

구개열 성형술을 위한 전신마취중 동맥혈 가스 분석치의 변화

이화여자대학교 의과대학 마취과학교실

김 치 효

= Abstract =

Study on the Values of Arterial Blood Gas Analysis During the Repair of Cleft Palate

Chi Hyo Kim

Department of Anesthesiology, College of Medicine, Ewha Womans University

Hypercarbia during anesthesia are related to the severity of airway obstruction, and to the increase of carbon dioxide production and rebreathing.

Even when ventilation appears to be adequate, rebreathing may cause hypercarbia when the dead space of the apparatus is excessive, when very low gas flows (<3.0 L/min) are used in Jackson-Rees or Bain circuits, or as a result of defective carbon dioxide absorption in a circle system.

The purpose of the present study was to determine the effects of head position and intubation method on the arterial blood gas analysis values.

Arterial blood gas analysis (PH, PaCO₂, PaO₂, oxygen saturation and base excess) were performed at 30 minutes after the endotracheal intubation, 5 minutes before the end of surgery and 30 minutes after endotracheal extubation.

The results were obtained as follows ;

1) At 30 minutes after the endotracheal intubation, the PH, PaCO₂, base excess values in group 2 were significantly different from the values in group 1 and 3, the PaCO₂ value was highly significant increased in group 2 but the PaO₂ and oxygen saturation values had no statistical significance in any group.

2) At the 5 minutes before the end of surgery, the PH, PaCO₂, PaO₂ values in group 2 were significantly different from the values in group 1 and 3, but the oxygen saturation and base excess values had no statistical significance in any group.

3) At 30 minutes after the endotracheal extubation, the PH, PaCO₂, PaO₂, oxygen saturation, base excess values had no statistical significance in any group

서 론

구개열은 선천성 안면기형으로 원인은 확실치 않으나 유전적 요인과 환경적 요인으로 분류할 수 있으며, 생후 12~18개월에 교정술을 시행함으로써 언어 장애 발생을 방지할 수 있다¹⁾.

구개열 교정술을 위한 전신 흡입 마취시 기도 유지와 적절한 호흡 조절이 중요한 문제로 마취 의는 소아의 해부학적, 생리학적 및 약리학적 특성을 이해하고, 수술중에 철저한 감시장치를 시행하여야 한다²⁾. 특히 소아의 기도는 성인에 비해 기도 내경이 좁아 수술중 체위 변화나 분비물 축적에 의한 기도 폐쇄, 환기 및 관류장애등을 초래하기 쉬우므로 저산소혈증이나 과이산화탄소혈증등을 조기에 발견하여 심각한 합병증의 발생을 예방하여야 한다^{3,4)}.

따라서 저자는 구개열 교정술을 위한 전신 마취중 기관내삽관 30분후, 수술종료 5분전, 기관내 발관 30분후에 동맥혈 가스분석을 실시하여 기관내 삽관 방법 및 두경부 위치 변화에 따른 PH, PaCO₂, PaO₂, 산소포화도, base excess의 변화를 비교 관찰하여 문헌 고찰과 함께 연구 보고하고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

이화여자대학교 부속병원에서 수술 받은 환아 50명을 대상으로 하였으며, 모든 환아가 미국 마취과 학회 환자 분류법에 따라 1급 또는 2급에 속하며 특이한 심폐질환이나 전신질환이 없었다.

2. 연구방법

연구대상은 대조군 15명, 경구기관내 삽관군 20명, 비강기관내 삽관군 15명으로 다음과 같이 분류하여 실험하였다.

