

좌·우 션트를 동반한 선천성 심장질환아에서 교정수술후 폐유순도의 변화

연세대학교 및 ¹아주대학교 의과대학 마취과학교실

유은숙¹ · 곽영란 · 남상범 · 김재형
최승호 · 한상건¹ · 방서욱

= Abstract =

Changes of Lung Compliance in Pediatric Patients after Surgical Correction of Left to Right Shunt

Eun Sook Yoo, M.D.¹, Young Lan Kwak, M.D., Sang Beom Nam, M.D.
Jaehyung Kim, M.D., Seung Ho Choi, M.D., Sang Gun Han, M.D.¹
and Seo Ouk Bang, M.D.

Department of Anesthesiology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

¹Department of Anesthesiology, Ajou University College of Medicine, Suwon, Korea

Background: Low values of lung compliance have been reported in patients with increased pulmonary blood flow due to intracardiac left to right(L-R) shunt. The compliance had returned to within normal limits 4 to 6 weeks after surgical correction of the shunt. We investigated whether lung compliance was improved immediately after surgical correction of the shunt.

Methods: Fifty four pediatric patients who were undergoing repair of intracardiac L-R shunt were evaluated. Lung compliance, arterial oxygen tension(PaO_2) and arterial to end-tidal carbon dioxide tension difference($\text{Pa}_{\text{ET}}\text{CO}_2$) were measured after induction of anesthesia and at the completion of surgery. Left atrial pressure(LAP) was monitored. Lung compliance and end-tidal carbon dioxide tension were measured by monitoring system built in Cato anesthetic ventilator system.

Results: Lung compliance was significantly lower after surgery($6.57 \pm 6.46 \text{ ml/mbar}$) than after induction of anesthesia($7.71 \pm 7.18 \text{ ml/mbar}$). After surgery, PaO_2 was significantly decreased and $\text{Pa}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ significantly increased than after induction of anesthesia. The decrease in lung compliance after surgery significantly correlated with a decrease in PaO_2 ($r=0.43$) and an increase in $\text{Pa}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ ($r=0.47$) but not correlated with LAP.

Conclusions: Although surgical correction of intracardiac L-R shunt reduces pulmonary blood flow, the lung compliance decreases in immediate postoperative period. Therefore a deterioration of post-operative lung compliance may need judicious management for pulmonary and hemodynamic instability. (Korean J Anesthesiol 1998; 35: 315~320)

Key Words: Anesthesia: cardiac; pediatric. Lung: compliance.

논문접수일 : 1998년 3월 27일

책임저자 : 유은숙, 경기도 수원시 팔달구 원천동 산 5번지, 아주대학교 의과대학 마취과학교실, 우편번호: 442-749,
Tel: 0331-219-5576, Fax: 0331-219-5579

서 론

빠르고 얇은 호흡과 늑간수축은 심실증격결손과 같은 큰 좌-우 센트(left to right shunt)가 있는 유아에서 보이는 특징이며 이것은 폐혈관의 확대에 의한 폐유순도(lung compliance)의 감소에 의한다. 이처럼 심장내 좌-우 센트로 인하여 폐혈류가 증가되는 선천성 심장질환을 가진 환아에서는 폐유순도가 감소하고 가스 교환에 장애가 생기는 것으로 알려져 있고 이러한 폐유순도의 감소는 좌-우 센트의 교정 수술 후 한 달 이후에는 정상으로 돌아온다고 한다.¹⁾ 그러나 좌-우 센트의 교정수술 직후에는 폐혈류가 정상이 되는데 이에 따른 폐유순도의 변화가 있는지에 대한 연구보고는 많지 않다.

심폐우회로술후에는 저체온과 체액 불균형의 영향으로 폐기능 저하가 나타날 수 있는데 폐용적 감소, 사강환기 증가, 호기 유량(expiratory flow rate) 감소, 가스교환 장애 및 폐유순도 감소 등이 나타난다. 이런 변화는 특히 수술전에 환기(ventilation)에 문제가 있었던 경우에 더욱 심할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 심장내 좌-우 센트의 교정 수술을 받는 환아에서 수술후 초기에 폐유순도 및 가스교환의 변화를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

본원 심장혈관센터에서 선천성 심장기형으로 개 심술을 시행 받는 체중 20 kg 미만의 소아 중에서 심장내 좌-우 센트 교정 수술을 받은 54명의 환아를 대상으로 하였다. 대상 환아 부모의 동의하에 전향적으로 연구를 시행하였다. 환아의 demographic data는 Table 1과 같다.

