일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증 발생을 예측할 수 있는 수술 전 및 수술 중 인자

분당서울대학교병원 마취통증의학과

박희평 · 윤미자 · 전영태 · 강종만 · 황정원 · 오용석

Which Predictable Variables Identify Patients at Risk of Arterial Hypoxemia during One-Lung Ventilation?: Analysis of Preoperative and Intraoperative Variables

Hee-Pyoung Park, M.D., Mi-Ja Yoon, M.D., Young-Tae Jeon, M.D., Jong-Man Kang, M.D., Jung-Won Hwang, M.D., and Yong-Seok Oh, M.D.

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

Background: Two hundred seventy-eight patients undergoing thoracic surgery were retrospectively analyzed to determine whether which variable can predict the identification of patients at risk of arterial hypoxemia developing during one-lung ventilation (OLV).

Methods: According to the value of SpO₂, the patients were divided two groups. Group L (n = 62) had SpO₂ values of less than 95%, whereas group H (n = 216) those of more than 95%. Preoperative and intraoperative data, including past medical history, current therapy, and usual preoperative and intraoperative tests, were collected and used as predictable variables for arterial hypoxemia during OLV by binary logistic regression (forward conditional method) subsequent to independent t-test and Chi-square test, as appropriate.

Results: Preoperative (past medical history with pulmonary resection of a lobectomy in dependent lung, hypertension, arrhythmias, and predicted diffusion capacity for carbon monoxide $\leq 70\%$) and intraoperative (arterial oxygen tension/inspiratory oxygen fraction during two-lung ventilation < 528 mmHg, right thoracotomy) variables were considered as predictable factors that identified patients at risk of arterial hypoxemia during OLV.

Conclusions: Caution to the increased risk of arterial hypoxemia during OLV is needed in patients that have aforementioned preoperative and intraoperative variables. (Korean J Anesthesiol 2005; 49: 167~71)

Key Words: arterial hypoxemia, one-lung ventilation, preoperative and intraoperative predictable variables.

서 론

일측폐환기 동안 동맥혈 산소화의 정도는 마취 의사의 주요한 관심사이다. 일측폐환기를 사용하여 수술 받는 환자의 9-27%에서 심한 동맥혈 저산소혈증이 발생한다.^{1,2)} 일측폐환기 동안 발생하는 동맥혈 저산소혈증은 주로 환기가 되는 않는 폐를 통한 탈산소화 혈액의 관류에 의한 폐단락에 의해 나타나며 이차적으로 환기가 되는 폐 내에서 발생하

는 환기-관류 불균형에 의해 나타난다. 어떤 환자에서 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증이 발생할 가능성이 높은지를 일측폐환기 전에 알 수 있다면 마취과 의사에게는 큰 도움이 될 것이다.

일반적으로 저산소성 폐혈관 수축(hypoxic pulmonary vasoconstriction: HPV), 폐 허탈 그리고 중력이 일측폐환기 동안 발생하는 동맥혈 저산소혈증을 개선하는 것으로 알려졌다.³⁾ 그러나, 일측폐환기 동안 동맥혈 산소 불포화를 초래할 수 있는 요인들에 대해서는 명확히 밝혀진 바가 없다. 허탈되는 폐에 대한 상대적인 관류량과 수술중 양측폐환기 동안 얻어진 동맥혈 산소 분압은 일측폐환기 동안 발생하는 동맥혈 산소 분압의 예측인자로 알려져 있다.⁴⁻⁶⁾ 일측폐환기의 편측 부위(오른쪽 또는 왼쪽), 술전 폐기능검사 결과는 예측인자로서 논란의 여지가 있다.^{4,7)} 그러나, 이러한 연구들은

논문접수일 : 2005년 4월 22일

책임저자 : 강종만, 경기도 성남시 분당구 구미동 300

분당서울대학교병원 마취통증의학과, 우편번호: 463-500

Tel: 031-787-7496, Fax: 031-787-4063

E-mail: beatcrazykang@hanmail.net

일측폐환기 동안 동맥혈 산소 분압에 영향을 주는 몇 가지 요인들에만 국한된 것이며 표본수 또한 적은 단점이 있다.