대조군(제1군) ; 경구기관내 삽관 및 두경부의 정상 양와위 체위

경구기관내 삽관군(제2군) ; 경구기관내 삽관 및 두경부의 과신전 체위

비강기관내 삽관군(제3군) ; 비강기관내 삽관 및 두경부의 과신전 체위

마취전처치는 모든 환아에서 atropine sulfate 0.02 mg/Kg을 근주하였으며, 수술방 도착 즉시 심전도 장치를 설치하였다. 마취유도는 ketamine 2 mg/Kg, succinylcholine chloride 2.0 mg/Kg을 정주한 후 기관내 삽관을 시행하고 비재호흡기를 이용하여 조절호흡을 시행하였다. 제1군과 제2군에서는 wire tube나 rubber tube를 사용하였으며, 제3군에서는 Mallinkrot's RAE tube를 사용하였다. 마취유지를 위해 pancuronium bromide 0.08 mg/Kg을 정주하고 O₂와 N₂O를 각각 분당 3L, halothane 0.5~1.0 vol%를 흡입시켰다.

수술 시작전 환아의 두경부 위치는 제1군에서 정상적인 양와위 상태로, 제2군 및 제3군에서는 30°정도 후방으로 신전시키고 개구기를 설치하였다.

마취중 수액공급은 3~5 ml/Kg/hr을 주입하였으며, 총혈액소실량이 환아의 예측 총혈액량의 15%를 초과하는 경우 수혈을 시행하였다.

동맥혈 가스분석을 위한 동맥혈액 채취는 요골동맥에 24G 또는 22G angiocath을 삽관하여 실시하였으며, 채취시간은 기관내삽관 30분후, 수술종료 5분전, 기관내 발관 30분후에 시행하였으며, 동맥혈 가스분석은 ABL 4 radiometer를 이용하여 측정하였다. 수술종료 직전 동맥혈을 채취한 후 개구기를 제거하고 두부의 위치를 정상화시켰다.

제2군에서는 기관내삽관 30분후 동맥혈 가스분석을 시행한 다음 100% 산소를 흡입시켰다.

수술종료후 100% O₂를 흡입시키면서 atropine sulfate 0.02 mg/Kg와 neostigmine 0.06 mg/Kg을 정주한후 자발호흡이 정상으로 회복되고 각성상태가 되면 기관내 발관을 시행하고 30분이 경과한후 동맥혈 가스분석을 실시하였다.

통계학적 분석은 paired t-test을 시행하여 p<0.05일때 통계학적 의의가 있는 것으로 간주하였다.

연구 결과

1. 각군에서 성별, 평균체중, 평균수술시간과 마취시간, 평균헤모글로빈치와 혈색소치의 변화 (Table 1, 2, 3)

성별분포는 모든군에서 남자가 많았으며, 평균

Table 1. Distribution of sex and body weight

Group	Group 1 (n=15)	Group 2 (n=20)	Group 3 (n=15)
Male : female	9 : 6	13 : 7	10 : 5
Body weight ⁺ (Kg)	11.5± 0.8	13.0± 0.7	12.5± 1.8

Table 2. Duration of operation and anesthesia

Group	Group 1 (n=15)	Group 2 (n=20)	Group 3 (n=15)
Operative time (min)	90± 22.7	88± 15.7	98± 28.2
Anesthetic time (min)	110± 22.3	108± 20.6	118± 32.2

Table 3. Laboratory data

Group	Group 1 (n=15)	Group 2 (n=20)	Group 3 (n=15)
Hemoglobin (gm %)	11.9± 1.9	12.6± 2.1	12.9± 1.8
Hematocrit(%)	34.7± 4.0	35.8± 3.2	36.5± 4.8

체중은 각각 11.5± 0.8, 13.0± 0.7, 12.5± 1.8Kg으로 각군간에 차이가 없었고, 평균수술시간 및 마취 시간에서도 각군간에 통계학적으로 유의한 차이를 볼 수 없었다. 헤모글로빈치와 혈색소치는 모든 군에서 정상범위를 나타내었고 각군간에 유의한 차이가 없었다.