모든 환아는 전처치 없이 수술방에 도착하여

Table 1. Demographic Data

Age(months)	12.2 ± 16.4
Sex(M/F)	26/28
Weight(kg)	9.9 ± 9.5
Height(cm)	71.1 ± 23.2

Values are mean \pm SD except sex. M; male, F; female

ketamine 2 mg/kg을 정맥주사후 100% 산소 마스크 하에서 vecuronium 0.15~0.2 mg/kg과 fentanyl 3~5 mcg/kg을 정맥주사하고 ketamine 5~10 mg/kg과 atropine 0.25~0.5mg을 근육주사하여 마취를 유도하였으며 기관내 삽관후 흡입 산소 분율 0.6, 호흡수 15~25회/분, 일회 호흡량 10~15 ml/kg으로 조절호흡을 하였다. 마취유지는 ketamine을 1 mg/kg/hr로 점적주입하였으며 소량의 fentanyl과 흡입마취제를 이용하였다. 마취유도 직후 요골동맥과 대퇴동맥삽관을 시행하여 동맥혈압을 감시하였고 우측 내경정맥으로 카테테르를 삽입하여 중심정맥압을 감시하였다. 체외순환후에는 좌심방으로 카테테르를 삽입하여 좌심방압을 감시하였다. 마취유도후와 수술후(흉골 통합후)에 각각 폐유순도, 동맥혈 산소분압(PaO_2), 동맥혈 이산화탄소분압($PaCO_2$), 호기말 이산화탄소 분압($P_{ET}CO_2$), 동맥혈-호기말 이산화탄소 분압차($Pa_{ET}CO_2$)를 측정하였다. 폐유순도와 호기말 이산화탄소 분압은 Cato anesthetic ventilator system (Drägerwerk Aktiengesellschaft, Germany)에 부착된 감시장치를 이용하였다. 각 측정치의 비교는 Student's t-test로 상관관계는 단순회귀분석법을 이용하였고 $p < 0.05$ 일 때 통계학적으로 유의한 것으로 간주하였다.

결 과

심실증격결손을 가진 환아가 43명, 심방증격결손과 심방증격결손을 같이가진 환아가 11명이었다. 수술전 심도관법으로 측정된 좌-우센트(Qp/Qs)는 2.6 ± 1.2 였고 평균 폐동맥압은 33.4 ± 17.1 mmHg 이었다. 수술후에 측정한 폐유순도(6.57 ± 6.46 ml/mbar)는 마취유도후의 폐유순도(7.71 ± 7.18 ml/mbar)에 비해서 통계적으로 유의하게 낮았다(Fig. 1). 수술후에는 마취유도후 보다 동맥혈-호기말 이산화탄소 분압차는 증가하고 동맥혈 산소분압치는 감소하였다(Table 2). 이러한 수술후 폐유순도의 감소는 동맥혈-호기말 이산화탄소 분압차의 증가($r=0.47$)와 상관관계를 보였고(Fig. 2) 동맥혈 산소분압치의 감소($r=0.43$)와도 상관관계를 보였으나(Fig. 3) 좌심방압과는 상관관계가 없었다(Fig. 4).

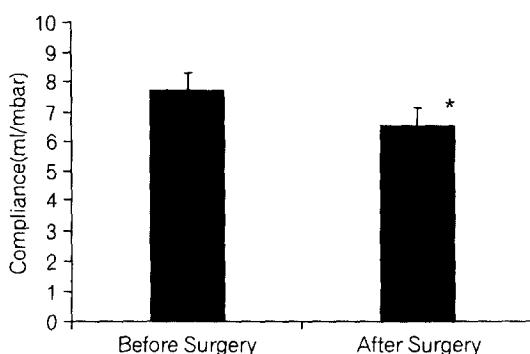


Fig. 1. Lung compliance before and after surgery. The asterisk(*) denote significant decrease in compliance after surgery($p < 0.05$).

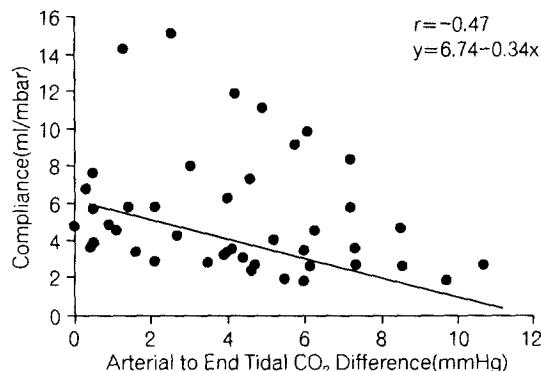


Fig. 2. Correlation between arterial to end-tidal carbon dioxide difference and lung compliance.