기존 논문들과는 달리,^{4,7)} 이 연구에서는 일측폐환기가 시행된 환자들을 대상으로 일측폐환기 도중 동맥혈 저산소혈증이 나타난 군과 나타나지 않은 군으로 나누어 비교하였으며, 표본수도 기존 논문들에서 보여주었던 표본수보다 많은 표본수를 확보하였다. 또한 일측폐환기를 시행받는 환자에서 술전 또는 수술중 시행하는 검사뿐만 아니라 폐 수술 기왕력, 고혈압과 당뇨 유무, 술전 헤모글로빈 등의 다양한 인자를 추가하여 이원성 로지스틱 회귀분석(binary logistic regression)을 통해 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증과 관련된 술전 및 술중 예측 인자가 무엇인지를 후향적 연구를 통해 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

2003년 7월부터 2004년 12월까지 본 병원에서 측와위 또는 반측와위(semilateral position)에서 일측폐환기가 시행되고 두 명의 흉부외과 집도의에 의해 수술을 받은 성인 환자 362명 중 환자들의 전자 의무기록지에 의해 얻어진 총 31가지의 술전 또는 술중 인자들을 만족하는 278명을 대상으로 하였다(Table 1). 이중기관지관류의 위치 이상이나 분비물 과다로 인하여 일측폐환기 동안에 동맥혈 저산소혈증이 발생한 환자 5명은 본 연구에서 제외되었다.

술전 인자로는 인구학적 자료(나이, 성별, 신장, 체중, 체

질량계수), 환자 병력 및 복용하고 있는 약물으로부터 얻은 자료(고혈압, 당뇨, 관상동맥 협착증, 각종 부정맥, 과거 폐 조직 절제술 등으로 인한 일측폐환기의 경험, 수술하는 반대편 폐조직의 절제 기왕력 유무), 혈액 검사(헤모글로빈, 혈액형, 동맥혈 가스 분석 자료), 폐기능 검사가 포함되었고 술중 인자에는 일측폐환기 시간, 일측폐환기 편측 부위, 일측폐환기를 위해 사용된 튜브 종류, 수술 처치 중 폐 절제의 유무, 양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 분율 등이 포함되었다.

마취유도는 propofol 2-2.5 mg/kg, fentanyl 1-1.5µg/kg (최대 용량 100µg) 또는 alfentanil 10-15µg/kg (최대 용량 1000µg)을 정주한 후 산소와 2-4 vol% 농도의 sevoflurane을 인공 환기하에서 투여하였으며 rocuronium 0.6 mg/kg 또는 vecuronium 0.1 mg/kg 투여 후 일측폐허탈을 위해 이중기관지관류 튜브나 Univent 튜브 또는 Forgaty 카테테르를 내재시킨 단일공 단순 튜브가 사용되었다. 마취 유지는 0.5-4 vol% 농도의 sevoflurane, 산소 1 L/min와 아산화질소 1 L/min 또는 의료용 공기 1 L/min를 이용하였으며 필요시 fentanyl 50-100µg 또는 alfentanil 250-1000µg이 간헐적으로 투여되었다. 인공호흡기는 일회호흡량 8-10 ml/kg로 설정되었고, 분당 호흡수는 8-14회로 동맥혈 이산화탄소 분압을 정상 범위 내에 유지되도록 조절하였다. 굴곡성 기관지경을 통해 양와위와 측와위에서 각각 튜브의 올바른 위치를 확인하였고 양측폐환기시 양와위에서 동맥혈 가스 분석을 실시하였다. 일측폐환기 동안에는 100% 산소를 사용하였고 인공호흡기는 일회호흡량 6-10 ml/kg로 설정하였으며 분당 호흡수는 8-16회로 동맥혈 이산화탄소 분압을 정상 범위 내에서 유지되도록 조절하였다. 환자들은 일측폐환기 후 최저로 떨어진 말초혈액 산소포화도(SpO₂ min) 값에 따라 두 군으로 나뉘어졌다. 저자들은 SpO₂ min 값이 95% 미만이면 group L로 정의하였고 95% 이상인 경우 group H으로 규정하였다. SpO₂ min 값이 95% 미만으로 감소시 이를 개선시키기 위해 우선 환기되는 폐에 호기말 기도양압을 적용하였고, 이 방법이 비효과적이면 허탈되는 폐에 지속적 기도양압을 적용하거나 일측폐환기를 포기하고 양측폐환기를 시도하였다.

