측와위에서 수술 전 일측폐환기가 향후 수술 중 일측폐환기 시 동맥혈 산소화에 미치는 영향

서울대학교 의과대학 분당서울대학교병원, *서울대학교병원 마취통증의학과

박희평 · 전영태 · 박상현 · 이석면* · 오용석 · 황정원

Influence of Preoperative One Lung Ventilation in the Lateral Position on Arterial Oxygenation during Subsequent One Lung Ventilation

Hee-Pyoung Park, M.D., Young-Tae Jeon, M.D., Sang-Hyun Park, M.D., Seok-Myeon Rhee, M.D.*, Yong-Seok Oh, M.D., and Jung-won Hwang, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam, *Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Background: There are a few reports with conflicting results regarding the potentiation of hypoxic pulmonary vasoconstriction (HPV) by repeated hypoxic challenges. The aim of this study was to determine if preoperative one lung ventilation (OLV) in the lateral position (LP) for a short time decreases the development of arterial hypoxemia and improves the level of arterial oxygenation via the potentiation of HPV in patients undergoing thoracic surgery with OLV.

Methods: Forty patients were randomly divided into two groups according to presence or absence of preoperative OLV. Preoperative OLV in LP was achieved for 10 minutes with 100% O₂ in group P (n = 20). Thereafter, the two lungs were again ventilated with 50% O₂ until OLV with 100% O₂ had been achieved. In group C (n = 20), the two lungs were continuously ventilated with 50% O₂ until OLV with 100% O₂ was achieved. The arterial blood samples were obtained 15 minutes after the two lung ventilation in the supine position (baseline) during preoperative OLV in LP, before pulmonary vein ligation, as well as before and after pulmonary artery ligation. The development of arterial hypoxemia (peripheral blood oxygen saturation in pulse oximetry < 95%) in patients undergoing thoracic surgery with OLV was also recorded.

Results: Arterial hypoxemia during OLV was observed in 2 cases in group C and 3 cases in group P. There was a similar level of arterial oxygen tension during OLV between the two groups.

Conclusions: This study showed that the preoperative OLV in LP for 10 minutes neither potentiated the HPV response during OLV nor decreased the frequency of arterial hypoxemia during OLV. (Korean J Anesthesiol 2006; 51: 568~72)

Key Words: arterial oxygenation, hypoxic pulmonary vasoconstriction, lateral position, one lung anesthesia, preoperative one lung ventilation.

서 론

일측폐환기는 수술 부위의 폐를 움직이지 않게 하여 수술시야를 좋게 하고 혈액이나 분비물이 정상폐로 넘어오지 않게 하는 등의 장점으로 흉부수술에서 널리 사용되고 있다. 그러나 일측폐환기로 흉부수술을 받는 환자의 약 20%

에서 심한 동맥혈 저산소혈증을 보인다.¹⁾ 일측폐환기시 동맥혈 산소분압이 떨어지는 원인은 비환기폐를 통한 탈산소화 혈액이 폐단락을 일으키는 것과 환기폐에서 발생하는 환기-관류 불균형 때문이다.²⁾ 일측폐환기시 동맥혈 산소분압은 저산소성 폐혈관수축(hypoxic pulmonary vasoconstriction, HPV)에 의해 영향을 받는다. HPV는 비환기폐에서 환기폐로 폐혈류를 이동시켜 폐단락을 감소시키고 환기-관류 불균형을 줄이는 중요한 체내 방어기전이다.³⁾ 일측폐환기를 받는 환자의 마취관리시 HPV 반응이 잘 유지되거나 또는 증가된다면 체내 동맥혈 산소분압의 유지 및 심한 동맥혈 저산소혈증의 빈도 감소에 도움을 줄 수 있다.⁴⁾