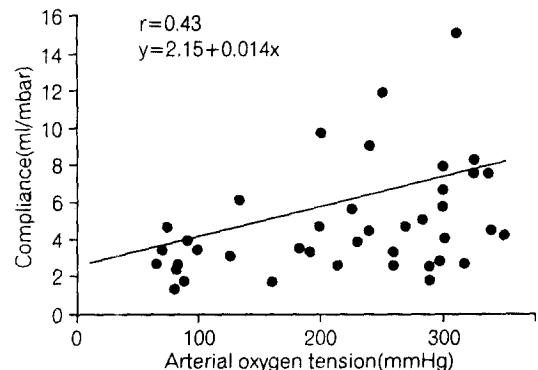


Fig. 3. Correlation between arterial oxygen tension and lung compliance.

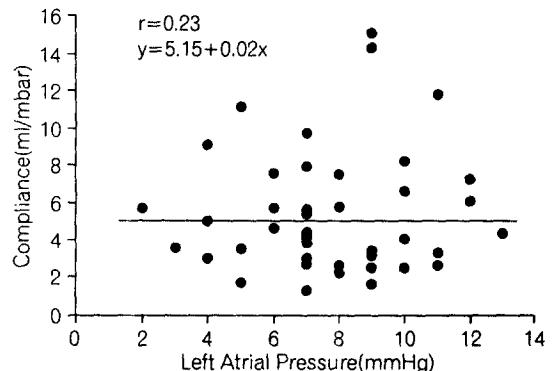


Fig. 4. Correlation between left atrial pressure and lung compliance.

Table 2. Arterial Oxygen Tension and Arterial to End-tidal Carbon Dioxide Tension Difference

	Before surgery	After surgery
PaO ₂ (mmHg)	324.3 ± 120.8	$259.6 \pm 132.4^*$
Pa-EtCO ₂ (mmHg)	0.4 ± 4.6	$3.8 \pm 3.4^*$

Values are mean \pm SD. PaO₂; arterial oxygen tension, Pa-EtCO₂; arterial to end-tidal carbon dioxide tension difference * $p < 0.05$ between measurements before and after surgery.

고 찰

심장내 좌-우 혈류를 가진 선천성 심장질환 환자에서 폐유순도가 감소된다는 여러 보고가^{2,3)} 있는데

그 기전은 분명치 않으나 혈역학적 요인들이 폐역학(pulmonary mechanics)적 성질에 영향을 준다고 한다. Bancalari 등은⁴⁾ 폐혈류가 감소된 질환을 가진 환아(8.9 ml/cmH₂O) 보다 폐혈류가 증가된 질환을 가진 환아(4.9 ml/cmH₂O)에서 폐유순도가 의의있게 감소되어 있다고 하였다. 폐혈류 증가 자체가 폐유순도 감소와 관계가 있다는 보고들^{5,6)}도 있으나 다른 연구에서는 폐혈류의 증가만 있거나 폐동맥압 증가만 있는 경우는 폐유순도 변화와 관계가 없고 폐동맥압과 폐혈류가 동시에 증가하면 폐유순도 감소와 관계가 있다고 하였다.^{1,7)} Bancalari 등은⁴⁾ 폐혈류량이 증가된 질환을 가진 환아에서 폐유순도 감소는 평균 폐동맥압($r=0.798$)과 의의 있는 상관관계를 보였으나 폐유순도와 심장내 좌-우 혈류의 정도와는 상관관계를 보이지 않았다고 하였다. 또한 폐

혈류량이 증가하였으나 폐동맥압은 정상인 환아에서는 정상 폐유순도를 보임으로써 심장내 좌-우 선트를 가진 환자의 폐유순도에 영향을 미치는 요인은 폐혈류량이 아니라 폐동맥압이라고 하였다.

