마취중 동맥혈 탄산가스분압과 호기말 탄산가스분압과의 상호관계

가톨릭대학 의학부 마취과학교실

최종호 · 홍성진 · 이종호 · 최성철
문세호 · 정동석 · 정운혁

= Abstract =

Correlation between Arterial and End Tidal Carbon Dioxide Pressure during General Anesthesia

Jong Ho, Choi, M.D., Sung Jin Hong, M.D., Jong Ho Lee, M.D., Sung Chul Choi, M.D.
Se Ho Moon, M.D., Dong Suk Chung, M.D. and Woon Hyok Chung, M.D.

Department of Anesthesiology, Catholic Medical College, Seoul, Korea

To determine how closely end- tidal PCO_2 measured by capnometer(Datex, Finland), a kind of infrared gas analyzer, reflects arterial PCO_2 (measured by Corning 175: U.S.A.) during general anesthesia, peak- tidal PCO_2 and arterial were measured simultaneously.

Thirty patients ranging between the age of 18 and 49, having no apparent abnormalities and having physical status class I by American Society of Anesthesiologist's classification- were selected for the study.

The anesthesia was induced with 2.5% pentothal sodium 4~5 mg/kg, succinylcholine 1 mg/kg and intubated.

The anesthesia was maintained with each 2 L/min gas flow of nitrous oxide, oxygen and 1% halothene.

The patients were ventilated by anesthetic ventilator with tidal volume 8~10 ml/kg and rate of 15 per minute.

The measurement of CO_2 gas tension was performed 20 minutes after the induction when the patient's anesthetic conditions were stabilized.

The CO_2 gas samples were taken from mouth piece inserted between endotracheal adapter and circle breathing circuit.

The arterial blood samples were taken from the radial artery.

There was a significant correlation between the end-tidal PCO_2 and the arterial PCO_2 in this series. The mean arterial PCO_2 was 30.57 ± 4.59 mmHg and the mean end tidal PCO_2 was 23.73 ± 5.78 mmHg. The mean difference between the arterial and the end -tidal PCO_2 was 6.83 ± 2.23 mmHg. The correlation index between the two measurement was 0.8.

In conclusion, the measurement of the end-tidal PCO_2 by Datex Capnometer reflected the blood PCO_2 and is convenient method of clinical use for its non-invasiveness and continuous measurement of ventilatory status of patients under general anesthesia.

서 론

마취중 위험한 사고의 60%는 환자의 호흡기 또는 전신마취기의 가스공급회로에 있다고 한다¹⁾. 그러나 대부분의 편리한 환자 감시기(Monitoring Device)는 심혈관 계통에 중점을 두고 있다. 환자의 호흡기계와 마취기의 가스공급회로를 감시하는 기계로 가스질량분광기(Multiple gas mass spectrometer)와 적외선 가스분석기(infrared gas analyzer)가 있는데 이들 기구는 폐포환기, 심폐기능, 전신마취의 안전성, 흡입 및 호환가스 농도등을 분석하는데 편리하게 이용된다²⁾. 환자의 폐환기 기능을 판단하는 동맥혈 탄산가스 분압은 호기말 탄산가스분압을 지속적으로, 비관혈적인 방법으로 측정함으로써 추정할 수 있는데 동맥혈과 호기말 탄산가스분압 사이에는 차이가 있으며 그차이는 일정한 것으로 가정하고 있으나 정확도를 그대로 믿을수는 없다고 본다. 저자들은 호기말 탄산가스분압을 Capnometer(DATEX, Finland)를 사용하여 측정하고 동시에 요골동맥에서 동맥혈을 뽑아 동맥혈 탄산가스분압을 측정하여 두 탄산가스분압간의 분압차와 상관관계를 얻어 이분계를 검토하였다.

실험대상 및 방법

1) 대 상

1986년 3월에서 6월까지 가톨릭의대 부속 성모병원에서 수술받은 30명의 환자에서 흉부 X선 사진상 폐 질환이 없는 10대에서 40대까지의(18세에서 49세까지) 환자중 전신상태가 미국 마취과학회의 분류 I에 해당하는 사람을 대상으로 하였으며 환자의 연령과 성별분포는 다음과 같다(Table 1).

Table 1.

