给予吸入麻醉药的实验性研究同样指出吸入麻醉药在单肺通气时降低氧合。但另一些研究则指出,单肺通气时,增加吸入麻醉药不但没有降低氧合,反而随着吸入麻醉药浓度的增加,相关肺的灌注和分流都减少,增加吸入麻醉药可在氧合不变的情况下,使肺通气侧肺血流和分流减少,此项研究中,在单肺通气时,吸入麻醉药改变了心输出量、肺血流灌注和肺静脉血氧饱和度,从而整体维持了氧合^[33]。吸入麻醉药(0.5-1 MAC)与静脉麻醉药对比,大部分临床试验显示无差异,但是在临床使用中大部分则差异是显著的,这些结果显示,临床上,吸入麻醉药对 HPV 的影响并没有直接导致氧合障碍,主要是因为其同时被吸入麻醉药对全身血流动力学的影响所纠正^[34]。

2.6.2 麻醉方式 硬膜外麻醉经常用于胸科病人术中和术后镇痛。在一些实验性研究中,硬膜外麻醉并不抑制 HPV,最近一项研究将吸入异氟烷和氧化亚氮的全身麻醉与硬膜外镇痛复合全麻做了对比,结果是两组氧合和低氧血症的发生无差异^[35]。Von Dossow 等人证实了与单纯使用全凭静脉全麻相比,硬膜外麻醉复合使用丙泊酚和瑞芬太尼的全凭静脉麻醉中血流动力学维持平稳,氧合明显改善^[36]。

总之,麻醉方式(吸入麻醉对比全凭静脉麻醉/硬膜外对比不加硬膜外)本身并不影响单肺通气时的氧合。

综上所述,低氧血症作为单肺通气时的主要并发症影响机体的正常生理功能。术前肺功能、哪侧手术、肺血流灌注是其发生的重要预测因素。单肺通气时低氧血症的预防和处理包括:应用纤维支气管镜定位和检查双腔支气管导管位置,使用合理的通气方式(如 PEEP),增加吸入氧浓度,对非通气侧肺使用 CPAP 或间断复张肺对症处理。对于有原因的低氧血症,应调整双腔管的位置,吸引气管的分泌物和改善通气方式。

参考文献(References)

- [1] Schwarzkopf K, Klein U, Schreiber T. Oxygenation during one-lung ventilation: The effects of inhaled nitric oxide and increasing levels of inspired fraction of oxygen[J]. Anesth Analg, 2001,92:842-847
- [2] Slinger P, Suissa S, Triolet W. Predicting arterial oxygenation during one-lung anaesthesia[J]. Can J Anaesth, 1992, 39:1030-1035
- [3] Guenoun T, Journois D, Silleran-Chassany J. Prediction of arterial