폐혈관압의 증가가 폐역학적 성질을 변화시키는 기전은 단지 이론적으로만 추측할 수 있는데 폐동맥 고혈압이 있을 때 폐포 각각의 팽창에 저항을 주는 요인으로 혈관문제가 기여한다고 볼 수 있다. 폐동맥압의 증가는 폐혈관계 벽에 장력을 증가시키며 이렇게 경직된 혈관이 폐의 팽창을 방해해서 폐유순도가 감소하게 되는 것으로 생각할 수 있다. 똑같은 기전으로 정상 신생아는 출생후 감소된 폐유순도와 높은 폐동맥압을 보이는데 시간이 지남에 따라 폐동맥압의 감소와 함께 폐유순도가 증가됨을 관찰 할 수 있다. 반면에 Eisenmenger 증후군이나 폐혈전색전증과 같이 폐포보다 근위부 혈관에 병변이 있는 경우에는 폐포혈관이 확장되거나 장력이 증가될 필요가 없으므로 폐유순도가 정상이 될 수 있다. 또한 폐혈관저항의 증가에 의해 폐동맥압이 증가된 경우에도 똑같은 효과를 나타낼수 있으며 Bancalari 등은⁴⁾ 폐혈류가 증가된 심장질환에서 폐저항증가와 폐유순도 감소가 관련이 있다고 하였다.

폐유순도는 폐의 탄성(elastic recoil)의 지표이지만 폐의 탄성외에 다른 요인에 의해서도 영향을 받는데 그 하나가 폐의 크기이다. 예를 들어 guinea pig의 폐는 평균 폐유순도가 인간 어른의 1000분의 1 인데 크기의 차이를 교정해서 보면 체중 그림당 폐유순도는 거의 같다.⁵⁾ 심장질환시에는 폐의 유효 크기가 감소하여 폐유순도가 감소하고 폐의 탄성요소의 질적 변화도 생길수 있다. 예를 들어 폐포 가스가 수분에 의해 부분적 혹은 완전한 허탈이 되거나 대치되면 폐의 유효 크기는 줄게된다. 그런 허탈은 심장비대, 흉막유출 혹은 횡격막 상승 등에 의해서도 생길 수 있다.³⁾ 만성 폐동맥 고혈압에서는 간질부종과 함께 폐 세동맥, 폐포 모세혈관막의 구조적 변화가 보고되고 있는데 이런 변화는 폐조직의 탄성단위의 질에 영향을 주는 요인으로서 탄성행위(elastic behavior)를 변화시켜서 조직의 탄성 변화로 인해 폐의 유효 크기를 변화시킬 수 있다.

확장된 폐동맥은 좌상엽이나 우중엽 기관지의 압박을 가져올 수 있는데 확장된 폐혈관에 의한 기도의 외부적 압박 혹은 기관지벽의 충혈도 폐유순도

감소의 한 원인이 될 수 있다. Hordof 등은⁹⁾ 심실증 격결손을 가진 유아는 폐유순도의 감소와 함께 폐쇄성 폐질환의 양상도 보이며 수술중 폐생검에 의해 얻은 형태적 변화를 보면 현저한 평활근 비후와 폐포관과 호흡기관세지의 구경감소를 보였다고 한다. 이러한 기도폐쇄는 확장된 폐동맥 혹은 심장에 의한 압박이나 기관지 주위에 수분축적에 의한 소기도 저항의 증가 때문이다. 기도 폐쇄가 있어 기도 저항이 불균등하게 분포하면 폐유순도는 호흡수에 따라 달라지는데 호흡이 충분히 느리면 좁아진 기도의 원위부에 가스가 들어왔다가 나갈 시간이 충분하지만 호흡이 빨라지면 기도를 통과하는 전체 가스 유량은 점점 감소하게되어 폐의 유효 크기도 감소하고 폐유순도도 감소한다. 심장질환이 있고 어떤 이유로든 기도가 좁아져 있거나 폐부종이 심해져서 기도의 부분적 폐쇄가 있으면 폐유순도의 호흡수에 대한 의존에 영향을 줄 수 있다.