저자들은 일측폐환기를 받는 폐 절제술이 예정된 환자에

논문접수일 : 2006년 5월 18일

책임저자 : 황정원, 경기도 성남시 분당구 구미동 300번지

분당서울대학교병원 마취통증의학과, 우편번호: 463-500

Tel: 031-787-7492, Fax: 031-787-4063

E-mail: jungwonh@snuh.org

서 수술 전 일측폐환기가 향후 수술 중 일측폐환기시 동맥혈 산소화의 개선에 영향을 미칠 것으로 생각하였다. 실제로 반복된 저산소 자극에 의한 HPV의 강화여부에 관해서는 논란의 여지가 있다. Benumof,⁵⁾ Pirlo 등,⁶⁾ Miller 등은⁷⁾ 양와위에서 반복된 저산소 자극이 HPV를 강화시킨다고 보고하였으나 Bindslav 등은⁸⁾ 양와위에서 반복된 저산소 자극이 HPV를 강화시키지 못한다고 보고하였다. 그러나 아직까지 반복된 저산소 자극이 HPV에 미치는 영향에 대한 연구가 측와위에서 시행된 예는 없다. 측와위에서는 양와위에 비해 중력이 HPV에 의한 혈액 관류의 재분포를 증대시켜 일측폐환기시 양와위보다 동일 산소 농도에서 높은 동맥혈 산소분압을 보인다.⁹⁾

저자들은 일측폐환기시 수술 전 일측폐환기에 의한 HPV 강화 효과와 측와위의 장점이 함께 작용하면 수술 중 일측폐환기시 더 나은 동맥혈 산소화를 가져올 수 있다는 가설을 세웠다. 본 연구에서는 측와위에서 수술 전 일측폐환기가 수술 중 일측폐환기시의 저산소혈증의 발생 빈도를 줄이고 동맥혈 산소화를 향상시킬 수 있는지 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

전신마취하에 측와위로 폐 절제술이 예정된 40명의 환자를 대상으로 하였다. 심혈관계 질환, 만성 폐쇄성 폐질환, 간 경화의 기왕력을 가진 환자와 일측폐환기시 이중관기관지튜브의 위치 이상으로 인한 저산소혈증을 보인 환자는 연구대상에서 제외되었다. 모든 환자는 수술 전 방문을 통해 본 연구에 대한 서면 동의를 받았다. 폐기능검사, 적혈구용적률, 대기 호흡시의 동맥혈가스분석 등을 포함한 수술 전 검사로 수술 전 변수들을 구하였다.

전처치실에서 midazolam 0.04 mg/kg (최대 한도 용량: 2.5 mg)을 정주하였다. 표준감시장치를 부착한 후 fentanyl 0.2 µg/kg (최대 한도 용량: 100µg), lidocaine 30 mg, propofol 2 mg/kg을 정주하여 마취유도하였다. Rocuronium 0.6 mg/kg을 정주 후 왼쪽 이중관기관지튜브(Broncho-Cath[®], Mallinckrodt Medical Ltd., Athlone, Ireland)를 삽관하고 굴곡성 기관지경을 통해 정확한 위치를 확인하였다. Sevoflurane (흡기시 농도 1-2 vol%)과 간헐적인 fentanyl 1µg/kg 정주로 마취를 유지하였다. 마취유도 후 수술 자세를 위한 측와시시 의존부위(dependent portion)의 요골동맥에 동맥카테터를 거치하였고 비의존적 부위의 내경정맥에 중심정맥카테터를 거치하였다. 일회호흡량은 10 ml/kg, 호흡수는 정상 이산화탄소 분압(35-45 mmHg)을 유지하도록 조절하였다. 양와위에서 흡입산소분율 0.5로 15분 동안 환기한 후 요골동맥 카테터를 통해 동맥혈을 채취하여 초기 기본값으로 기록하였다.

수술 자세를 위한 측와위로 체위변화 후 이중관기관지튜브의 위치를 굴곡성 기관지경을 통해 재확인하였다.

