

성대미세수술을 위한 고빈도 제트환기동안의 기관내 이산화탄소분압 측정

연세대학교 의과대학 마취과학교실

길혜금 · 김원옥 · 한승연 · 이성진

= Abstract =

Monitoring of Tracheal CO₂ Tension during High Frequency Jet Ventilation for Laryngomicrosurgery

Hae Keum Kil, M.D., Won Oak Kim, M.D., Seung Youn Han, M.D. and Sung Jin Lee, M.D.

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

Background: The monitoring of end-tidal CO₂ tension (P_{ET}CO₂) during high frequency jet ventilation (HFJV) has been unsatisfactory because of a small tidal volume and slow response time of CO₂ analyser, although several authors have reported strategies of successful P_{ET}CO₂ measurement during HFJV. The aim of this study was to assess the validity of tracheal CO₂ tension (PtCO₂) as a PaCO₂ during HFJV.

Methods: We studied 24 patients undergoing laryngomicrosurgery during HFJV (rates: 100/min; I : E=0.2; driving pressure: 0.25~0.35 MPa) through a 12 Fr. polyethylene injector placed 6~7 cm below the vocal cord. A gas sampling line was placed longitudinally against the injector and they were wrapped with aluminum foil. Continuous capnography was recorded during 20 minutes of HFJV. Every 5 minutes of HFJV, PtCO₂ was obtained from the plateau value of CO₂ wave after the stopping of JV and arterial blood gas analysis was done at 20 minutes of HFJV comparing PaCO₂ to PtCO₂. A Pearson's product moment correlation and regression analysis between PtCO₂ and PaCO₂ and the agreement between the two methods using Bland-Altman method were assessed.

Results: A regression analysis ($R^2=0.928$) and a Pearson's product moment correlation ($r=0.965$, $P<0.001$) indicated a strong correlation of PtCO₂ and PaCO₂ during HFJV. The difference against a mean scatter diagram showed a relative good agreement between the two method (mean difference: -1.58 (SD 2.22) mmHg; limit of agreement: 2.86 and -6.02).

Conclusions: PtCO₂ obtained from a plateau of CO₂ wave on capnography after interruption of HFJV can accurately reflect PaCO₂ during HFJV in relative. (Korean J Anesthesiol 1999; 36: 392~396)

Key Words: Monitoring: carbon dioxide tension; arterial; tracheal. Ventilation: high frequency jet ventilation.

논문접수일 : 1998년 12월 4일

책임저자 : 길혜금, 서울시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 의과대학 마취과학교실, 우편번호: 120-752

Tel: 02) 361-8624, 5847, Fax: 02) 312-7185, e-mail: hkkil@yumc.yonsei.ac.kr

서 론

전신마취중 환기의 적절성여부는 동맥혈 이산화탄소 분압(PaCO_2)과 호기말 이산화탄소 분압(PetCO_2) 간의 밀접한 상관관계로 평가할 수 있다. 성대의 현미경하 미세수술시에는 적절한 환기와 함께 좋은 수술시야를 제공해 주는 고빈도 제트환기(high frequency jet ventilation: HFJV)를 이용한 마취가 권장되고 있는데 HFJV동안에는 적절적인 폐포환기뿐 아니라 가스의 대류성 이동과 분자확산 등에 의해서도 환기가 이루어지게 되는데¹⁾ 높은 환기빈도와 작은 일회환기량, 및 CO_2 분석기의 느린 반응시간으로 인해 PetCO_2 의 측정이 어렵고 샘플채취용 관을 연결하여 지속적으로 측정하는 이산화탄소 분압은 PaCO_2 와 큰 차이를 나타내므로^{2~4)} 환기의 적절성은 흥叹의 움직임이나 혈액가스분석에 의해 평가하는 것이 보통이다. 본 연구의 목적은 기관내에 제트환기용 injector와 함께 삽관한 가스샘플 채취용 카테테르를 통해 HFJV동안 측정한 기관내 이산화탄소분압(PtCO_2)이 PaCO_2 를 밀접하게 반영할 수 있는지 관찰하는데 있다.

