대한마취과학회지 1998; 34: 1202~1207

일측 폐마취시 Phenylephrine이 저산소성 폐혈관수축과 동맥혈 산소화에 영향을 주는가?

연세대학교 의과대학 마취과, 심장혈관센터연구소
[1]노원 을지병원 마취과

김명옥[1] · 방서욱 · 곽영란 · 유은숙
남상범 · 홍용우 · 한동우

= Abstract =

Does Phenylephrine Affect Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction and Arterial Oxygenation during One Lung Ventilation?

Myoung-Ok Kim, M.D.[1], Seo-Ouk Bang, M.D., Young-Lan Kwak, M.D.
Eun-Sook Yoo, M.D., Sang-Bum Nam, M.D., Yong-Woo Hong, M.D.
and Dong-Woo Han, M.D.

Department of Anesthesiology, Yonsei Cardiovascular Center
and Research Institute, Yonsei University College of Medicine
[1]Department of Anesthesiology, Eulji General Hospital, Seoul, Korea

Background: Vasoconstricting drugs such as dopamine, phenylephrine(PE) and epinephrine constrict normoxic lung vessels preferentially, thereby disproportionately increasing normoxic lung pulmonary vascular resistance(PVR) and inhibit hypoxic pulmonary vasoconstriction(HPV). In this study, we evaluated the effect of PE on HPV and arterial oxygenation.

Methods: This study was performed on 21 patients undergoing thoracotomy. After induction of anesthesia, Swan-Ganz catheter was inserted. After one lung ventilation was started, systolic blood pressure(SBP) of the patient was reduced to 100 mmHg using inhalation anesthetic agent and then the blood pressure was raised up to 140 mmHg by PE infusion. Hemodynamic variables were measured and arterial blood gas was analyzed at the start of one lung ventilation(control), SBP of 100 mmHg and SBP of 140 mmHg.

Results: The mean dose of PE infused was 5.9±3.8 μg/kg. Infusion of PE did not increase pulmonary vascular resistant index(PVRI) significantly and did not reduce arterial PO2. There was no statistically significant difference in intrapulmonary shunt fraction(Qs/Qt) between the time of low and high blood pressures.

Conclusions: Pulmonary vasomotor changes induced by PE are minimal and so should not affect the distribution of blood flow during one lung ventilation. On the basis of this result, PE appears to a reasonable vasoconstrictor to be used in patients undergoing thoracotomy. **(Korean J Anesthesiol 1998; 34: 1202~1207)**

Key Words: Lung: hypoxic pulmonary vasoconstriction. Pharmacology: phenylephrine.

논문접수일 : 1997년 7월 27일
책임저자 : 김명옥, 서울시 노원구 하계 1동 280-1, 노원 을지병원 마취과, 우편번호: 139-231, Tel: 970-8086, Fax: 970-8350

서 론

여러 형태의 폐질환을 대상으로 흉곽수술을 시행하는 경우 한쪽 폐를 다른 쪽 폐로부터 분리, 즉 수술할 부위의 폐를 선택적으로 허탈시킴으로 용이하게 된다. 폐허탈에 대해 정상적인 폐혈관은 자발성 혹은 양압호흡에 관계없이 그리고 흉곽의 개폐에 상관없이 강력한 수축이 일어나 폐혈관저항이 증가되면 정상적으로 환기를 하는 폐로 혈류가 전환된다.[1,2] 비환기 무기폐에 공급되는 혈류의 정도는 저산소성 폐혈관수축(HPV) 외에 혈액자체의 무게에 의한 효과, 수술조작, 하측 폐의 술전 및 술중상태 등에 의해 영향을 받는다. 무기폐의 비율이 30~70%일 때 HPV 유무에 따라 동맥혈산소분압의 차이가 생기는데 HPV가 없다고 가정했을 때 션트(shunt)량이 심박출량의 40~50%정도 되는데 HPV가 있음으로 션트량이 심박출량의 20~25%로 급격히 감소하게 된다고 한다.