모든 자료는 평균 ± 표준편차로 표시하였고 일차적으로 모든 연속 변수의 통계적 검증은 비종속성 t-검사를 사용하였고 범주 변수는 Chi-square 검사를 사용하였다. 모든 연속 변수 및 범주 변수(혈액형 제외: 4개의 범주화)를 두 개의 범주로 범주화한 후 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증과 관련된 술전 및 술중 예측 인자를 알기 위해 조건별 전진 방법을 이용한 이원성 로지스틱 회귀분석(binary logistic regression: forward conditional method)을 이용하였다. P < 0.05인 경우 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 인정하였고

Table 1. Demographic Characteristics of Patients Included in Univariate Analysis

	Group L (n = 62)	Group H (n = 216)	P value
Age (yrs)	58 ± 14	55 ± 16	0.266
Sex (m/f)	40/22	141/75	1.000
Height (cm)	163 ± 9	164 ± 8	0.516
Weight (kg)	65 ± 10	62 ± 9	0.023
Body mass index (kg/m ²)	24 ± 3	23 ± 3	0.002
Surgical procedures			0.697
Wedge resection or segmentectomy	18	63	
Lobectomy	21	85	
Bilobectomy	3	6	
Pneumonectomy	2	12	
Decortication	2	10	
Pleural and mediastinal	16	40	

Values are mean ± SD. Arterial hypoxemia (SpO₂ < 95) during one-lung ventilation is shown in Group L (SpO₂ less than 95%), not in Group H (SpO₂ greater than 95%).

사용된 통계 프로그램은 SPSS (version 11.0)이었다.

결 과

총 278명의 환자 중 62명(22%)의 환자에서 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증을 보였으며 SpO₂ min를 보인 평균 시간은 일측폐환기 시작 후 36 ± 30분이었고 SpO₂ min은 55명(89%)의 환자에서 일측폐환기 시작 30분 내에 일어났다.

일차적으로 시행한 비중속성 t-검사에서 체중과 체질량계수(body mass index, BMI)는 두 군간 유의한 차이가 있었다(Table 1). 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증과 연관있는 수술전 인자로는 폐 관류 검사상 허탈되는 폐 쪽으로 60% 이상의 관류가 있는 경우, 부정맥, 고혈압, 과거 폐 조직 절제

Table 2. Preoperative Variables Associated with Arterial Hypoxemia during One-Lung Ventilation Included in Univariate Analysis

	Group L (n = 62)	Group H (n = 216)	P value
Hemoglobin (mg/dl)	13.0 ± 2.0	13.2 ± 1.8	0.472
PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	372 ± 57	382 ± 57	0.226
Blood type: A/B/AB/O	18/22/9/13	91/57/18/50	0.138
FVC (L)	3.26 ± 0.89	3.33 ± 0.85	0.561
FVC (% predicted)	90 ± 18	90 ± 17	0.907
FEV1 (L)	2.36 ± 0.68	2.60 ± 2.04	0.363
FEV1 (% predicted)	89 ± 20	91 ± 19	0.638
FEV25-75 (L)	1.87 ± 0.99	2.10 ± 1.04	0.112
FEV25-75 (% predicted)	65 ± 27	70 ± 29	0.185
DLCO	17.5 ± 4.5	18.6 ± 5.8	0.137
DLCO (% predicted)	90 ± 20	95 ± 22	0.087
Relative perfusion to operative lung (%)	46 ± 18*	41 ± 12 [†]	0.223
The number of cases received above 60% perfusion to collapsed lung	5*	0 [†]	0.003
Arrhythmia (+/-)	7/55	7/209	0.018
Coronary artery disease (+/-)	3/59	7/209	0.698
Diabetes mellitus (+/-)	7/55	16/200	0.308
Hypertension (+/-)	12/50	17/199	0.016
Previous OLV (+/-)	11/51	13/203	0.008
Dep. lung resection history (+/-)	10/52	2/214	0.000

Values are mean ± SD. Arterial hypoxemia (SpO₂ < 95%) during one-lung ventilation is shown in Group L (SpO₂ less than 95%), not in Group H (SpO₂ greater than 95%). PaO₂: arterial oxygen tension, FiO₂: inspiratory oxygen fraction, FVC: forced vital capacity, FEV1: forced expiratory volume in 1 second, FEV25-75: forced expiratory volume between 25% and 75% of the FVC, DLCO: diffusion capacity for carbon monoxide, OLV: one-lung ventilation, Dep.: dependent, *: total n = 46, [†]: total n = 22.