측와위에서 환자들을 무작위로 수술 전 일측폐환기를 시행한 군(group P, n = 20)과 시행하지 않은 군(group C, n = 20)으로 나누었다. 수술 전 일측폐환기군은 일회호흡량의 변화 없이 10분간 100% 산소로 일측폐환기를 받았으며 동맥혈가스분석 후 50% 산소로 다시 양측폐환기를 시행받았다. 일측폐환기시 비의존폐는 환기되지 않고 대기 중에 노출되었다. 일측폐환기를 시행하지 않은 군에서는 계속 50% 산소로 양측폐환기를 시행하였고 10분 후 동맥혈가스분석을 실시하였다.

모든 환자에서 갈비사이근(intercostal muscle)을 자르는 시점에서 일측폐환기를 시작하였다. 의존폐는 100% 산소로 환기되었고 비의존폐는 대기중에 노출되었으며 일회호흡량은 변화 없이 유지하였다. 동맥혈 저산소혈증을 보인 환자를 제외한 나머지 환자들에서 호기말양압이나 지속적 기도양압은 사용되지 않았다. 저자들은 동맥혈 저산소혈증을 말초혈액 산소포화도(SpO₂)가 95% 미만일 때로 정의하였다.¹⁾ 동맥혈 저산소혈증이 나타나면 동맥혈가스분석을 실시하고 동맥혈 산소분압을 향상시키기 위해 튜브위치 재확인과 환기폐에 호기말양압을 적용하였고, 이 방법이 비효과적이면 비환기폐의 지속적 기도양압을 적용하거나 일측폐환기를 포기하고 양측폐환기를 시도하였다.

일측폐환기 동안 절제되는 폐 영역에 상응하는 폐정맥결찰 전(일측폐환기 시작 15분 후), 폐동맥결찰 직전, 폐동맥결찰 15분 후에 각각 동맥혈 산소분압, 호기말 이산화탄소 농도, 최대흡기압, 수축기혈압, 이완기혈압, 심박수, 중심정맥압을 측정하였다. 또한 폐 절제술시 일측폐환기 동안 나타나는 동맥혈 저산소혈증의 빈도를 기록하였다.

군간 인구학적 자료와 수술 전 변수 중 연속 변수의 비교는 독립적인 t-test를 사용하였고 비연속 변수의 비교는 Chi-square test를 사용하였다. 각 시점에서 동맥혈 산소분압, 혈액학적 변수(수축기 및 이완기 혈압, 심박수, 중심정맥압), 최고 흡기압, 호기말 이산화탄소 분압 그리고 동맥혈 가스분석 자료들의 군간 비교는 독립적인 T-test를 사용하였다. 군간 일측폐환기 동안의 동맥혈 저산소혈증의 빈도 비교는 Chi-square test를 사용하여 분석하였다. P값이 0.05 미만일 때 통계학적인 의미가 있는 것으로 간주하였다.

결 과

대상 환자의 인구학적 요소, 수술 전 변수들은 두 군간에 유의한 차이가 없었다(Table 1).

양와위에서 15분 동안 50% 산소로 양측폐환기 후 측정된 동맥혈 산소분압은 C군에서 270 ± 64 mmHg, P군에서 265

Table 1. Demographic Data and Preoperative Variables

	Group C (n = 20)	Group P (n = 20)
Age (yrs)	60 ± 14	57 ± 18
Gender (M/F)	15/5	13/7
Height (cm)	165 ± 12	162 ± 8
Weight (kg)	64 ± 11	58 ± 6
Hematocrit (%)	39 ± 6	39 ± 6
FEV25-75(%)	60 ± 29	54 ± 27
FVC/predicted FVC (%)	96 ± 15	86 ± 15
FEV ₁ /predicted FEV ₁ (%)	89 ± 24	81 ± 15
DLCO (%)	96 ± 19	87 ± 15
PaO ₂ (mmHg, room air)	87 ± 15	90 ± 11
Operation time (min)	209 ± 75	176 ± 51
Surgical procedure		
Lobectomy	17	17
Pneumonectomy	2	1
Segmentectomy	1	2
Operation side (Rt/Lt)	9/11	10/10
Time elapsed from TLV to OLV in lateral position (min)	28 ± 4	26 ± 5

Values are mean ± SD or number of patients. Group P patients receive preoperative one lung ventilation for 10 minutes, whereas group C patients receive continuously two lung ventilation without preoperative one lung ventilation. FEV25-75: forced expiratory volume between 25% and 75% of the FVC, FVC: forced vital capacity, FEV₁: forced expiratory volume in 1 second, DLCO: diffusion capacity for carbon monoxide, Rt: right, Lt: left, TLV: two lung ventilation, OLV: one lung ventilation.