이러한 비환기 무기폐의 저산소성폐혈관수축에 영향을 미치는 여러 요인들이 있는데 대부분의 전신혈관확장제들은 폐혈관 수축을 억제하는 것으로 알려져 있으며 특히 nitroglycerine, nitroprusside,[3] dobutamine,[4,5] calcium antagonist 등에 대한 효과는 이미 잘 알려져 있다. 또한 dopamine,[6~8] epinephrine,[9] phenylephrine[13]과 같은 혈관수축제들은 정상산소상태의 폐혈관들을 수축시켜 무기폐의 혈류가 증가하게 되는데 이는 정상산소상태폐의 FiO_2를 낮추는 결과를 초래한다. 그러나 dopamine의 저산소성 폐혈관수축과 동맥혈산소화에 대한 효과는 동맥혈산소분압의 감소, 증가, 혹은 무변화등으로 다양하게 보고된 바 있다.[6~8] 폐질환 환자에서 이러한 혈관수축제의 사용으로 동맥혈산소화가 더욱 나빠질 수 있으므로[3] 이러한 약제의 선택시 신중한 고려를 요한다. 본 연구에서는 저혈량쇽으로 인한 혈압강하시 사용될 수 있는 phenylephrine이 HPV와 동맥혈산소화에 영향을 미치는가를 살펴보고자 하였다.

대상 및 방법

1) 대 상

전폐절제술과 폐엽절제술을 시행받는 21명의 환자를 대상으로 하였으며 심장질환이 있는 경우는 제외하였다. 환자들은 미국마취과학회 신체분류상 제 2급으로, 폐기능검사상 경미한 정도에서 중(中)증도까지의 폐쇄성 혹은 제한성 폐질환 양상을 보였다. 모든 환자는 수술전 방문을 통해 본 연구에 대한 동의를 받았으며 연구방법에 대해서는 본 병원 윤리위원회의 동의를 구하였다.

2) 방 법

수술실 도착 1시간 전에 Robinul 0.2 mg을 근주하였으며 수술실 도착후 심전도를 부착하여 Lead II를 지속적으로 감시하고 요골동맥을 천자하여 지속적으로 혈압을 감시하였다. 마취유도는 fentanyl 100 mcg, pentothal sodium 4~5 mg/kg, succinylcholine 1~1.5 mg/kg을 정주한 후 남자-37F, 35F, 여자-35F 이중관기관지튜브(Lt. bronchocath. Mallinckrodt)를 삽관하고 정확한 위치여부는 내관경자를 사용하여 청진을 통해 확인하였다. 마취유지는 O_2- enflurane으로 하였으며 근이완유지는 pancuronium 0.1 mg/kg의 정주로 하였다. 마취유도후 Swan-Ganz 카테터(7Fr.)를 우측내경정맥을 통해 삽입하여 폐동맥압 및 중심정맥압을 측정 관찰할 수 있도록 하였다. 동맥혈내 이산화탄소분압이 30~35 mmHg 내에서 유지되도록 환기관리를 하였으며 마취유도후 측와위를 취한 다음 개흉이 되지않은 상태에서 일측폐환기를 시작하였다. 흡입마취제를 수축기혈압이 100 mmHg될 때까지, phenylephrine(20 ug/cc)을 100 cc/hr의 속도로 수축기혈압 140 mmHg이 될 때까지 투여하였다. 일측폐환기후, 수축기혈압 100 및 140 mmHg이 된 후 5분뒤 혈역학적 변수들을 측정하고 동시에 동맥혈 및 혼합정맥혈 가스분석을 시행하였다. 심박출량은 온도희석법(thermodilution technique)을 이용하여 3번 반복측정후 평균하였으며 폐내 션트는 다음과 같이 구하였다.

션트:

$$Qs/Qt = \frac{Cc'O_2 - CaO_2}{Cc'O_2 - CvO_2}$$

Qs; 션트된 혈류량

Qt; 심박출량

$Cc'O_2$; 폐포모세혈내 산소함량

CaO_2; 동맥혈내 산소함량

CvO_2; 혼합정맥혈내 산소함량

또한 측정된 혈역학치를 이용하여 폐혈관저항계수 및 일회심박출계수를 계산하였다. 각각의 측정치는 mean±SD으로 표시하였으며 대조치와 수축기혈압 100 mmHg 및 140 mmHg에서의 혈역학 측정치 및 가스분석결과를 paired Student's t-test로 통계처리하여 p값이 0.05 미만일 때 통계학적인 의의가 있는 것으로 간주하였다.

결 과

대상환자의 평균 연령분포와 체중은 54±14세와 66.5±2.5 kg이었으며 투여된 phenylnephrine의 평균 용량은 5.9±3.8 mcg/kg이었다(Table 1).