술 등으로 인한 일측폐환기의 경험, 일측폐환기시 환기되는 폐의 과거 조직 절제술 기왕력 등이 있다(Table 2). 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증과 연관있는 수술중 인자로는 일측폐환기 편측 부위와 양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 비율이 있다(Table 3).

양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 비율, 일측폐환기시 환기되는 폐의 폐 조직 절제술(엽절제술)을

Table 3. Intraoperative Variables Associated with Arterial Hypoxemia during One-Lung Ventilation Included in Univariate Analysis

	Group L (n = 62)	Group H (n = 216)	P value
OLV time (min)	144 ± 76	141 ± 96	0.794
PaO ₂ /FiO ₂ during TLV (mmHg)	461 ± 153	550 ± 110	0.001
Surgical procedure: Pul. Resection (+/-)	47/15	176/40	0.366
Operation side (Rt/Lt)	46/16	116/100	0.005
Tube used for OLV			0.853
Left DLT	61	212	
Right DLT	1	2	
Univent tube		1	
Plain tube with forgaty catheter		1	

Values are mean ± SD. Arterial hypoxemia (SpO₂ < 95) during one-lung ventilation is shown in Group L (SpO₂ less than 95%), not in Group H (SpO₂ greater than 95%). OLV: one-lung ventilation, PaO₂: arterial oxygen tension, FiO₂: inspiratory oxygen fraction, TLV: two-lung ventilation, Pul.: pulmonary, DLT: double lumen tube.

Table 4. Predictable Variables Associated with Arterial Hypoxemia during One-Lung Ventilation

	P value	RR	95% lower CI for RR	95% upper CI for RR
PaO ₂ /FiO ₂ during TLV (< 528 mmHg : ≥ 528 mmHg)	0.000	3.8	1.9	7.6
Dep. lung resection history (+ : -)	0.001	17.5	3.3	92.7
Operation side (Rt : Lt)	0.007	2.7	1.3	5.4
Hypertension (+ : -)	0.009	3.4	1.4	8.6
DLCO (%predicted, ≤ 70% : > 70%)	0.025	2.8	1.1	6.9
Arrhythmia (+ : -)	0.044	3.8	1.0	14.0

PaO₂: arterial oxygen tension, FiO₂: inspiratory oxygen fraction, TLV: two-lung ventilation, Dep.: dependent, DLCO: diffusion capacity for carbon monoxide, RR: risk ratio, CI: confidence interval.

받은 과거 기왕력, 일측폐환기 편측 부위, 고혈압, 산소화산 능력, 부정맥은 조건별 전진 방법을 이용한 이원성 로지스틱 회귀분석 결과 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증과 의미있게 관련있는 술전 및 술중 예측 인자이었다($R^2 = 0.294$, Table 4).

고 찰

일측폐환기 동안 동맥혈 산소화의 정도는 마취과 의사의 주요한 관심사이며 어떤 환자가 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증이 발생할 가능성이 높은 지를 일측폐환기 전에 알 수 있다면 마취 의사에게는 큰 도움이 될 것이다. 본 연구를 통해 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증의 발생 비율이 22%이고 이는 일측폐환기를 시작한 후 처음 30분 이내에 대부분 나타나며 이에 대한 예측 인자로는 양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 분율, 일측폐환기시 환기되는 폐의 과거 조직 절제술 기왕력, 일측폐환기 편측 부위, 고혈압, 산소화산 능력, 부정맥 등이 있음을 알 수 있었다.

일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증의 예측 인자로서 본 연구에서 보여진 양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 분율의 중요성은 이미 다른 논문에서도 밝혀진 바 있다.^{4,6)} 본 연구에서는 양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 분율이 528 mmHg 미만일 경우 528 mmHg 이상 일 경우 보다 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증의 발생 위험율이 3.8배 증가함을 보이고 있다. 528 mmHg를 기준으로 한 이유는 이 값이 두 군의 양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 분율의 평균값이기 때문이다.