Fig. 1. Arterial oxygen tension at each time point. There is no significant difference in arterial oxygen tension during one lung ventilation (OLV) with 100% oxygen between two groups. Group P patients receive preoperative OLV for 10 minutes, whereas group C patients receive continuously two lung ventilation without preoperative OLV. BPVL: before pulmonary vein ligation, BPAL and APAL: before and after pulmonary artery ligation respectively.

Table 2. Arterial Blood Gas Analysis Data in Cases Showing Arterial Hypoxemia during One Lung Ventilation

	Group C (n = 2)	Group P (n = 3)
Bottom SpO ₂	93 (91-94)	93 (91-94)
Time elapsed from the initiation of OLV to bottom SpO ₂ (min)	11 (7-15)	14 (6-25)
pH	7.43 (7.40-7.46)	7.42 (7.42-7.43)
PaCO ₂ (mmHg)	36.8 (36.4-37.2)	39.2 (38.5-40.5)
PaO ₂ (mmHg)	74.8 (71.2-78.3)	65.1 (60.0-67.7)

Values are mean (range). Group P patients receive preoperative one lung ventilation for 10 minutes, whereas group C patients receive continuously two lung ventilation without preoperative one lung ventilation. SpO₂: peripheral blood oxygen saturation in pulse oximetry, OLV: one lung ventilation.

± 60 mmHg이었다. 측와위에서 10분 동안 50% 산소로 양측폐환기한 C군에서 동맥혈 산소분압은 246 ± 65 mmHg로 100% 산소로 수술 전 일측폐환기를 한 P군의 321 ± 84 mmHg보다 더 낮았다(P < 0.01). 그러나 일측폐환기 동안 폐정맥결찰 전, 폐동맥결찰 전후에 측정된 동맥혈 산소분압은 두 군 사이에 유의한 차이가 없었다(Fig. 1).

P군에서 1명의 환자는 이중관기관지튜브의 위치 이상이 수술 전 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증을 보였고 향후 일측폐환기시에도 다시 동맥혈 저산소혈증을 보였다. 총 5명(C군에서 2명, P군에서 3명)에서 일측폐환기 동안 저산소혈증을 보였다(Table 2). 일측폐환기 동안 두 군간 동맥혈 저산소혈증의 빈도는 유의한 차이를 보이지 않았다.

각 시점별 혈액학적 변수(수축기 및 이완기 혈압, 심박수, 중심정맥압), 최대흡기압, 호기말 이산화탄소 농도 그리고 동맥혈 가스분석 자료(pH, 이산화탄소 분압)들은 두 군간에 유의한 차이가 없었다.

고 찰

본 연구는 측와위에서 10분 동안 수술 전 일측폐환기는 향후 수술 중 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증의 빈도 감소와 동맥혈 산소 분압의 증가에 대해 효과가 전혀 없음을 보이고 있다.

HPV는 국소적 폐의 환기-관류 조화를 통한 동맥혈 산소 분압을 최적화시키기 위한 폐순환의 내재적 기전이다. 일측폐환기 마취를 받는 정상 성인에서 HPV는 심박출량을 약 10% 정도 증가시키고 저산소로 환기되는 폐의 혈류량을 약 50%에서 약 30%로 감소시킨다.^{8,10)} 따라서 부적절한 HPV 또는 HPV의 결핍은 저산소혈증을 일으킬 수 있다. 이러한 HPV는 환자의 기저 질환뿐 아니라 환자 체위, 마취제, 혈

관확장제 그리고 환기 방식과 같은 마취 의사의 통제하에 있는 다양한 요소에 의해 영향을 받는다.³⁾ 그러므로 일측폐마취를 담당하는 마취 의사의 HPV에 대한 숙지는 안전한 환자 마취 관리를 위해 중요하다.