2. 각군에서 기관내삽관 30분후 동맥혈 가스분석치의 변화(Table 4)

Table 4. Arterial blood gas analysis 30 minutes after endotracheal intubation

Group	Group 1 (n=15)	Group 2 (n=20)	Group 3 (n=15)	Mean± SD
ABG				
PH	7.38± 0.05	7.10± 0.06*	7.32± 0.03 [#]	
PaCO ₂ (torr)	35.2± 2.3	81.6± 18.2**	39.9± 4.2**	
PaO ₂ (torr)	281.2± 30.8	263.2± 24.8	275.9± 21.7	
O ₂ saturation(%)	99.8± 0.2	98.0± 1.7	99.5± 0.3	
Base excess	-3.2± 1.3	-8.6± 2.4**	-5.4± 1.3 [#]	

* P<0.05 Between group 1 and group 2

** P<0.001 Between group 1 and group 2

P<0.05 Between group 2 and group 3

P<0.001 Between group 2 and group 3

PH는 제1군에서 7.38±0.05. 제2군에서 7.10±0.06로 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었고, 제3군에서는 7.32±0.03으로 제1군에 비해 약간 감소하였으나 통계학적 의의는 없었다. PaCO₂는 제1군 35.2±2.3 제2군 81.6±18.2, 제3군 39.9±4.2 torr로 제1군과 제2군, 제2군과 제3군간에 유의한 차이를 나타내었다. PaO₂와 산소포화도는 각군간에 차이가 없었다. Base excess는 제1군 -3.2±1.3, 제2군 -8.6±2.4, 제3군 -5.4±1.3으로 제1군과 제2군, 제2군과 제3군간에 유의한 차이를 볼 수 있었다.

3. 각군에서 수술종료 5분전 동맥혈 가스분석치의 변화(Table 5)

PH는 제1군 7.37±0.04, 제2군 7.17±0.08, 제3군 7.40±0.04이었으며, PaCO₂는 각 34.1±3.2, 77.8±13.2, 36.1±3.9 torr로 제1군과 제2군, 제2군과 제3군간에 각각 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. PaO₂는 제1군 275.1±20.9, 제2군 314.01±32.2, 제3군 251.3±20.7 torr으로 제2군에서 현저히 증가하여 통계학적으로 의의가 있었으나, 산소포화도는 각군간에 차이가 없었다. Base excess는 각각 -3.8±1.3, -5.5±1.7, -4.7±0.3로 각군간에 차이가 없었다.

4. 각군에서 기관내 발판 30분후 동맥혈 가스분석치의 변화(Table 6)

PH는 각군에서 통계학적으로 유의한 차이가 없었으며, PaCO₂는 제1군 35.2±1.9 torr, 제2군 39.8±3.3 torr으로 제2군에서 약간 높았으나 통계학적 의의는 없었다. PaO₂는 제1군 159.3±15.4, 제2군 153.4±15.4, 제2군 153.4±15.2, 제3군 168.±20.2

Table 5. Arterial blood gas analysis 5 minutes before the end of surgery Mean± SD

Group	Group 1 (n=15)	Group 2 (n=20)	Group 3 (n=15)
ABG			
PH	7.37± 0.04	7.17± 0.08*	7.40± 0.04#
PaCO ₂ (torr)	34.1± 3.2	77.8± 13.2**	36.1± 3.9#
PaO ₂ (torr)	275.1± 20.9	314.0± 32.2*	251.3± 20.7#
O ₂ saturation(%)	99.8± 0.1	98.2± 1.5	99.5± 0.2
Base excess	-3.8± 1.3	-5.5± 1.7	-4.7± 0.8

* P<0.05 Between group 1 and group 2

P<0.05 Between group 2 and group 3

** P<0.001 Between group 1 and group 2

** P<0.001 Between group 2 and group 3

Table 6. Arterial blood gas analysis 30 minutes after endotracheal extubation Mean± SD

Group	Group 1 (n=15)	Group 2 (n=20)	Group 3 (n=15)
ABG			
PH	7.38± 0.01	7.32± 0.03	7.38± 0.04
PaCO ₂ (torr)	35.2± 1.9	39.8± 3.3	33.8± 2.8
PaO ₂ (torr)	159.± 15.4	153.4± 15.2	168.2± 20.2
O ₂ saturation(%)	98.9± 0.2	97.5± 1.5	98.2± 0.8
Base excess	-3.5± 0.9	-5.1± 1.2	-4.3± 0.6

torr로 제3군에서 약간 높았으며, 산소포화도는 각각 98.9± 0.2, 97.5± 1.5, 98.2± 0.8%로 각군간에 통계학적 의의는 없었고, base excess도 각군간에 유의한 차이가 없었다.