대상 및 방법

병원 윤리위원회로부터 실험에 대한 승인을 받은 후 80 kg 이상의 과체중이나 감기 등 호흡기계 질환의 과거력이 있는 경우를 제외한 20세에서 65세 사이의 24명의 건강한 성인을 대상으로 하여 실험에 대한 동의를 얻었다. 대상환자들의 질환은 성대의 폴립, 결절, 유두종, 삽관에 의한 과립종 등이었으며 현미경하에 LASER 시술을 받기로 예정이 되어 있었다. 마취유도 1시간 전에 glycopyrrolate, midazolam 및 cimetidine을 정주하여 마취전투약하였고 마취유도시 propofol 정주로 인한 통증의 경감을 위해 1% lidocaine 30 mg을 먼저 정주하고 fentanyl 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 과 propofol 2 mg/kg을 투여하여 의식을 소실시켰으며 atracurium 0.4 mg/kg을 투여한 후 직접후두경하에 HFJV을 위한 injector를 성대너머 4 cm 부위까지 넣어 가스샘플채취용 카테테르의 말단부가 성대하방 7 cm 부위정도에 위치하도록 거치 하였다. 가스샘플채취용 카테테르는 injector용인 내경 2.5 mm(12 Fr.)의

polyethylene 카테테르보다 말단부로 3 cm 더 길게하여 injector와 함께 aluminum foil로 감싸 사용하였다 (Fig. 1). 경구용 인공기도를 인두하강까지 삽관하고 고빈도 제트환기기(Compos-EV; Metran Medical Instrument; Japan)를 이용하여 가스유압(driving pressure) 2.5~3.5 kg/cm², 제트환기빈도 100/분, I:E = 0.2, FiO_2 0.22내지 0.24로 환기를 시작하였으며 가스샘플측정용 카테테르는 5% CO_2 로 미리 검도한 가스농도 감시기(PM 8050; Dräger Lübeck; Germany)에 연결하였다. Propofol의 삼단계 투여법으로 주사기용 펌프를 이용한 전정맥 마취하에 수술이 진행되었으며 HFJV를 시행하면서 매 5분마다 제트환기를 3내지 5초간 중지하고 capnography상 나타나는 CO_2 파가 안정기(plateau)를 이루는 때의 값을 PtCO_2 로 취하였다(Fig. 2) HFJV 20분 때에는 동맥혈가스분석을 시행하여 PaCO_2 값과 동일한때의 PtCO_2 값을 비교하였다. HFJV 20분간 측정한 PtCO_2 의 변화를 관찰하

Fig. 1. Jet injector and gas sampling line wrapped with aluminum foil.

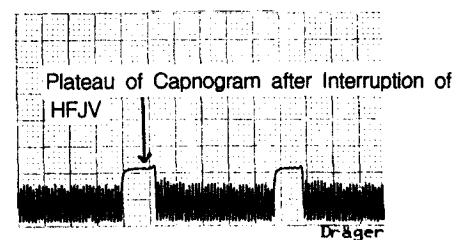


Fig. 2. Capnography during high frequency jet ventilation. The arrow pointed the plateau of carbon dioxide wave which is obtained as PtCO_2 .

였으며 20분때의 PtCO₂와 PaCO₂간의 Pearson's product moment correlation과 regression analysis 및 Bland-Altman-method를⁵⁾ 이용한 두값의 평균과 mean difference에 대한 scatter diagram을 그려 agreement의 범위를 구하였다.