전처치 효과처럼, 저자들은 일측폐환기가 예정된 환자에서 절개 전 측와위에서의 일측폐환기가 향후 수술 중 일측폐환기시 HPV의 증가를 통해 동맥혈 산소화의 개선을 초래할 것으로 기대하였다. 그러나 본 연구 결과는 P군에서 일측폐환기 15분 후 측정된 동맥혈 산소분압은 222 mmHg로 C군에서 일측폐환기 15분 후 측정된 동맥혈 산소분압인 230 mmHg와는 차이가 없었다. 이러한 결과는 수술 중 일측폐환기시 HPV가 수술 전 일측폐환기에 의한 저산소 자극에 의해 강화되지 않음을 의미한다. Bindlev 등은⁸⁾ 인체에서 저산소(5%)와 100% 산소로 15분 동안 교대 환기시 처음 15분 안에 HPV 반응은 최고에 도달하고 반복된 저산소 자극은 HPV를 강화시키지 못한다고 보고하였고 Carlsson 등은¹¹⁾ 1시간의 저산소 자극시 HPV는 처음 15분 내에 일어나고 이 반응은 향후 1시간 동안 감소하지도 증가하지도 않는다고 보고하였다. 하지만 Dorrington 등은¹²⁾ 건강한 성인 남자에서 8시간의 저산소 자극에 대해 HPV는 자극 2시간 후 최고치를 보이며 8시간까지는 비교적 일정하게 유지되다가 3시간의 정상 환기 후 다시 저산소 자극에 노출시는 HPV가 강화됨을 보고하였다. 본 연구에서는 평균 수술 시간이 대략 3시간 전후이었고 출혈 등과 같은 수술 합병증으로 인한 재수술 받은 환자가 없기 때문에 장시간 경과 후 일측폐환기의 재시도시 발생하는 HPV 강화 효과를 확인할 수 없었다.

P군에서 일측폐환기 15분 후 측정된 동맥혈 산소분압은 222 mmHg로 동일군 내에서 수술 전 일측폐환기 10분 후 측정된 동맥혈 산소분압인 333 mmHg보다 낮았다. 이러한 결과는 일측폐환기 후 폐 허탈로 인한 저산소성 폐의 분율이 시간에 따라 다름을 시사한다. 일측폐환기 후 비환기되는 폐는 일차적으로 폐의 내재적 탄성 반동에 의해 초기 1-2분간 부분 허탈이 일어나고 그 후 남아 있는 가스의 혈액 흡수에 의해 추가적인 폐 허탈이 일어난다.¹³⁾ 흡입산소분율 1.0에서 저산소성 폐의 분율과 동맥혈 산소분압은 역비례하고 저산소성 폐의 분율이 30-70%일 때 HPV의 작용은 동맥혈 산소분압을 현저히 증가시킨다.¹⁴⁾ 본 연구에서는 일측폐환기 후 비환기되는 폐를 대기에 노출시켰으므로 잔존 가스의 혈액 흡수에 의한 폐 허탈을 위해서는 시간이 필요하였다. 따라서 5분의 시간 차이가 저산소성 폐 분율의 차이를 만들어 동맥혈 산소 분압의 차이를 보인 것으로 생각한다.

본 연구에서 수술 중 일측폐환기의 시작을 갈비사이근을 자르는 시점으로 정하였기 때문에 일측폐환기 15분 후에는

흉곽이 열렸고 비환기폐의 외과용 기구에 의한 외상을 피할 수 없었다. 따라서 비환기폐에 가해지는 외과적 조작의 영향을 완전히 배제할 수 없다. 동맥혈 산소화에 대한 외과적 조작의 영향은 물리적인 자극의 힘과 본성에 달려 있다. 비환기폐, 특히 혈관에 가해지는 수술적 압박과 견인은 비환기폐에 대한 혈류를 줄이고 폐절제시 폐혈관의 결찰은 혈류를 더 크게 감소시켜 동맥혈 산소화를 증가시킨다.^{14,15)} 본 연구에서도 절제되는 폐를 담당하는 폐동맥을 결찰한 후 두 군 모두에서 폐동맥 결찰 전보다 약간의 동맥혈 산소분압의 상승을 관찰할 수 있었다. 또한 외과적 조작은 prostaglandin이나 내피세포 이완인자를 국소적으로 방출시켜 HPV를 억제하는 상반된 효과를 나타낼 수도 있다.^{14,16)}