Table 1. Demographic Data of the Patients

Sex ratio(M/F, No.)	16/15
Age(yrs)	54.2±14.2
Weight(kg)	66.5±25.1
BSA(m^2)	1.7±0.2

Values represent mean ± SD, BSA; body surface area

대조군과 수축기혈압 100, 140 mmHg일 때의 맥박은 각기 분당 85.6±15.5, 83.0±14.3, 82.5±13.0 회로 별 변화가 없었으며 이때의 평균동맥압은 각각 92.8±12.4, 75.9±5.4, 107.3±7.3 mmHg이었다. 심박출계수는 2.6±1.1, 2.8±1.1, 3.2±1.2 l/min/m^2, 평균폐동맥압은 20.8±4.3, 18.9±3.7, 23.8± 4.2 mmHg로 평균동맥압의 변화와 유사하게 각 군간에 의의있는 변화가 없었다. Phenylephrine을 투여하여 수축기혈압이 140 mmHg 될 때의 폐혈관저항계수는 195.0±104.1 dyne.s.cm^{-5}.m^{-2}로 대조군 221.3±138.5 dyne.s.cm^{-5}.m^{-2}에 비해 증가하지 않은 소견을 보였으며 흡입마취제 사용군과 phenylephrine 사용군간의 폐내 션트량도 모두 20%로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

동맥혈가스검사상 이산화탄소분압은 대조군과 phenylephrine군에서 35.0±5.7, 35.0±5.6 mmHg로 유사하였으며 산소분압도 각기 391.0±106.0, 361.3±142.7 mmHg로 phenylephrine의 투여로 인해 통계적으로 의의있는 동맥혈 산소분압의 심한 저하는 나타나지 않았다(Table 3).

Table 2. Effects of Phenylephrine on Hemodynamic Values

Variables	Control	SBP≤100 mmHg	SBP>140 mmHg
HR(beats/min)	85.6±15.5	83.0±14.3	82.5±13.0
MAP(mmHg)	92.8±12.4	75.9±5.4	107.3±7.3
CI(l/min/m^2)	2.6±1.1	2.8±1.1	3.2±1.2
MPAP(mmHg)	20.8±4.3	18.9±3.7	23.8±4.2
PCWP(mmHg)	14.6±4.3	13.0±3.4	17.3 ± 3.7
PVRI(dyne.s.cm^{-5}.m^{-2})	221.3±138.5	177.6±96.6	195.0±104.1
Qs/Qt	0.2±0.03	0.2±0.05	0.2±0.04

Values represent mean±SD, HR: heart rate, MAP: mean arterial pressure, CI: cardiac index, MPAP: mean pulmonary artery pressure, PCWP: pulmonary capillary wedge pressure, PVRI: pulmonary vascular resistance index

Table 3. Effects of Phenylephrine on Gas Exchange

Variables	Control	BP≤100 mmHg	BP >140 mmHg
PO_2(mmHg)	391.0±106.0	387.6±123.9	361.3±142.7
PCO_2(mmHg)	35.0±5.7	34.3±5.0	35.0±5.6

Values represent mean±SD

고 찰

이중관기관지튜브를 사용한 일측폐마취 방법은 수술하는 폐의 환기를 차단하여 수술시야를 좋게 함으로써 시술을 용이하게 하고 환측폐로부터 혈액이나, 분비물이 정상폐로 넘어오는 것을 방지할 수 있는 등의 장점이 있는 반면, 필연적으로 동반되는 환기관류 부적합과 폐내션트의 현저한 증가로 인한 저산소혈증 발현 위험이 높으며 심한 폐질환이 있는 환자에서의 일측폐마취시 동맥혈 산소 분압의 감소가 현저한데 이는 보상기전으로 일어나는 저산소성폐혈관수축의 감소에 의한다. 일반적으로 일측폐마취시 저산소성폐혈관수축은 동맥혈산소분압의 감소에 의해 자극되어 무기폐로의 혈류가 감소되어 저산소혈증을 방지한다고 알려져 있다.[1)]

HPV는 처음 Von Euler, Lilj gestrand에 의해 보고되었으며 후에 사람을 포함한 모든 포유류에서 일어남을 발견하였다. 과거 폐혈류 재분포를 알 수 있는 적절한 실험 모델이 없어 HPV의 효과에 대한 연구가 힘들었으나 Orchard등[6)]이 직접 폐동맥으로 소식자를 삽입하여 폐혈류를 지속적으로 감시하는 것이 가능하게 됨에 따라 dobutamine의 산소화에 대한 효과를 살펴본 결과 비환기폐로 폐혈류가 증가하여 동맥혈산소분압이 현저하게 떨어짐을 보고하였다.