결 과

대상환자들의 평균 연령은 38.8(SD 14.2)세였으며 평균 체중은 57.5(SD 10.3) kg이었다. HFJV을 시작한 후부터 20분까지 사이에 PtCO₂는 점차 감소되어 30에서 40 mmHg사이로 유지되었다(Fig. 3). HFJV 20분 때의 동맥혈 가스분석상 평균 PaCO₂와 동일한 시점의 PtCO₂간의 차이는 적었다(Table 1). HFJV 20분 때의 PtCO₂와 PaCO₂간의 regression analysis상 R²은 0.928이었고(Fig. 4), Pearson's product moment correlation에서 r=0.963으로 매우 밀접한 상관관계를 나타냈다($P < 0.001$). Bland와 Altman method를 이용한 PtCO₂와 PaCO₂의 평균 차(difference)는 -1.58 mmHg (SD 2.22)였고 scatter diagram에서 limit of agreement

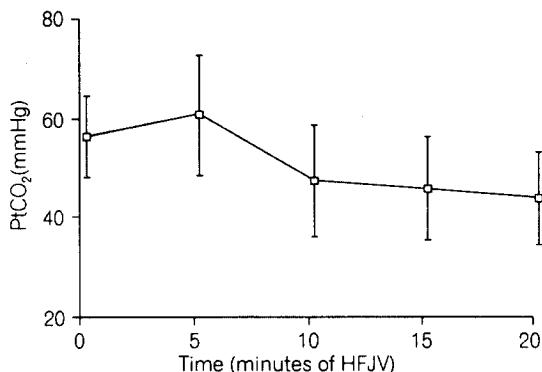


Fig. 3. PtCO₂ changes for 20 minutes of high frequency jet ventilation.

Table 1. Gas Tension at 20 minutes of High Frequency Jet Ventilation

	Mean (SD)
PaO ₂	134.5 (17) mmHg
PaCO ₂	33.2 (6.3) mmHg
PtCO ₂	31.6 (4.7) mmHg

는 2.86에서 -6.02로 비교적 좋은 agreement를 나타내었다(Fig. 5).

고 찰

현미경을 이용한 후두경하의 성대수술시 HFJV은 이비인후과 의사에게 좋은 수술시야를 제공해줄수 있고 LASER 수술에 의한 인화성 재질의 화재위험을 배제시켜 주기도 한다. 그러나 HFJV시에는 P_{Et}CO₂측정이 어려워 환기의 적절유무는 보통 흥관의 움직임이나 간헐적인 동맥혈 가스분석으로 평가하게 된다.

이산화탄소는 확산이 극히 잘되는 가스이므로 폐포가스와 폐모세혈관 말단부간의 CO₂분압차이는 매우 적어 자발호흡을 하는 건강한 성인의 경우 1내지

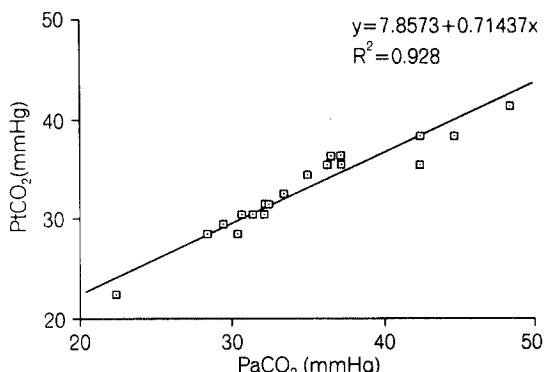


Fig. 4. Regression analysis of PtCO₂ and PaCO₂ at 20 minutes of high frequency jet ventilation.

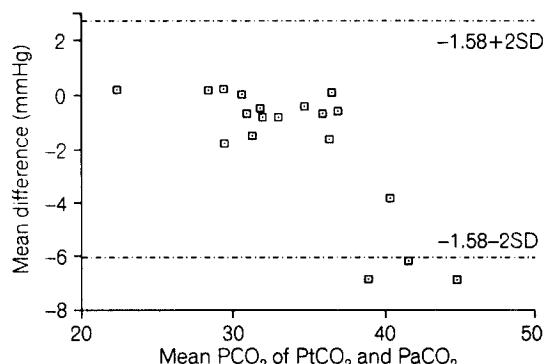


Fig. 5. Differences against mean for PtCO₂ and PaCO₂ by Bland-Altman method.