HPV 변화 정도를 측정하기 위해 폐동맥압, 심박출량, 두 폐의 혈류 분포 그리고 단락의 양 등을 측정하는 것이 이상적이나 본 연구에서는 동맥혈 산소 분압만을 측정하였다. 혈류 분포와 단락의 양을 측정하기 위해서는 불용성 혼합가스와 Swan-Ganz 카테터가 필요하나 폐절제술을 받는 환자에서 이것을 일상적으로 사용하지는 않는다. 저자들은 동맥혈 산소 분압이 HPV 강화 정도를 간접적으로 반영한다고 생각하였다. 이 사실은 일측폐환기시 동맥혈 산소분압 감소의 주요인이 비환기폐를 통한 탈산소화된 혈액의 폐단락이며 이러한 폐단락의 양은 HPV의 반응 정도와 중력에 의해 큰 영향을 받는다는 것으로 설명될 수 있다. 그러나 동맥혈 산소 분압의 감소는 부분적으로 환기폐에서의 환기-관류 불균형으로 인해 나타날 수 있다. 일측폐환기 동안 환기폐는 의존 부위에 있어 낮은 환기-관류 비나 무기폐를 가진 폐 영역이 발생할 수 있기 때문이다. 동맥혈 산소분압을 통한 간접적인 방법이 아닌 HPV를 직접 측정하는 방법은 일측폐환기시 발생하는 HPV에 대해 보다 유용한 정보를 줄 것으로 생각한다.

5% 이하의 저산소 가스로 일측폐환기를 시킨 후 HPV의 변화 정도를 관찰하는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 본 연구에서는 비환기되는 폐를 대기에 노출시켜 폐허탈을 유도하는 방법을 사용하였으므로 HPV의 발현 시기 및 변화 정도도 저산소 가스로 환기하는 방법과는 차이가 있을 것으로 사료된다. 그러나 HPV 변화 관찰을 위한 비의존폐의 저산소 가스 환기는 수술 조작을 어렵게 하여 임상에서 일측폐환기시 일상적으로 사용하지 않는다. 향후 비환기되는 폐를 대기에 노출시켜 폐허탈을 유도하는 방법에 의한 HPV의 다양한 임상적 접근이 요구된다. 본 연구 방법과는 달리 수술 전 일측폐환기를 시작하기 전에 100% 산소가 아닌 다른 산소 농도로 환기를 시행한다면 혼합 정맥혈 산소 분압의 증가로 인한 비의존폐의 HPV 억제 효과를 감소시킬 것으로 사료되어 향후 수술 중 일측폐환기시 HPV에 의한 동맥혈 산소분압도 본 연구 결과와 차이가 있을 것으로

사료된다. 또한 본 연구에서 사용된 10분 동안의 수술 전 일측폐환기는 HPV 반응을 극대화하지 못한 단점이 있다. 그러나 본 연구에서는 수술 진행을 방해하지 않으면서 수술 전 일측폐환기 시간만큼 수술 전 일측폐환기 후 양측폐환기를 절개 전에 시행해야 했으므로 10분의 수술 전 일측폐환기를 시행하였다. 만일 비의존폐의 허탈이 충분히 일어날 정도의 시간으로 수술 전 일측폐환기를 시행하여 HPV 반응을 극대화시킨다면 향후 수술 중 일측폐환기시 HPV에 의한 동맥혈 산소분압도 본 연구 결과와 차이가 있을 것으로 판단된다.