또한 Marin등[8)]은 dopamine과 Isoprenaline의 HPV에 미치는 영향에 대해 연구한 바 dopamine 25 μg/kg/min, Isoprenaline 2.5 mcg/kg/min을 투여한 결과 HPV가 감소하여 동맥혈산소분압이 떨어졌다고 보고하였다. 이 연구에서는 심박출량 보다 조직 산소요구량이 증가되어 혼합 정맥혈 산소분압이 감소됨과 정상적으로 닫혀있던 양쪽 폐혈관들이 열려 환기관류 불균형을 초래하여 이러한 결과가 나타난 것으로 설명하였다. 환기가 잘 되지 않는 폐로의 혈류증가는 이러한 약물들에 의해 심박출량이 증가하면 폐혈관압력이 변화되거나 HPV가 감소됨에 의해서도 나타날 수 있다고 하였다. 폐혈류의 증가로 혈관압이 올라가면 폐혈관의 수동적 팽창에 의해 폐혈관저항이 증가한다고 하나 본 연구에서 사용한 phenylephrine의 폐혈관에 대한 직접적인 작용에 대해서는 잘 알려져 있지 않으며 dopamine 2.5 mcg/kg/min 용량에서는 HPV에 대한 영향이 적었던 것으로 보아 본 연구에서 사용되어진 PE이 HPV감소를 유발시킬 수 있는 적당한 용량이었나 하는 의문이 제기될 수 있다.

심한 천식환자에서 aminophylline 및 epinephrine 사용후 역설적으로 동맥혈산소분압이 더욱 떨어질 수 있다고 주장하는 몇몇 보고를 근거로 해 Hales와 Kazemi[9)]는 실제 동물실험을 통해 이를 입증하였다. 이 연구에서 사용한 epinephrine의 용량은 5 mcg/min 이었으며 저자들은 폐포내저산소증에 대한 폐혈관의 반응이 감소하여 동맥혈산소분압이 떨어졌다고 주장하였다. 일반적으로 epinephrine은 고립된 폐에서의 폐동맥수축을 일으키는 것으로 알려져 있는데 개와 사람에서는 epinephrine으로 인해 심박출량이 크게 증가하면 폐혈관이 이완, 폐혈관저항의 저하가 나타났으며 그외 다른 동물들에서는 심박출량의 증가에도 불구하고 폐혈관저항의 증가를 보였다고 한다.

또한 Philippe등[10)]의 폐혈관 긴장도에 대한 연구에서 dopamine, dobutamine 20 μg/kg/min용량에서 HPV가 별 변화가 없거나 감소를 보였으며 저자들은 catecholamine의 폐혈관에 대한 효과는 기존의 혈관긴장도에 따라 다르며 이는 저산소증이나 산혈증이 있으면 그 효과가 증대되어 나타난다고 하였다. 이에 반해서 Nomoto등[11)]은 dobuatmin이 동맥혈산소분압을 개선시키고 폐혈관의 큰 변화없이 폐내 션트의 감소를 일으킴을 증명해 보임으로써 일측폐환기시 유용한 약제임을 주장하였다.

본 연구에서 사용한 phenylephrine의 산소분압과 폐내션트에 대한 1994년 Tanaka등[12)]의 연구에서는 심한 저산소증과 폐내 션트의 변화가 나타나지 않았으며 이때 사용한 PE의 용량은 2 μg/kg였다. 본 연구에서 사용한 phenylephrine의 용량은 위 용량의 3배인 5.9 μg/kg로 일측폐환기시 동맥혈산소분압의 저하없이 보다 안전하게 사용할 수 있을 것으로 추론할 수 있다. 한편 Doering등[13]이 성인호흡부전증환자에게 phenylephrine과 nitric oxide(NO)를 함께 혹은 단독으로 투여하여 50% 환자에서 동맥혈산소분압이 증가하였다고 하였다. 이는 PE이 환기가 잘 되지 않는 부위의 HPV를 증가시키고 NO는 환기가 잘되는 부위의 혈관을 확장시키는 선택적인 약물작용에 의해 일어난다고 하였다. 또한 PE에 의해 전신혈관수축이 일어나 심박출량(CO)이 감소하면 혼합정맥혈산소분압이 떨어져 HPV를 자극하게 된다라고 하였다.