Davies 등은¹⁾ 심장내 좌-우 선트를 가진 선천성 심장질환 환아에서 폐유순도가 감소하지만 교정수술 후 한달 이후에는 정상으로 돌아온다고 하였다. 그러나 수술 후 초기의 폐유순도 변화를 보고한 연구는 많지 않은데 Haughton 은¹⁰⁾ 심실증격결손을 가진 환자에서 수술 후(0.102 L/cmH₂O) 폐유순도가 수술 전(0.173 L/cmH₂O)보다 감소하였다고 하였다. 그러나 Yates 등은¹¹⁾ 폐혈류가 증가된 선천성 심장질환 환아에서 흉골봉합후에 측정한 폐유순도는 마취유도후보다 감소하였으나 유의한 차이는 없었다고 하였다. 본 연구에서는 수술 후에 측정한 폐유순도가 수술전 보다 더욱 감소하였다. 이는 심장내 좌-우 선트를 막아주는 수술을 하면 폐혈류량은 정상이 된다 해도 수술 후 초기에는 폐동맥압이나 폐혈관저항은 아직 증가된 상태로¹²⁾ 있고 여기에 심폐우회로술 후의 폐기능 변화등이 영향을 주었다고 생각된다.

심폐우회로술은 폐기능의 변화를 동반하는데 폐유순도의 감소, 기능적 잔기용량의 감소와 폐포-동맥혈간 산소분압차 증가등으로 나타난다.¹³⁾ 그 원인으로는 표면활성제 감소, 무기폐, 폐간질성 부종의 증가, 내피손상, 백혈구 응집, 저체온 등이 있다. 또한 개심술 후에는 수술후 3시간까지 폐혈관저항이 의미있게 증가한다고¹⁴⁾ 하며 보체 활성화, 폐내 호중구 격절(intrapulmonary neutrophil sequestration)이

동반된 폐손상과 체외순환시 가스와 혈액이 닿는 면에서 혈액의 손상에 의해 증가된 폐혈관저항이 생기며 심폐우회로술후 폐혈관외 수분축적도 수술 후 폐혈관저항 증가의 한 요인이 될 수 있다고 하였다.

Vincent 등은¹⁵⁾ 심장수술직후 폐혈관외 수분을 측정하였는데 수술전에 폐동맥혈류가 증가 되었거나 심부전이 있었던 환자에서는 폐혈관외 수분이 정상 보다 3배나 증가되어 있었다. 폐혈관외 수분과 수술 후 좌심방압, 체외순환시간, 수술 후 혈장단백질치, 헤마토크리트치 혹은 심박출지수와 상관관계는 없었다. 따라서 수술후 초기의 폐혈관외 수분은 수술중의 관리(management)보다는 수술전의 병리생리학적 특성, 예를 들면 심장내 좌-우 션트에 의한 폐혈류 증가를 가진 환자에서는 정상 좌심방압에서도 폐혈관외 수분이 증가하며 체외순환 자체가 폐혈관외 수분을 증가 시키지는 않는다고 하였다.

Phelan 등은⁷⁾ 폐동맥압 증가와 폐혈류량 증가는 폐유순도 감소와 관계가 있는데 기전은 잘 모르지만 좌심방압의 증가가 관계가 있다고 하였다. 실험동물에서는¹⁶⁾ 좌심방압의 증가나 폐정맥압의 증가가 폐유순도를 감소시킨다고 하였고 사람에서는 상관관계가 있다¹⁰⁾ 혹은 없다는⁴⁾ 상반된 보고가 있는데 후자에서는 심부전이 있는 경우를 제외하여 낮은 좌심방압을 보였기 때문으로 생각 된다. 본 연구에서는 수술 후 폐유순도와 좌심방압은 상관관계를 보이지 않았는데 심부전이 있는 경우를 제외하지는 않았지만 대부분 10 mmHg 이하의 낮은 좌심방압을 보인 것이 일부 원인이 될 수 있다고 본다.

심실증격결손과 같은 좌-우 션트를 가진 환자에서 수술전 동맥혈-호기말 이산화탄소 분압차는 거의 없으며 교정수술후에는 증가한다.¹⁷⁾ 이는 심폐우회로술후 폐혈류량의 감소와 폐동맥 톤의 감작스런 변화에 의한 결과일 것으로 생각하는데 수술후에는 폐혈류량과 폐동맥 및 세동맥의 충만(filling)이 줄어들지만 그 결과로 폐동맥 벽의 장력과 비후된 동맥의 일하는 조건이 변해서 폐동맥 수축이 증가하여 폐관류가 감소하고, 환기 관류 불균형이 증가해서 동맥혈-호기말 이산화탄소 분압차가 증가하는 것으로 생각된다고 하였다. 본 연구에서도 수술후 동맥혈-호기말 이산화탄소 분압차가 증가하였다. Yates 등은¹¹⁾ 폐에 혈류파이프가 있던 환아에서 체외순환후에