4 mmHg로 보고되어 있다.⁶⁾ 전신마취 중에는 생리적 사강의 증가로 폐포내 이산화탄소 분압과 $P_{a\text{CO}_2}$ 의 차이가 더 커질 것으로 생각되지만⁷⁾ 마취중 고식적 조절환기동안 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 와 $P_{a\text{CO}_2}$ 간의 차이는 1내지 8 mmHg 사이로, 다양하기는 해도 그리 큰 차이를 나타내지는 않는 것으로 보고되어 있다.^{8~11)} 정상빈도의 제트환기시에도 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 와 $P_{a\text{CO}_2}$ 는 밀접한 상관관계를 나타내며 그 차이가 평균 6 mmHg를 넘지 않는다고 하는데^{12~14)} HFJV중에는 작은 일회환기량 때문에 해부학적 사강에 존재하는 이산화탄소의 제거가 불충분하고²⁾ infrared CO₂ 분석기의 느린 반응속도 때문에 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 가 $P_{a\text{CO}_2}$ 보다 매우 낮게 측정될 수 있다고 한다.^{2,5)} Capan등은⁴⁾ HFJV동안 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 가 $P_{a\text{CO}_2}$ 보다 평균 24 mmHg 이상 낮게 측정되었으며 이는 작은 일회환기량때문으로 이러한 문제점의 극복을 위해 HFJV중간에 깊은호흡을 시키면서 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 를 측정해야 한다고 강조하였다. HFJV동안 측정한 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 가 $P_{a\text{CO}_2}$ 와 밀접한 상관관계를 보였다는 보고가 여럿 있으나 이들의 경우 HFJV을 중단하고 다른 기계를 이용하여 한숨(sigh)을 주거나¹⁵⁾ 정상¹⁶⁾ 혹은 큰 일회환기량을 주면서^{3,17)} 기관내튜브에 함께 거치한 가스샘플채취용 관을 통해 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 를 측정하거나, HFJV을 중단한 상태에서 carina 상방에 샘플채취용 카테테르를 넣어 흡인한 가스로 CO₂의 분압을 측정하는 등¹⁸⁾ 방법적으로 매우 번거롭다. Novak-Jankovic등은¹⁸⁾ 후두절제술을 받았던 환자들의 이차수술시, 기관절개부를 통해 HFJV을 하다가 환기를 중단하고 샘플채취용 카테테르를 carina상방까지 넣어 가스를 흡인하여 측정한 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 와 $P_{a\text{CO}_2}$ 간에서 좋은 agreement를 얻지 못하였다고 하였으며 그 이유를 카테테르로 측정용가스를 흡인할때 기도 내로 유입된 대기가 섞여 CO₂를 회석시킨 것으로 추정하였다. 그러나 기왕에 거치한 카테테르가 아니라 HFJV을 멈춘 후 카테테르를 넣는다면 오히려 카테테르를 넣는 행위중에 대기가 섞여 CO₂가 회석될 가능성이 있을 것으로 여겨진다. HFJV동안에는 흡기ガ스와 호기ガ스가 해부학적 사강내에서 서로 혼합되므로 기관의 상부에서 호기샘플ガ스를 채취하는 경우엔 $P_{t\text{CO}_2}$ 와 $P_{a\text{CO}_2}$ 간에 큰 차이를 보일 수가 있다. 본 연구에서는 기관내 CO₂측정을 위한 샘플채취용 카테테르를 injection용 카테테르보다 말단부를 3 cm 더 길게 하여 carina에 가까이 두었는데 이론적으로