일측폐환기시 환기되는 폐의 과거 조직 절제술 기왕력은 본 논문에서 처음 소개되는 것이다. 폐암으로 엽절제술의 폐 조직 절제를 받은 기왕력이 있는 환자가 암세포의 반대편 폐 전이로 인해 췌기 절제술 또는 그 이상의 폐 절제술을 받는 경우는 일측폐환기시 환기되는 폐의 조직 절제가 없는 경우보다 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증의 위험률은 평균 17.5배나 높다. 일측폐환기시 환기되는 폐 실질 자체의 절대적인 부족은 체내 산소 요구량을 충족시킬 정도의 원활한 산소 공급을 제공하지 못하며, 또한 환기가 되는 않는 폐를 통한 탈산소화 혈액의 관류에 의한 폐단락과 함께 환기가 되는 폐 내에서 발생하는 환기-관류 불균형의 압도적 증가로 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증의 발생률이 증가한다.

일측폐환기 동안 수술하는 부위가 매우 중요하다. Slinger 등과⁶⁾ Lewis 등은⁸⁾ 좌측 폐가 우측 폐보다 관류되는 양이 10% 적어 일측폐환기시 폐단락을 감소시킴으로 좌측 폐 허탈시 우측 폐 허탈보다 동맥혈 저산소혈증의 발생률이 감소한다고 주장하였다. 본 연구에서도 좌측보다 우측 폐가

허탈될 경우 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증의 위험률이 2.7배 증가함을 보이고 있다. 그러나 본 연구에서도 앞선 다른 연구들과 마찬가지로 모든 환자들에게 폐 관류 검사를 시행하지 않았다. 본 병원 흉부 외과에서는 폐절제술을 받는 모든 환자와 한 엽 이상의 폐엽절제술을 받는 환자 중 FEV1이 70% 이하인 환자만을 대상으로 폐 관류 검사를 시행한다. 따라서 본 연구에 참여한 총 278명의 환자 중 68명만이 폐 관류 검사를 시행하였고 이 중 22명이 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증을 보였다. 폐 관류 검사를 시행한 68명 중 17명만이 환기되는 폐 보다 허탈되는 폐 쪽으로 관류되는 혈액량이 많았으며 이 중 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증을 보인 환자는 8명이었다. 이 8명의 환자 중 허탈되는 폐 쪽으로의 관류량이 60% 이상인 환자 5명(우측 폐 3명, 좌측 폐 2명) 모두는 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증을 보였다. 이러한 연구 결과들은 일측폐환기시 허탈되는 폐에 대한 상대적 관류량 또한 일측폐환기시 발생하는 동맥혈 저산소혈증과 밀접한 관계가 있음을 시사하는 것이나 향후 보다 많은 표본수를 가진 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

확산 장애는 폐섬유화증, 폐기종, 만성 기관지염, 폐결핵 등 폐실질의 이상이 있는 경우 동맥혈 저산소혈증의 원인이 된다.⁹⁾ 본 연구는 70% 이하의 산소 확산 능력을 가진 환자는 그 이상을 가진 환자 보다 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증의 발생 위험율이 2.8배 증가함을 보이고 있다. 이러한 현상은 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증의 발생에 산소 확산 능력이 또 하나의 중요한 인자임을 제시하고 있는 것이다.

고혈압이나 부정맥이 있는 환자에서 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증의 발생 위험율이 증가함을 본 연구 결과는 보이고 있다. 그러나 이에 대한 원인과 기전을 명확히 설명하기는 어렵고 고혈압이나 부정맥을 가진 환자의 표본수가 너무 적은 단점이 있어 저자들은 고혈압과 부정맥이 일측폐환기시 동맥혈 저산소혈증의 발생 위험율과 연관 있는지를 알아보기 위해 향후 보다 많은 표본 수를 가진 연구가 필요하리라 생각된다.