가스교환의 변화(나빠짐)는 아마도 체외순환후 수분파이프에 의해서라고 하였으며, Lake는¹⁸⁾ 폐혈관 저항이나 폐동맥압의 증가는 폐유순도 감소와 기도저항의 증가로 인한 동맥혈 산소압 감소 등을 야기할 수 있다고 하였다. 본 연구에서 수술후 동맥혈 산소분압의 감소는 체외순환후 수분파이프이나, 폐혈관저항 또는 폐동맥압의 증가가 동반되어 있을것으로 간접 유추한다면 수술후 폐유순도의 감소와 동맥혈 산소분압 감소 및 동맥혈-호기말 이산화탄소 분압차의 증가와 상관관계를 보인 결과를 일부 설명할 수 있다고 생각된다.

결론적으로 폐혈류가 증가되는 선천성 심장질환을 가진 환아에서는 폐유순도가 감소하고 가스 교환에 장애가 생기는데 교정수술 직후의 폐유순도 및 가스 교환은 더욱 나빠진 상태로 있으므로 수술 후 초기에는 폐기능과 혈역학적 지표에 대한 주의 깊은 감시와 치료가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Davies H, Gaxetopoulos N: Lung function in patients with left to right shunts. Br Heart J 1967; 29: 317-26.
- Griffin AJ, Ferrara JD, Lax JO, Cassels DE: Pulmonary compliance. An index of cardiovascular status in infancy. Am J Dis Child 1973; 123: 89-95.
- Wallgren G, Geubelle F, Koch G: Studies of the mechanics of breathing in children with congenital heart lesions. Acta Paediatr 1960; 49: 415.
- Bancalari E, Jesse MJ, Gelband H, Garcia O: Lung mechanics in congenital heart disease with increased and decreased pulmonary blood flow. J Pediatr 1977; 90: 192-5.
- Troyer AD, Yernault J, Englert M: Mechanics of breathing in patients with atrial septal defect. Am Rev Respir Dis 1977; 115: 413-21.
- Fisk GL and Derl CW: Volume pressure relations of the lungs of children measured during thoracotomy. Aust Paediatr J 1970; 6: 203-12.
- Phelan PD, Gillam GL, Menahem SA, Coombs E, Venables AW: Respiratory function in infants with a ventricular septal defect. Aust Paediatr J 1972; 8: 79-85.
- Frank NR, Lyons HA, Siebens AA, Nealon TF: Pulmonary compliance in patients with cardiac disease. Am J Medicine 1957; April: 516-23.
- Hordof AJ, Mellins RB, Gersony WM, Steeg CN:

- Reversibility of chronic obstructive lung disease in infants following repair of ventricular septal defect. J Pediatr 1977; 90: 187-91.
10. Haughton V: Changes in pulmonary compliance in patients undergoing cardiac surgery. Dis Chest 1968; 53: 617-28.
11. Yates AP, Lindahl SGE, Match DJ: Pulmonary Ventilation and gas exchange before and after correction of congenital cardiac malformations. Br J Anaesth 1987; 59: 170-8.
12. 임현교, 이광호, 박노길, 이춘수, 유은숙, 박영란, 등: 폐동맥고혈압을 동반한 심방·실 중격결손 증과 승모판막증 환자에서의 수술전후 폐혈역학적 비교. 대한마취과학회지 1997; 32: 116-21.
13. Greeley WJ: Perioperative management of the patients with congenital heart disease. 1st ed. Baltimore, Williams & Wilkins. 1996 pp 82-3.
14. Heinonen J, Salmenpera M, Takkunen O: Increased pulmonary artery diastolic-pulmonary wedge pressure gradient after cardiopulmonary bypass. Can Anaesth Soc J 1985; 32: 165-70.
15. Vincent RN, Lang P, Elixson EM, Gamble WJ, Fulton DR, Fellows KE, et al: Measurement of extravascular lung water in infants and children after cardiac surgery. Am J Cardiol 1984; 54: 161-5.
16. Borst HG, Berglund E, Whittenberger JL, Mead J, Mc Greagor M, Collier C: The effect of pulmonary vascular pressures on the mechanical properties of the lungs of anesthetized dogs. J Clin Invest 1957; 36: 1708.
17. Fletcher R: The arterial end-tidal CO₂ difference during cardiothoracic surgery. J Cardiothorac Anesth 1990; 4: 105-17.
18. Lake CL: Pediatric cardiac anesthesia. 2nd ed. Norwalk, Appleton and Lange. 1993. pp310-3.