연 령	남	여
10대	2	1
20대	8	2
30대	6	2
40대	5	4
	21	9
평균연령	33.37±9 17*	

2) 방 법

환자는 마취 전투약으로 수술 1시간전에 atropine 0.01 mg/kg을 근육내에 투여하였으며 마취도입은 Pentothal Sodium 4~5 mg/kg, Succinylcholine chloride 1 mg/kg 투여하고 기관내 삽관을 시행하였다. 호흡관리는 1회 호흡량은 8~10 ml/kg, 호흡횟수는 1분당 15회의 기계호흡기로 하였으며 N₂O, O₂, Halothane으로 전신마취를 유지하였다. 기관내 튜브와 전신마취기계 순환회로 사이에 Infrared Capnometer(DATEX, Finland)를 연결관을 통해 연결하여 지속적으로 기관내 튜브에서 나오는 호기말 탄산가스의 분압을 측정하였다. 흡입마취 도입후 환자의 혈압, 맥박등이 안정되고 별다른 출혈도 없고 Capnometer에서 호기말 탄산가스분압이 일정하게 유지될 때까지 20분가량 기다린 다음 Heparin Coating된 5 ml 주사기를 이용하여 요골동맥에 채혈하여 즉시 검사실로 가져다 혈액가스 분석기(Corning 175, USA)를 이용하여 동맥혈의 산소분압 및 탄산가스 분압을 측정하였으며 한편 Capnometer를 이용하여 호기말 탄산가스 분압을 측정하였다.

결 과

동맥혈 가스분석에 의한 PaCO₂는 22 mmHg에서 41 mmHg 범위내에 분포하며 평균은 30.57±4.59 mmHg

Fig. 1. Relationship between arterial CO₂ tension and end tidal CO₂ pressure during anesthesia.

인 호흡성 알칼리성을 보이고 있었으며 Capnometer로 측정 한 호기말 탄산가스분압은 14 mmHg에서 34 mmHg까지의 분포를 보였고 평균치는 23.73 ± 5.18 mmHg였다.

동맥혈 탄산가스분압과 호기말 탄산가스분압사이의 차는 평균 6.83 ± 2.23 mmHg였으며 양자간의 상관계수는 $r=0.80$ 였다(Fig. 1).

고 찰

전신마취중 환자의 상태를 감시하는 기구로는 심전도, 혈압, 중심 정맥압, 동맥혈 가스분석등 여러가지가 있으나 대부분이 심혈관계의 상태를 감시하는 것이며 폐기능의 상태를 보는것은 드물다.

동맥혈 가스분석으로는 환자상태, 환자의 산소화, 산 염기 균형등을 볼 수 있으며 전해질인 Ca^{++} 이온은 혈액을 채취하여 검사할 수 있다. 그러나 동맥혈 가스 분석은 지속적으로 측정하기 위해서는 관혈적 방법으로 요골동맥이나 족배동맥에 카테터를 삽입하여 동맥혈압을 측정하면서 혈액가스 분석을 위한 혈액채취를 하게되는데 여러가지 합병증, 즉 혈전에 의한 요골동맥 폐쇄, 수지괴사, 혈중, 조직손상등이 있으며 비용면에서도 비관혈적인 방법이 바람직하게 된다^{3,4)}. 호흡가스 감시장치로는 적외선 가스분석기(Infrared gas analyzer)와 질량분광분석기(mass spectrometer)가 있는데 전자는 한환자에서 지속적으로 중단되지 않고 monitoring을 계속하는 것으로 가격은 4,000~7,000불로 저렴하나 대개 CO₂만 측정되기 때문에 사용이 한정되어 있다. mass spectrometer는capnography에 흡입산소, N₂O, halogen 마취약제등을 측정하므로 수술장에 적합한 기구이나 복잡하며 한 장소에서 한 환자에게 효율적으로 쓸수없는 단점이 있다²⁾.

Capnometer와 Capnography등은 적외선 가스분석기의 일종으로 비관혈적인 호흡가스 감시장치로 사용되며 환기(ventilation)와 gas delivery의 감시에 유용하게 사용되나 이것 때문에 동맥혈 가스분석의 이용이 줄어든다고는 하지 않는다. 그러나 호흡가스 감시장치로서는 간편하며 임상 마취의사에게 저유량법(low flow technique)을 안전하게 할수 있게끔 해준다. Isoflurane 같은 값비싼 마취약제의 신선가스유량을 6 L/min에서 1 L/min으로 감소시킬때 연간 한 마취기관에서 수천달러를 절약할 수 있다고 한다²⁾. 호흡감시 장치를 사용한 경우의 비용문제는 CO₂분석기 사용시 airway 연결장치를 반복사용하면 비용을 절감할

수 있으며 Perkin-Elmer Mass Spectrometer는 설치장소의 개수, 설치위치간의 거리, 설비상의 특성, 숙련된 기술자의 조작등이 원가결정에 중요하며 mass spectrometer는 전체 마취비용의 7% 이하를 차지하는데 8개 이상의 장소에서 사용할때 한 case당 2~3불 든다고 한다²⁾.