결론적으로 본 연구는 측와위에서 10분 동안의 절개 전 일측폐환기는 수술 중 개흉 상태의 일측폐환기시 HPV 강화 효과를 통한 저산소혈증의 빈도를 줄이지 못하고 또한 동맥혈 산소화를 향상시키지 못함을 보여준다. 그러므로 일측폐쇄를 받는 환자에서 동맥혈 저산소혈증을 방지하고 동맥혈 산소화를 향상시키는 방법으로 절개 전 10분 동안의 일측폐환기는 유용하지 않다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Park HP, Yoon MJ, Jeon YT, Kang JM, Hwang JW, Oh YS: Which predictable variables identify patients at risk of arterial hypoxemia during one-lung ventilation?: analysis of preoperative and intraoperative variables. *Korean J Anesthesiol* 2005; 49: 167-71.
2. Dunn PF: Physiology of the lateral decubitus position and one-lung ventilation. *Int Anesthesiol Clin* 2000; 38: 25-53.
3. Nagendran J, Stewart K, Hoskinson M, Archer SL: An anesthesiologist's guide to hypoxic pulmonary vasoconstriction: implications for managing single-lung anesthesia and atelectasis. *Curr Opin Anaesthesiol* 2006; 19: 34-43.
4. Dalibon N, Moutafis M, Liu N, Law-Koune JD, Monsel S, Fischler M: Treatment of hypoxemia during one-lung ventilation using intravenous almitrine. *Anesth Analg* 2004; 98: 590-4.
5. Benumof JL: Intermittent hypoxia increases lobar hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Anesthesiology* 1983; 58: 399-404.
6. Pirlo AF, Benumof JL, Trousdale FR: Potentiation of lobar hypoxic pulmonary vasoconstriction by intermittent hypoxia in dogs. *Anesthesiology* 1981; 55: 226-30.
7. Miller MA, Hales CA: Stability of alveolar hypoxic vasoconstriction with intermittent hypoxia. *J Appl Physiol* 1980; 49: 846-50.
8. Bindeslev L, Jolin A, Hedenstierna G, Baehrendtz S, Santesson J: Hypoxic pulmonary vasoconstriction in the human lung: effect of repeated hypoxic challenges during anesthesia. *Anesthesiology* 1985; 62: 621-5.
9. Bardoczky GI, Szegedi LL, d'Hollander AA, Moures JM, de Francquen P, Yernault JC: Two-lung and one-lung ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: the effects of position and FiO_2 . *Anesth Analg* 2000; 90: 35-41.
10. Hambræus-Jonzon K, Bindeslev L, Frostell C, Hedenstierna G: Individual lung blood flow during unilateral hypoxia: effects of inhaled nitric oxide. *Eur Respir J* 1998; 11: 565-70.
11. Carlsson AJ, Bindeslev L, Santesson J, Gottlieb I, Hedenstierna G: Hypoxic pulmonary vasoconstriction in the human lung: the effect of prolonged unilateral hypoxic challenge during anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 1985; 29: 346-51.
12. Dorrington KL, Clar C, Young JD, Jonas M, Tansley JG, Robbins PA: Time course of the human pulmonary vascular response to 8 hours of isocapnic hypoxia. *Am J Physiol* 1997; 273: H1126-34.
13. Pfitzner J, Peacock MJ, Harris RJ: Speed of collapse of the non-ventilated lung during single-lung ventilation for thoracoscopic surgery: the effect of transient increases in pleural pressure on the venting of gas from the non-ventilated lung. *Anaesthesia* 2001; 56: 940-6.
14. Benumof JL: *Anesthesia for thoracic surgery*. 2nd ed. Philadelphia, WB Saunders. 1995, pp 123-51.
15. Ishikawa S, Nakazawa K, Makita K: Progressive changes in arterial oxygenation during one-lung anaesthesia are related to the response to compression of the non-dependent lung. *Br J Anaesth* 2003; 90: 21-6.
16. Piper P, Vane J: The release of prostaglandins from lung and other tissues. *Ann NY Acad Sci* 1971; 180: 363-85.