혈관작용약물에 의한 저산소혈증이 HPV 감소에

의한다라고 할 때에는 상당히 많은 부분의 폐가 무환기 상태여야 한다고 하지만 정상적인 폐에서도 저산소혈증이 나타날 수 있으며 혈관작용약물투여시 저산소증에 대한 폐혈류변화율에도 별 영향이 없는 것으로 알려져 있다. 따라서 전폐절제술과 폐엽절제술을 시행받은 각 군간의 동맥혈산소분압에도 차이가 없을 것으로 생각된다.[14]

HPV유발 외에 말초화학수용체 자극에 의해서도 폐동맥의 수축이 일어나므로 개실험에서 dopamine 투여시 동맥혈산소분압의 감소를 경동맥 화학수용체 활성도의 저하로도 설명할 수 있다고 하였다. 그러나 이러한 화학 수용체 반사의 영향은 사람에서는 적으므로 이것으로만 저산소증을 설명하기는 어렵다고 한다. 일부 저자들은 심박출량의 변화나 환기/관류 불균형에 의해서도 동맥혈 가스결과가 나빠질 수 있음을 얘기하고 있는데[15,16] 즉 혈관수축제 투여시 심박출량이나 혼합정맥혈 산소압과 같은 다른 변수들의 변화가 어떻게 폐산소화에 영향을 주는가에 대해 알아봄으로 간접적인 HPV의 영향을 알 수 있다고 하였다. 이를테면 PVO_2가 21~28 mmHg 범위에서 HPV가 유발되어 50% 혈류가 무기폐로부터 이동하며 PVO_2 100~140의 범위에서는 HPV가 소실된다고 하였다. 따라서 무기폐의 PVO_2를 측정함으로서 투여된 약물의 HPV에 대한 효과를 알 수 있기에 이의 비교결과 각 시기의 PVO_2 또한 별 변화없는 것으로 나타나 phenylephrine이 HPV에 영향을 미치지 않은 것으로 생각할 수 있다. 폐질환이 있는 경우라도 폐션트율과 심박출량의 변화양상은 비교적 잘 일치하나 일시적인 폐허탈에서 출혈성저혈압이 있는 경우에는 좌심방압이 떨어져 상대적으로 무기폐로 가는 혈류가 증가하게되어 폐션트율이 증가한다고 한다. 그러나 일반적으로 심박출량이 감소하더라도 폐션트율이 동시에 떨어지므로 동맥혈산소분압이 감소되지 않으며 심박출량이 증가하면 동맥혈 산소분압이 올라가는데 이는 산소소모량이 일정하다는 전제하에 심박출량이 저하되면 혼합정맥혈의 감소가 일어나는 이론에 근거한다. 본 연구에서 심박출량의 통계적으로 유의한 감소는 나타나지 않았으나 동맥혈산소분압변화의 결정인자로서 CO를 완전히 배제할 수는 없을 것 같다. 폐션트율의 변화도 거의 일어나지 않았으며 오히려 일측폐마취시 폐션트량이 CO의 20%로 나와 HPV이 거의 일어나지 않은 것으로 생각되어 PE에 의한 HPV의 영향을 판단하는 것은 정확하지 않을 수 있다.

실제 HPV에 영향을 미치거나 억제를 시키는 인자들로는 흡입마취제, 산염기상태, 체온, 폐동맥압 혹은 폐혈류량, 심박출량, 혼합정맥혈산소분압, 그 외 기계적 요소 등이 있는데 본 연구에서는 아직까지 HPV에 영향이 비교적 적은 것으로 알려져 있는 enflurane을 사용함으로써 이에 의한 HPV 감소를 배제하고자 하였다. 일측폐마취시 정맥마취제보다는 흡입마취제가 기관지확장효과가 있고 쉽게 적량할 수 있기 때문에 흔히 사용되어지고 있으며 halothane, enflurane보다는 isoflurane이 동맥혈산소분압이 높게 유지된다고 한다. 따라서 isoflurane의 흡입으로 심박출량이 증가하더라도 HPV가 억제되어 동맥혈산소분압이 감소된다는 사실을 입증하지 못하며[17] 본 연구에서 사용한 enflurane대신 isoflurane을 사용하면 동맥혈산소화가 더욱 개선될 수 있을 것으로 사료된다.

이렇게 혈관작용약물들의 동맥혈산소분압에 대한 효과가 다양하게 보고됨은 각 연구모델 및 실험용량의 차이에 기인할 것으로 생각되며 폐혈류재분포가 단순히 HPV의 저하로만 설명될 수 없기에 폐혈관압력의 변화를 직접 측정함으로 보다 정확한 자료의 평가가 가능할 것으로 사료된다. 그 외 교감신경계, 산 및 알카리증, 히스타민 분비, 혈관평활근 이온 조성의 변화와 같은 생리적 변수들의 HPV에 대한 영향이 본 연구에서 대상으로 한 사람마다 차이가 있었을 것으로 생각되기 때문에 정확한 실험결과를 얻기 위해서는 일정한 조건형성이 전제되어져야 하겠다.