일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증에 대한 정의는 모호하다. 일측폐환기시 적절한 최저 동맥혈 산소 분압은 50-80 mmHg로 알려져 있다.^{10,11)} 다른 연구에서는 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증에 대한 정의를 동맥혈 산소 분압 60 mmHg 이하나 말초혈액 산소포화도 85% 이하로 규정하였으나^{4,6)} 본 연구에서는 말초혈액 산소포화도 95% 미만으로 규정하였다. 이는 본 병원에서는 환자의 안전을 위해 말초혈액 산소포화도가 95% 미만으로 감소하면 우선 환기되는 폐에 호기말 기도양압을 적용하고, 이 방법이 비효과적 이면 허탈되는 폐에 지속적 기도양압을 적용하거나 일측폐환기를 포기하고 양측폐환기를 시도하는 방침에 따른 것이

다. 또한 한 연구는 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증을 동맥혈 산소 분압 75 mmHg 미만으로 규정하였다.⁵⁾ 정상인에서 산소포화도와 동맥혈 산소 분압의 곡선상 말초혈액 산소포화도 95%는 동맥혈 산소 분압 75 mmHg 미만에 해당되므로 본 연구에서 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증으로 정의한 말초혈액 산소포화도 95% 미만은 일정 정도 타당하리라 생각된다.

일측폐환기 동안 나타나는 동맥혈 저산소혈증은 그 발현 시기가 일측폐환기 초기이다. 일측폐환기 동안 시간에 따른 동맥혈 산소 분압의 변화를 밝힌 한 논문에서 일측폐환기후 동맥혈 산소 분압은 급격히 감소하여 27분에 최저치를 보이다가 그 시간 이후로는 서서히 증가하여 85분에 최고치에 다다른다.¹²⁾ 본 연구에서도 일측폐환기 후 말초혈액 산소포화도의 최저치는 평균 36분에 일어났으며 대부분의 환자에서 일측폐환기 시작 30분 내에 일어났다. 이러한 현상은 향후 일측폐환기 동안 동맥혈 저산소혈증을 예방하기 위한 일련의 방법들은 일측폐환기 초기에 작용하여야 함을 보여주고 있다.

결론적으로 양측폐환기시 얻어진 동맥혈 산소 분압/흡입 산소 분율이 528 mmHg 미만이고 산소화능력이 70% 이하로 감소되고 수술 부위가 우측이면서 고혈압, 부정맥, 일측폐환기시 환기되는 폐의 과거 조직 절제술 기왕력이 있는 경우 일측폐환기 초기에 동맥혈 저산소혈증이 나타날 가능성이 높으므로 해당되는 환자의 일측폐환기 마취시 주의를 요한다.

참 고 문 헌

1. Barker SJ, Clarke C, Trivedi N, Hyatt J, Fynes M, Roessler P:

- Anesthesia for thoracoscopic laser ablation of bullous emphysema. *Anesthesiology* 1993; 78: 44-50.
2. Hurford WE, Alfille PH: A quality improvement study of the placement and complications of double-lumen endobronchial tubes. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1993; 7: 517-20.
3. Cohen E: Physiology of the lateral position and one-lung ventilation. *Chest Surg Clin N Am* 1997; 7: 753-71.
4. Guenoun T, Journois D, Silleran-Chassany J, Frappier J, D'attellis N, Salem A, et al: Prediction of arterial oxygen tension during one-lung ventilation: analysis of preoperative and intraoperative variables. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16: 199-203.
5. Hurford WE, Kolker AC, Strauss HW: The use of ventilation/perfusion lung scans to predict oxygenation during one-lung anesthesia. *Anesthesiology* 1987; 67: 841-4.
6. Slinger P, Suissa S, Triolet W: Predicting arterial oxygenation during one-lung anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992; 39: 1030-5.
7. Vassiliadis M, Barbetakis N: The effect of right and left lateral position on PA-aO₂ and PA-ETCO₂ in thoracic surgery. *Can J Anaesth* 2003; 50: 863-4.
8. Lewis JW Jr, Serwin JP, Gabriel FS, Bastanfar M, Jacobsen G: The utility of a double-lumen tube for one-lung ventilation in a variety of noncardiac thoracic surgical procedures. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1992; 6: 705-10.
9. Kim SD: Pediatric respiratory care. 1st ed. Seoul, Koonja Publishing Inc. 1995, pp 43-4.
10. Read RC, Friday CD, Eason CN: Prospective study of the Robertshaw endobronchial catheter in thoracic surgery. *Ann Thorac Surg* 1977; 24: 156-61.
11. Kerr JH, Smith AC, Prys-Roberts C, Meloche R, Foex P: Observations during endobronchial anaesthesia. II. Oxygenation. *Br J Anaesth* 1974; 46: 84-92.
12. Ishikawa S: Oxygenation may improve with time during one-lung ventilation. *Anesth Analg* 1999; 89: 258-9.