논 의

구개열은 흔히 볼수 있는 선천성 기형으로 구개순을 동반하는 경우가 많으며, 그 발생빈도는 1.5/1000이고, 발생원인은 다양하여 유전적 요인과 환경적 요인으로 구분된다⁵⁾⁶⁾. 1847년 John Snow가 ether마취하에서 구개순 성형술을 처음 시도한 이래 1924년 Ivan Magill이 구개순 성형술을 위해 기관내 삽관을 처음 시도하였고, 1937년 Philip Ayre에 의해 T-piece circuit이 소개되어 구개순 및 구개열 성형술을 위한 유아 마취관리에 혁신적인 발전이 이루어졌다¹⁾. 최근까지도 15Kg 이하의 소아마취에는 Ayre T-piece 법의 변형인 Jackson-Rees 회로가 사용되고 있다³⁾⁷⁾.

구개열의 수술목적은 기형교정으로 외형을 정상화시킬 뿐만아니라 언어장애의 발생을 방지하는데 있으며, 2세이전에 수술하는 경우 30%에서

언어장애가 발생하는 반면 수술시기가 늦어지는 경우 70%이상에서 언어장애가 발생한다고 보고하였다⁵⁾.

구개열 교정술을 위한 술전관리는 Eustachian tube 이상과 만성적 serous otitis가 동반되므로 세심한 주의를 기울여야 하며 급성 기도염등의 급성감염이 있는 경우 술전 치료를 실시하여 수술전 환자의 전신상태가 양호하여야 한다¹⁾. 또한 상기도의 가장 좁은 부위가 성인에서 성문하인데 반하여 소아에서는 윤상연골 부위로 이 부분은 연골의 환으로 둘러싸여 신축력이 없으므로 자극이나 상처가 가해지면 점막부종이 자주 발생하여 심한 기도 폐쇄를 일으킬 수 있으므로 삽관시에는 적절한 크기의 tube를 사용하여야 한다²⁾⁴⁾⁷⁾.

마취중 과이산화탄소혈증의 발생원인에는 부적절한 환기, 이산화탄소 재내 생성율의 증가, 혈액내 이산화탄소 운반능력의 변화, 내적인 폐질환에 의한 가스교환의 변화, 호흡중추의 억제, 기도 저항 증가로 인한 호흡 작업량의 증가, 흡기내 이산화탄소 분압의 증가 및 재호흡등이 있다³⁾⁸⁾. 특히 전신마취중 폐가스 교환의 변화를 일으키는 원인으로 shunt양과 폐포내 사상의 증가를 들 수 있는데

그 기전은 확실치 않으나 분당 호흡량을 증가시킴으로써 과이산화탄소혈증을 교정할 수 있다⁸⁾.

본 환아에서 발생한 과이산화탄소혈증의 원인으로서는 공기흐름의 저항으로 인한 호흡작업량의 증가와 마취기계 조작의 이상등을 생각할 수 있다. 기도내 총 공기흐름의 저항은 두경부의 자세, 기도의 직경, 기능적 잔류량의 증감, 마취제의 종류 등에 의하여 좌우된다³⁾⁶⁾⁹⁾¹⁰⁾. 특히 소아에서는 기도 및 삽관된 tube의 직경이 작으므로 수술중 체위변화나 분비물 축적에 의한 기도폐쇄등이 발생하여 기도내 저항이 증가하면 호기가 충분치 못하여 폐용량이 증가하고 기능적 잔류량이 증가하므로 호기운동량이 증가되며, 기도내 저항이 5배이상 증가되어 효과적인 호기운동이 더욱 저하되므로 과이산화탄소혈증을 야기시킬 수 있다¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾.