$P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 를 위한 샘플ガ스는 가능한 한 폐포에서 가깝게 얻어야 사강의 가스와 폐포ガ스가 섞이는 것을 최소화 함으로서 $P_{a\text{CO}_2}$ 에 더 근접되게 CO₂분압을 나타낼 수 있다고 하는데¹²⁾ 비록 HFJV을 중단한 직후·감시기에서 측정되는 PCO_2 를 취했으나 JV동안 호기가 수동적 형태로 이루어짐을 감안한다면 $Pt\text{CO}_2$ 는 고식적 환기시의 $P_{\text{Et}\text{CO}_2}$ 와 거의 유사한 값이라고 여겨지므로 본 연구에서 적용한 측정방법이 유용한 것으로 생각된다. HFJV의 임상적용에 있어서 중요한 변수는 가스유압, I : E ratio를 결정하는 빈도와 흡기시간이며 운반되는 분시환기량은 유압과 I : E ratio에만 의존하므로 환기기는 분시환기량을 나누는 분할기(divider)로 작용하게 된다.^{20,21)} 본 연구에서와 같이 jet injector를 기관하부에 거치 하게 되면 기도의 해부학적 사강을 우회하게 되므로 같은 유압과 I : E ratio를 주더라도 기도의 상부에서 제트환기를 하는 경우보다 적은 일회환기량으로 가스의 교환을 가능하게 할 수 있으며 또한 HFJV을 정지시킨 직후 샘플채취관으로의 능동적 가스흡인에 의해 기관지 및 폐포ガ스에 근접한 CO₂ 분압을 측정하게 되므로 $P_{a\text{CO}_2}$ 에 가까운 $Pt\text{CO}_2$ 를 얻을 수 있었다고 생각된다. 한편, CO₂ 분석기의 가스샘플 채취율은 분당 200 ml로서 3초내지 5초간의 샘플채취시 10내지 17 ml의 가스량만이 필요하므로 HFJV시 일회환기량이 적다 하더라도 HFJV을 잠시 정지한 직후 CO₂분석을 위한 샘플가스량은 충분한 것으로 추정된다. 본 연구의 결과 $Pt\text{CO}_2$ 와 $P_{a\text{CO}_2}$ 간의 작은 차이는 이와같은 측정방법이 효과적임을 나타내는데 infrared CO₂분석기의 반응이 느린점을 고려한다면 반복적으로 측정을 하는중에라야 CO₂ 파의 안정기의 값을 읽을 수 있을 것이다. 그러나 HFJV의 적용시 jet injector의 말단부가 기도하부에 위치하는 경우 기관 내에서 가스유량이 조절되게 되므로 jet의 효율성이 떨어질 가능성이 있고 빠른 속도의 가스가 기도점막에 미세한 손상을 줄 수도 있으며 Joule-Kelvin효과에 의한 가스의 냉각 때문에 온도에 의한 손상을 줄 가능성도 고려해야 한다.²⁰⁾ 또한 환자의 체중이 과다하거나 성대부위의 병변이 큰 경우, 또는 성문이 좁아져 있는 경우 등에 수동적 호기에 제한이 있게 되어 이산화탄소가 축적되거나 심하면 폐의 과팽창에 의한 압력상해의 가능성도 있으므로²²⁾ 익숙한 마취파의사 및 이비인후과의사에 의해 짧은 시간 내에 시술이