본 연구에서는 사람에서 phenylephrine 투여가 동맥혈 산소 분압, 폐혈관저항계수, 폐내션트율을 현저하게 변화시키지 않음을 관찰하였으며, phenylephrine에 의한 폐혈관저항 긴장도 변화는 극히 미미하여 일측 폐환기시 혈류 분포에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다. HPV의 변화는 바로 션트율과 동맥혈 산소분압의 간접적인 변화로 나타나기 때문에 본 연구에서는 이의 측정을 통해 phenylephrine의 HPV에 대한 영향을 조사하였다.

참 고 문 헌

1. Pirlo AF, Benumof JL, Trousdale FR: Atelectatic lung

lobe blood flow: open vs closed chest, positive vs spontaneous ventilation. J Appl Physiol 1981; 50: 1022-6.
2. Benumof JL: One-lung ventilation and hypoxic pulmonary vasoconstriction: Indications for anesthetic management. Anesth Analg 1985: 64: 821-33.
3. Benumof JL: Hypoxic Pulmonary Vasoconstriction and Infusion of Sodium Nitroprusside infusion. Anesthesiology 1979; 50: 481-3.
4. McFarlane PA, Mortimer AJ, Ryder WA, Madgwick RG, Gardaz JP, Harrison BJ, et al: Effects of dopamine and dobutamine on the distribution of pulmonary blood flow during lobar ventilation hypoxia and lobar collapse in dogs. Eur J Clin Invest 1985: 15; 53-59.
5. Furman WR, Summer WR, Kennedy RP, Sylvester JP: Comparison of the effects dobutamine, dopamine and isoproterenol on hypoxic pulmonary vasoconstriction in the pig. Crit Care Med 1982; 10: 371-4.
6. Orchard CH, Leon RS, Sykes MK: The relationship between hypoxic pulmonary vasoconstriction and arterial oxygen tension in the intact dog. J Physiol 1983; 338: 61-74.
7. Mentzer RM, Alegre CA, Nolan SP: The effects of dopamine and isoproterenol on the pulmonary circulation. J Thorac Cardiovascular Surgery 1976; 71: 807-14.
8. Marin JLB, Orchard C, Chakrabarti MK, Sykes MK: Depression of hypoxic pulmonary vasoconstriction in the dog by dopamine and isoprenaline. Br J Anaesth 1979; 51: 303-12.
9. Hales CA, Kazemi H: Hypoxic vascular response of the lung: Effect of aminophylline and epinephrine. American Review of Respiratory Disease 1974; 110: 126-32.
10. Philippe L, Leeman M, Deloof T, Naeije R: Pulmonary hemodynamic response to dopamine and dobutamine in hyperoxic and in hypoxic dogs. Anesthesiology 1987; 66: 49-54.
11. Nomoto Y, Kawamura M: Pulmonary gas exchange effects by nitroglycerin, dopamine and dobutamine during one-lung ventriculation in man. Can J Anaesth 1989; 36: 273-7.
12. Tanaka M, Dohi S: The effects of ephedrine and phenylephrine on arterial partial pressure of oxygen during one-lung ventilation. Masui 1994; 43: 1124-9.
13. Doering EB, William Hanson C, Reily DJ, Marshall C, Marshall BE: Improvement in Oxygenation by Phenylephrine and Nitric Oxide in Patients with Adult Respiratory Distress Syndrome. Anesthesiology 1997; 87: 18-25.
14. Marshall BE, Marshall C, Benumof J, Saidman LJ: Hypoxic pulmonary vasoconstriction in dogs: Effects of lung segment size and oxygen tension. J Appl Physiol 1981; 51: 1543-51.
15. Smith G, Cheney FW, Winter PM: The effect of change in cardiac output on intrapulmonary shunting. Br J Anaesth 1974; 46: 337-42.
16. Domino KB, Wetstein L, Glasser SA, Lindgren L, Marshall C, Harken A, Marshall BE: Influence of mixed venous oxygen tension($P\bar{v}O_2$) or blood flow to atelectatic lung. Anesthesiology 1983; 59: 428-34.
17. Slinger P, Scott WAC: Arterial oxygenation during one-lung ventilation: A comparison of enflurane and isoflurane. Anesthesiology 1995; 82: 940-46.