마취기계 조작의 이상에 의하여 과이산화탄소혈증이 발생할 수 있는데 Schultz 등(1960)¹⁴⁾은 circle absorber system에서 밸브 결여로 인하여 soda lime의 호기내 이산화탄소 흡수작용이 방해되어 재호흡되므로 동맥혈내 이산화탄소 분압이 234tor까지 증가하였다고 보고하였다. Nimock등¹³⁾은 가슴기가 부착된 비재호흡계 방식의 마취기계 사용중 가슴기를 통해 가스가 누출되어 동맥혈중 이산화탄소 분압이 153 torr까지 증가되었다고 보고하였다.

본 실험에서는 비재호흡계방식의 마취기계인 Jackson-Rees 회로를 사용하여으나 가슴기를 부착하지 않았으므로 가스 누출 가능성은 없었다 Jackson-Rees 회로는 Ayre T-piece법의 T자관을 Y자형으로 변형하고 호흡 예비튜우브 대신에 60cm 정도의 호흡도관을 연결시킨 후 꼬리 부분을 개방한 500ml 용량의 호흡낭을 부착한 것으로 총 공급가스 유량이 분시 환기량의 2~3배일때 재호흡은 일어나지 않으며 호흡낭 꼬리의 개방된 부분을 간헐적으로 폐쇄시키면 보조 또는 조절 호흡이 가능해지고 유소아마취에 편리하다⁷⁾¹⁵⁾.

본 환아들에서 평균 체중이 약 13.0 Kg으로 분시환기량이 일회환기량×체중×분당 호흡수, 즉 $10 \text{ ml} \times 13 \text{ kg} \times 30 \text{ 회/분} = 3900 \text{ ml/분}$ 이고, 총 공급가스 유량은 6 L/분으로 분시환기량의 2배이므로 재호흡의 가능성은 배제할 수 있다.

본 논문에서 제2군 환아에서 발생한 과이산화탄소혈증의 원인은 두경부의 과다신전 및 개구기 설치에 의한 tube의 부분적 폐쇄로 인하여 기도 저항이 증가하고 호기운동이 저하되어 발생한 것으로 사려되며, 제3군 환아에서는 두경부의 과다신전에 의한 tube위치의 변화가 적고 개구기에 의한 tube의 압박도 피할 수 있어 기도 폐쇄를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 비강내 삽관 tube인 Mallinkrot RAE tube의 Murphy eye도 호기 운동에 많은 도움이 되었을 것으로 생각된다.

이산화탄소는 중추신경계를 활성화시켜 교감신경계 자극을 일으키고 심근 수축력을 증가시키며 빈맥, 고혈압등을 일으킬 수 있으나, 마취중에는 뚜렷한 증상을 보이지 않으므로 동맥혈 가스분석을 시행하여 진단하는 것이 가장 효과적이다³⁾. 그러나 과이산화탄소혈증이 심한 경우 마취중에도 빈호흡, 발한, 피부홍조등이 나타나며 경미한 혈압과 맥박의 증가도 초래될 수 있다¹⁶⁾¹⁷⁾.