- oxygenation during one-lung ventilation: Analysis of preoperative and intraoperative variables [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2004,16: 199-203
- [4] Katz Y, Zisman E, Isserles SA. Left, but not right, one-lung ventilation causes hypoxemia during endoscopic transthoracic sympathectomy [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 1996, 10:207-209
- [5] Nomoto Y. Preoperative pulmonary blood flow and one-lung anaesthesia[J]. *Anaesth*, 1987, 34:447-449
- [6] Hurford WE, Kolker AC, Strauss HW. The use of ventilation/perfusion lung scans to predict oxygenation during one-lung anesthesia [J]. *ANESTHESIOLOGY*, 1987,67:841-844
- [7] Bardoczky GI, Szegedi LL, d'Hollander AA. Two-lung and one-lung ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: The effects of position and F(1O)2[J]. *Anesth Analg*, 2000,90:35-41
- [8] Warner DO. Preventing postoperative pulmonary complications [J]. *ANESTHESIOLOGY*, 2000,92:1467-1472
- [9] Benumof JL. The position of a double lumen-tube should be routinely determined by fiberoptic bronchoscopy [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2001,7:513-514
- [10] Brodsky JB, Lemmens HJ. Left double-lumen tubes: Clinical experience with 1,170 patients [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2003, 17:289-298
- [11] Inoue S, Nishimine N, Kitaguchi K. Double lumen tube location predicts tube malposition and hypoxaemia during one lung ventilation [J]. *Br J Anaesth*, 2004, 92:195-201
- [12] Klein U, Karzai W, Bloos F. Role of fiberoptic bronchoscopy in conjunction with the use of double-lumen tubes for thoracic anesthesia[J]. A prospective study[J]. *ANESTHESIOLOGY*, 1998,88: 346-350
- [13] Larsson A, Malmkvist G, Werner O. Variations in lung volume and compliance during pulmonary surgery [J]. *Br J Anaesth*, 1987,59: 585-591
- [14] Brodsky JB, Lemmens HJ. Left double-lumen tubes: Clinical experience with 1,170 patients [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2003, 17:289-298
- [15] Pfitzner J, Pfitzner L. The theoretical basis for using apnoeic oxygenation via the nonventilated lung during one-lung ventilation to delay the onset of arterial hypoxaemia [J]. *Anaesth Intensive Care*, 2005, 33:794-800
- [16] Tusman G, Bohm SH. Lung recruitment improves the efficiency of ventilation and gas exchange during one-lung ventilation anesthesia [J]. *Anesth Analg*, 2004, 98:1604-1609
- [17] Cinnella G, Grasso S, Natale C. Physiological effects of a lung-recruiting strategy applied during one-lung ventilation [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2008,52:766-775
- [18] Slinger P. Pro: Low tidal volume is indicated during one-lung ventilation[J]. *Anesth Analg*, 2006, 103:268-70
- [19] Lohser J. One-lung ventilation calls for one-lung recruitment [J]. *Anesth Analg*, 2007,104:220
- [20] Wrigge H, Uhlig U, Zinserling J. The effects of different ventilatory settings on pulmonary and systemic inflammatory responses during major surgery[J]. *Anesth Analg*, 2004,98:775-781
- [21] Duggan M, Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: A pathogenic perioperative entity[J]. *Anesthesiology*, 2005,102:838-854
- [22] Senturk NM, Dilek A, Camci E. Effects of positive end-expiratory pressure on ventilatory and oxygenation parameters during pressure-controlled one-lung ventilation [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2005, 19:71-75
- [23] 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, 62:23-26
- [24] Slinger PD, Hickey DR. The interaction between applied PEEP and auto-PEEP during one-lung ventilation[J]. *Cardiothorac Vasc Anesth* 1998,12:133-136
- [25] Valenza F, Ronzoni G, Perrone L. 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*, 2004,21:938-943
- [26] Slinger PD, Kruger M. Relation of the static compliance curve and positive end-expiratory pressure to oxygenation during one-lung ventilation[J]. *Anesthesiology*, 2001, 95:1096-1102
- [27] Bardoczky GI, d'Hollander AA. Interrupted expiratory flow on automatically constructed flow-volume curves may determine the presence of intrinsic positive end-expiratory pressure during one-lung ventilation[J]. *Anesth Analg*, 1998, 86:880-884
- [28] Yin K, Gribbin E, Emanuel S, Orndorff R. Histochemical alterations in one lung ventilation[J]. *Surg Res*, 2007,137:16-20
- [29] Rocca GD, Passariello M, Coccia C. Inhaled nitric oxide administration during one-lung ventilation in patients undergoing thoracic surgery[J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2001,15:218-223
- [30] Moutafis M, Dalibon N, Liu N. The effects of intravenous almitrine on oxygenation and hemodynamics during one-lung ventilation [J]. *Anesth Analg*, 2002, 94:830-834
- [31] Changjun Gao, Guihe Zhang, Xude Sun. The Effects of Intravenous Hyperoxygenated Solution Infusion on Systemic Oxygenation and Intrapulmonary Shunt During One-Lung Ventilation in Pigs [J]. *Journal of Surgical Research*, 2000, 159:653-659
- [32] Eisenkraft JB. Effects of anaesthetics on pulmonary circulation[J]. *Br J Anaesth*, 1990,65:63-78
- [33] Domino KB, Borowec L, Alexander CM. Influence of isoflurane on hypoxic pulmonary vasoconstriction in dogs [J]. *Anesthesiology*, 1986,64:423-429
- [34] Schwarzkopf K, Schreiber T. Lung perfusion, shunt fraction, and oxygenation during one-lung ventilation in pigs: The effects of desflurane, isoflurane, and propofol [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*, 2003, 17:73-75
- [35] Casati A, Mascotto G, Iemi K. Epidural block does not worsen oxygenation during one-lung ventilation for lung resections under isoflurane/nitrous oxide anaesthesia [J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2005,22: 363-368
- [36] Von Dossow V, Welte M, Zaune U. Thoracic epidural anesthesia combined with general anesthesia: The preferred anesthetic technique for thoracic surgery[J]. *Anesth Analg*, 2001, 92:848-854