호흡가스 분석장치를 이용한 기도의 CO₂ 감시에 의해 발견할 수 있는 위험성으로는 무호흡, 호흡회로의 연결불량, 식도내 삽관, 불량한 마스크 고정, 심박출 감소, 고열, 공기 색전증, 기관내 튜브의 cuff의 공기누출, 사강의 급작스런 증가, 폐수종 등이 있다⁴⁾.

정상상태에서의 호기말 가스의 CO₂분압은 동맥혈의 분압과 거의 일치한다. CO₂는 폐포막을 급격히 확산하기 때문에 폐/환기 관류율(Ventilation/Perfusion ratio)이 잘 유지되면 혼합정맥혈 PCO₂는 46 mmHg, 모세혈관과 폐포의 PCO₂는 46 mmHg, 폐정맥 PCO₂와 폐모세혈관 PCO₂는 40 mmHg를 보인다. 또 폐포의 PCO₂와 동맥혈 PCO₂는 거의 같고 호기말 CO₂는 동맥혈 PCO₂와 거의 같으나 대개는 호기말 PCO₂가 동맥혈 PCO₂보다 2~3 mmHg 낮다²⁾.

호기말 탄산가스분압 측정에 오류가 커지는 요인은 일회호흡량의 부족, 대량의 신선가스 유량, 호기채취량의 과다, 환자로 부터의 가스 채취부위가 먼 경우 등이다. 반면에 호기말 탄산가스분압측정에 오류가 적게 측정되는 경우는 일회호흡량의 과다, 신선가스 유량의 부족, 가스채취량의 과소, 가스채취가 환자에서 너무 가까울때 등이다²⁾.

마취중 동맥혈 탄산가스분압과 호기말 탄산가스분압의 차이는 마취지속기간, 호흡의 변화, 1회 호흡량, 분시 호흡량, 혈압, 체온등에 의해 변한다⁵⁾. 그러나 저자들은 이와같은 요인을 감안하여 동맥혈 탄산가스분압과 호기말 탄산가스분압차를 측정 한 결과 6.83 mmHg의 차이를 보이는데 Whitesell의 1.7 mmHg⁷⁾, Takki의 3.5 mmHg⁸⁾, Raemer⁶⁾의 4.1 mmHg보다 높은 차이를 보여주고 있으나 두 탄산가스분압사이에는 0.8의 상관계수를 보여주고 있다.

Askrog⁹⁾에 의하면 Pentolinium과 환자의 체위변화로 유도 저혈압을 일으켰을 때 폐포사강 및 해부학적 사강이 증가하는데, 주로 폐포사강이 증가하여 폐의 환기/관류율에 변화를 일으켜서 동맥혈-호기말 탄산가스분압차가 커진다고 하였으며 할로탄으로 전신마취시 마취시간이 길어질수록 역시 분압차가 점차 커진다고 하였다. Whitesell⁷⁾에 의하면 탄산가스분압차가 1.7 ± 3.5 mmHg로 낮게 나왔는데 이에 대해서는 쉽게

설명되지 못하고 대수환자들 대부분이 수술 및 마취과 정상 순환 및 호흡기계의 안정이 덜 되어있기 때문으로 추정하였다. 폐 환기/관류의 재분배는 마취약제, 수술부위, 체온변화, 폐 혈류변화, 기계호흡등에 의해서도 일어나며 이것은 생리적 사상의 증가가 동맥혈-호기말 탄산가스분압차에 영향을 미친다고 하며 Askrog¹⁰⁾에 의하면 마취약제의 종류보다는 1회 호흡량이 더 밀접한 관계가 있다고 한다. 임상적으로 호기말 탄산가스분압을 측정하여 동맥혈 탄산가스분압을 추정하려면 잠재적인 동맥혈-호기말 탄산가스분압차를 더해야 하는데 Whitesell¹²⁾은 수술시작 30분경에 첫번째 동맥혈 가스분석과 호기말 탄산가스분압을 측정하여 Calibrating P(a-ET) CO₂치로 사용하였다 한다. Nunn¹¹⁾에 의하면 건강한 정상 성인에서 마취중에 동맥혈-호기말 탄산가스분압차는 0~10 mmHg의 범위내에 있으며 평균은 4.5~4.7 mmHg 이고 이 차이는 탄산가스분압의 실제치에 의해 영향받지 않으며 인공호흡이나 자발호흡에서도 비슷하고 폐포사강과도 직접적인 상관관계가 있다고 하였다. 또한 동맥혈-호기말 탄산가스분압차가 크게 될 경우는 폐수술에서도 볼수 있는데 그 차이는 다양해서 수술하는 폐의 팽창되는 정도에 따라 영향을 받으며 흡입공기의 분포에 심한 장애를 받는 호흡공기의 분포에 심한 장애를 받는 호흡기 질환(예, 폐수종, 폐동맥 색전증, 만성 폐쇄성 폐질환)의 경우에도 폐 환기/관류의 변화에 의해 호기말 탄산가스분압이 낮게 나오기 때문에 그 차이가 커지게 되고 때로 속이나 좌심실 부전증 환자에서도 (위와같이 좌심실 부전증 환자에서도) 위와같은 차이를 볼수 있으나 젊고 건강한 사람에서는 그 차이가 적다고 하였다. 이같은 동맥혈-호기말 탄산가스 분압차는 폐질환 유무, 환자연령, 신체상태의 ASA 분류 및 동맥혈압 등에 의해 영향받는다 한다.