Black등¹⁸⁾은 halothane마취시 동맥혈내 이산화탄소 분압이 90 torr이상 증가하면 심부정맥이 유발된다고 보고하였으나 Fraioli등¹⁷⁾은 thiopental-succinylcholine 마취시 동맥혈내 이산화탄소 분압 70 torr정도에서 18명중 한명도 심부정맥을 일으키지 않았다고 보고하였고, Cullen등¹⁹⁾은 234tor까지 증가한 경우에도 심박동에 전혀 변화가 없었다고 보고하였다. Brown등²⁰⁾은 개에서 동맥혈 이산화탄소 분압을 갑자기 감소시키는 경우 심실세동이 유발된다고 반면, Pres-Roberts등¹⁶⁾은 이산화탄소 분압을 5분동안에 80 torr에서 20 torr로 감소시켰으나 심전도상 특이한 변화를 볼 수 없었다고 보고하였다. 본 논문에서도 동맥혈 이산화탄소 분압의 증감에 의한 심전도상의 특이한 소견을 관찰할 수 없었다.

급성 호흡계 산증이 발생하면 심한 대사성 산증이 동반되고, 이산화탄소 분압 250 torr하에서 base deficit이 9.4 mEq/L이며, 이산화탄소 분압이 정상치로 회복되면 base deficit이 반으로 감소하는데 이러한 대사성 산증은 과이산화탄소혈증시 모세혈관막 사이의 농도차에 의해 bicarbonate ion이 혈액으로부터 세포외액내로 이동하여 혈액내 bicarbonate농도가 감소하여 발생한다고 보고하였으며, 또한 혈액의 산소운반 능력은 대사성과 호

흡성 산증이 동반되므로 산소 해리 곡선이 우측으로 이동하여 PaCO₂ 250 torr, base excess -9.4인 상태에서 예측 산소 포화도는 약 90%라고 하였다⁸⁾¹⁶⁾²¹⁾ 그러나 만성 호흡 부전증에 의한 과이산화탄소혈증 발생시에는 bicarbonate ion이 신장에서 재흡수되어 혈장내 HCO₃⁻치가 증가하므로 대사성 알칼리증이 유발되어 급성 호흡계 산증시와는 달리 동맥혈 PH치의 감소가 심하지 않다⁸⁾²²⁾

본 논문에서는 제2군 환아에서 기관내삽관 30분후와 수술종료 5분전에 실시한 동맥혈 가스분석 결과에서 급성 과이산화탄소혈증과 함께 심한 대사성 산증이 동반되어 동맥혈 PH치는 제1군에 비해 현저히 감소하였으나 산소포화도에는 의의 있는 차이를 보이지 않았다. 따라서 구개열 교정술을 위한 전신마취중 과이산화탄소혈증의 발생을 방지하기 위하여 기도폐쇄를 예방하고, 적합한 마취기계를 사용하여 충분한 환기를 시켜주며, 환기조절 능력을 정확히 측정하고 감시하여 과이산화탄소혈증을 조기에 발견함으로써 즉각적인 처치를 하여야 한다.

결 론

구개열 교정술을 의한 전신마취중 기관내 삽관 30분후, 수술종료 5분전, 기관내발관 30분후에 동맥혈 가스 분석을 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기관내 삽관 30분후 각군의 동맥혈 가스 분석치는 제2군에서 PH 7.10±0.06, PaCO₂ 81.6±18.2 torr, base excess -8.6±2.4로 제1군에서 PH 7.38±0.05, PaCO₂ 35.2±2.3 torr, base excess -3.2±1.3과 제3군에서 PH 7.32±0.03, PaCO₂ 39.9±4.2 torr, base excess -5.4±1.3에 비해 각각 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다. 제1군과 제3군간에는 유의한 차이가 없었다.

2) 수술종료 5분전 각군의 동맥혈 가스 분석치는 제2군에서 PH 7.17±0.08, PaCO₂ 77.8±13.2 torr, PaO₂ 314.0±32.2 torr로 제1군에서 PH 7.37±0.04, PaCO₂ 34.1±3.2 torr, PaO₂ 275.1±20.9 torr과 제3군에서 PH 7.40±0.04, PaCO₂ 36.1±3.9 torr, PaO₂ 251±20.7 torr에 비해 각각 의의있는 차이를 나타내었다. 제1군과 제3군간에는 유의한 차이가

없었다.

3) 기관내 발관 30분후 각군의 동맥혈 가스 분석치는 각군간에 유의한 차이가 없었다.