진행되도록 적용기준을 엄격히 해야 할 것이다. 결론적으로, 성대의 미세수술을 위한 마취시 HFJV 을 적용하는 경우 jet injector와 함께 carina가까이에 거치한 가스샘플용 카테터를 통해 PtCO₂를 측정하는 방법으로도 환기의 적절성을 유의하게 평가할 수 있을 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1. Scherer PW, Muller WJ, Raub JB, Haswilton FR: Convective mixing mechanisms in high frequency intermittent jet ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 1989; 33(Suppl. 90): 58-64.
2. Hahn G, Meyer M: Sample-hold technique for analysis of respiratory gas composition at high breathing frequencies. *J Appl Physiol* 1988; 64: 2684-91.
3. Sehati S, Young JD, Sykes MK, McLead CN: Monitoring of end-tidal carbon dioxide partial pressure during high frequency jet ventilation. *Br J Anaesth* 1989; 63: 49S-52S.
4. Capan LM, Ramanathan S, Sinha K, Turndorf H: Arterial and end-tidal CO₂ gradients during spontaneous breathing, intermittent positive-pressure ventilation and jet ventilation. *Crit Care Med* 1985; 13: 810-3.
5. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 8: 307-10.
6. Fallot R: Getting the blood out of blood gas studies. *Respir Ther* 1982; 12: 103-4.
7. Nunn JF, Hill DW: Respiratory dead space and arterial to end-tidal CO₂ tension difference in anesthetized man. *J Appl Physiol* 1960; 15: 383-9.
8. Bhavani-Shankar K, Moseley H, Kumar AY, Delph Y: Capnometry and anaesthesia. *Can J Anaesth* 1992; 39: 617-32.
9. Raemer DB, Francis D, Philip JH, Gabel RA: Variation in PCO₂ between arterial blood and peak expired gas during anesthesia. *Anesth Analg* 1983; 62: 1065-9.
10. Askrog V: Changes in (a-A) CO₂ difference and pulmonary artery pressure in anesthetized man. *J Appl Physiol* 1966; 21: 1299-305.
11. Fletcher R, Jonson B: Deadspace and the single breath test for carbon dioxide during anaesthesia and artificial ventilation. *Br J Anaesth* 1984; 56: 109-19.
12. Bach LF, Wanner-Olsen H, Anderson BN, Madson IK, Kruse S: Continuous end-tidal carbon dioxide monitoring during normofrequent jet-ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 1996; 40: 1238-41.
13. Gottschalk A, Mirza N, Weinstein GS, Edwards MW: Capnography during jet ventilation for laryngoscopy. *Anesth Analg* 1997; 85: 155-9.
14. Mason CJ: Single breath end-tidal PCO₂ measurement during high frequency jet ventilation in critical care patients. *Anaesthesia* 1986; 41: 1251-4.
15. Algora-Weber A, Rubio JJ, De Villota ED, Cortes JL, Gomez D, Mosquera JM: Simple and accurate monitoring of end-tidal carbon dioxide tensions during high-frequency jet ventilation. *Crit Care Med* 1986; 14: 895-7.
16. Mortimer AJ, Cannon DP, Sykes MK: Estimation of arterial PCO₂ during high frequency jet ventilation. *Br J Anaesth* 1987; 59: 240-6.
17. Mihm FG, Feeley TW, Rodarte A: Monitoring end-tidal carbon dioxide tensions with high-frequency jet ventilation. *Crit Care Med* 1984; 12: 180-2.
18. Novak-Jankovic V, Paver-Erzen V, Fajdiga I, Bovill JG, Manohin A, Zargi M: Estimation of arterial CO₂ partial pressure by measurement of tracheal CO₂ during high-frequency jet ventilation in patients with a laryngectomy. *Eur J Anesthesiol* 1998; 15: 1-5.
19. Bourgain JL, McGee K, Cosset MF, Bromley L, Meistelman C: Carbon dioxide monitoring during high frequency jet ventilation for direct laryngoscopy. *Br J Anaesth* 1990; 64: 327-30.
20. Smith BE: High frequency ventilation. *Current Opinions in Anesthesiology* 1988; 1: 488-93.
21. Smith BE: High frequency ventilation: past, present and future? *Br J Anaesth* 1990; 65: 130-8.
22. 김혜금, 김원옥, 한수진, 홍원표: 고빈도 젯트환기하의 미세현미경하 성대수술을 위한 총정맥마취. *대한마취과학회지* 1995; 28: 91-6.