결론적으로 호기말 탄산가스분압은 젊고 폐질환이 없는 건강한 사람에서는 폐 환기/관류 변화가 적기 때문에 동맥혈 가스분압 측정없이 추정할 수 있으나 늙고 폐질환이 있는 환자에서는 폐 환기/관류 변화로 호기말 탄산가스분압이 낮게 나타나 그 차이는 크고 다양하다고 하여 이러한 환자에서 동맥혈 탄산가스분압을 정확히 추정하기 위해서는 동맥혈과 호기말 탄산가스분압차를 더 많이 측정하여 추정하여야 할 것이다.

결 론

동맥혈 탄산가스분압과 호기말 탄산가스분압 사이의 분압차와 상관관계를 보기위해 30명의 환자에서 Capnometer(DATEX, Finland)를 사용하여 호기말 탄산가스 분압을 측정하였으며 요골동맥에서 동맥혈을 뽑아 Corning 175 blood gas analyzer를 사용하여 동맥혈 탄산가스 분압을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 동맥혈 탄산가스분압은 30.57 ± 4.59 mmHg 였다.
- 2) 호기말 탄산가스분압은 23.73 ± 5.18 mmHg 였다.
- 3) 동맥혈-호기말 탄산가스분압차는 6.83 ± 2.23 mmHg 였다.
- 4) 동맥혈 탄산가스 분압과 호기말 탄산가스분압 사이에는 상관관계가 보이며 상관계수는 0.8이었다.

참 고 문 헌

- 1) Cooper JB, Newbower RS: *An analysis of major errors and equipment failures in anesthesia management: Considerations for prevention and detection. Anesthesiology* 60:34-42, 1984
- 2) Swedlow DB: *Mass spectrometers and respiratory gas monitoring. Refresher Course in Anesthesiology* 13:205-219, 1985
- 3) Downs JB, Rackstein AD, et al: *Hazards of radial artery catheterization. Anesthesiology* 38:283-286, 1973
- 4) Bedford RF, Wollman H: *Complications of percutaneous radial artery cannulation. Anesthesiology* 38:228-236, 1973
- 5) Aukburg SJ: *Monitori selection- A physicians perspective Review course lectures* 17-20, 1985
- 6) Raemer DB, Francies D, et al: *Variation in PCO₂ between arterial blood and peak expired gas during anesthesia. Anesthesia and Analgesia* 62:1065-1069, 1983
- 7) Whitesell R, Asiddao C, et al: *Relationship between arterial and peak expired CO₂ pressure during anesthesia and factors influencing the difference. Anesthesia and Analgesia.* 60:508-

512, 1981

- 8) Takki S, Aromaa U, Kauste A: *The validity and usefulness of the end tidal PCO₂ during anesthesia. Ann Clin Res 4:278-84, 1972*
 - 9) Askrog VF, Pender JW: *Changes in physiological dead space during deliberate hypotension. Anesthesiology 25:744-751, 1964*
 - 10) Askrog VF, Pender JW, et al: *Changes in respiratory dead space during halothane, cyclopropane, and N₂O anesthesia. Anesthesiology 25:342-352, 1964*
 - 11) Nunn JF, Hill DW: *Respiratory dead space and arterial end tidal CO₂ tension difference in anesthetized man. J Appl Physiol 15:383-9, 1960*
-