References

- 1) Gregory GA : *Pediatric anesthesia. 2nd ed., Churchill Livingstone, 1989 : pp1182-1187*
- 2) Stoelting RK, Dierdorf SF, McCammon RL : *Anesthesia and co-existing disease. 2nd ed., Churchill Livingstone, 1988 : pp 847-848*
- 3) Orkin FK, Cooperman LH : *Complications in anesthesiology. 1st ed., Philadelphia, J.B. Lippincott, 1983 : pp 196-207*
- 4) Smith RM : *Anesthesia for infants and children, 4th ed., CV Mosby, 1980 : pp410-412*
- 5) Converse JM : *Reconstructive plastic surgery. 2nd ed., Philadelphia, W.B. Saunders, 1977 : pp1935-1950*
- 6) Katz J, Steward DJ : *Anesthesia and uncommon pediatric diseases. 1st ed., Philadelphia, W.B. Saunders, 1987 : pp252-254*
- 7) Dripps RD, Eckenhoff JE, Vandam LD : *Introduction to anesthesia. 7th ed., Philadelphia, W.B. Saunders, 1988 : pp315-334*
- 8) Gray TC, Nunn JF, Utting JE : *General anesthesia. 4th ed., London, Butterworths, 1980 : pp435-459*
- 9) Suwak, Yamamura H : *The effect of gas flow on the regulation of CO₂ levels with hyperventilation during anesthesia. Anesthesiology 1970 : 33 : 440-445*
- 10) Wahba WM : *Influence of airway resistance and ventilatory pattern on CO₂ levels with hyperventilation during anesthesia. Anesthesiology 1979 : 51 : 123-126*
- 11) Heath ML : *Endotracheal tube obstruction possibly due to structural fault. Anesthesiology 1983 : 59 : 480-481*
- 12) Goudsouzian N, Karamanian A : *Physiology for the anesthesiologist. 2nd ed., Appleton-Gentury-Crofts, 1985 : pp139-164*
- 13) Nimocks JA, Modell JH, Perry PA : *Carbon dioxide*

- retention using a humidified "nonbreathing" system. *Anesth Analg* 1975 : 54(2)271-274
- 14) Schultz EA, Buckley JJ, Oswald AJ, Van Bergen FH : *Profound acidosis in anesthetized human. Anesthesiology* 1960 : 21 : 285
 - 15) Dorsch JA, Dorsch SE : *Understanding anesthesia equipment. 2nd ed., Baltimore, William & Wilkins, 1983 : pp182-195*
 - 16) Prys-Roberts C, Smith WDA, Nunn JF : *Accidental severe hypercarpnia during anesthesia. Br J Anaesth* 1967 : 39 : 257-267
 - 17) Fraioli RL, Sheffer LA, Steffenson JL : *Pulmonary and cardiovascular effects of apneic oxygenation in man. Anesthesiology* 1973 : 39 : 588
 - 18) Black GW, Linde HW, Dripps RD, Price HL : *Circulatory changes accompanying respiratory acidosis during halothane anesthesia in man. Br J Anaesth* 1959 : 31 : 238
 - 19) Cullen BF, Eger EI, Smith NT : *The circulatory response to hypercapnia during fluroxene anesthesia in man. Anesthesiology* 1971 : 34 : 415
 - 20) Brown EB, Miller F : *Ventricular fibrillation following a rapid fall in alveolar carbon dioxide concentration. Amer J Physiol* 1952 : 169 : 56
 - 21) Shaw LA, Nesser AC : *The transfer of bicarbonate between the blood and tissues caused by alterations of the CO₂ concentration in the lung. Amer J Physiol* 1932 : 100 : 122
 - 22) Goldstein MB, Gennarl FJ, Schwartz WB : *The influence of graded degrees of chronic hypercapnia on the acute carbon dioxide titration curve. J Clin Invest* 1971 : 50 : 208-216