

미세 시간 조절 기능을 가진 경기관 Jet 환기기의 개발 및 기관 - 폐 모델을 이용한 평가

연세대학교 의과대학 마취과학교실 및 *의학공학교실

김훈도 · 안주현* · 박윤곤 · 길혜금 · 김덕원*

= Abstract =

The Development of an Inspiratory Time Adjustable Transtracheal Jet Ventilator and Evaluation in a Human Adult Trachea-Lung Model

Hoon Do Kim, M.D., Joo Hyun Ahn, BS*, Wyun Kon Park, M.D.
Hae Kum Kil, M.D., and Deok Won Kim, Ph.D.*

Departments of Anesthesiology and *Medical Engineering,
Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Background: Transtracheal jet ventilation (TTJV) has been used for 'Cannot Ventilate/Cannot Intubate' situation, life-saving situations, by simply introducing an IV catheter (angiocatheter) through the cricothyroid membrane. To decrease the occurrence of barotrauma caused by a continuous high pressure oxygen supply while applying TTJV, it would be ideal to have a TTJV system equipped with an inspiration time adjustable function which any currently commercially available TTJV does not have.

Methods: Recently, we made a prototype of an inspiration time adjustable TTJV and measured the corresponding injection volumes and peak inflation pressures according to the changes of oxygen supply pressure and inspiration time using catheters ranging from 14 to 20 G in a simulated human adult trachea-lung model.

Results: A 16 G angiocatheter provided 465 ± 5 ml of injected volume with a peak inflation pressure of 25 cmH₂O under a 50 psi oxygen supply at 1 second of inspiration, which would be adequate for an adult tidal volume. When a 14 G catheter was used under the same conditions as above, the injected volume was 1128 ± 9 ml. All injected volumes were under 310 ml when 18 and 20 G angiocatheters were used at various driving pressures (10-50 psi) and inspiration time (0.5, 0.75, and 1 s).

Conclusions: An inspiration time adjustable TTJV can easily provide enough tidal volume to maintain oxygenation, and could be expected to prevent or reduce barotraumatic complications such as pneumothorax. (*Korean J Anesthesiol* 2001; 40: 211~219)

Key Words: Airway: obstruction. Complications: pneumothorax. Equipment: transtracheal jet ventilator. Intubation, tracheal: difficult. Lung: tidal volume. Oxygen: oxygenation.

논문접수일 : 2000년 12월 15일

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

Tel: 02-361-5847, Fax: 02-312-7185, E-mail: wkp7ark@yumc.yonsei.ac.kr

석사 학위 논문임.

서 론

마취유도시 마스크로 환기가 안되는 경우는 매우 위급한 상황으로서, 이때의 응급 조치사항으로 laryngeal mask airway, combitube 또는 경기관 jet 환기기 (transtracheal jet ventilator) 등을 사용할 수 있으며,¹⁾ 만일 이로써도 해결이 안되면 급히 운상갑상막 절개 (cricothyroidotomy)나 기관 절개술 등을 시행하여 응급으로 기도 확보를 해야한다.¹⁾ 경우에 따라 상기도 쪽의 종양이나 구조적 이상으로 laryngeal mask airway나 combitube 등의 사용이 불가능하면, 최종적으로 경기관 jet 환기 방법이나 운상갑상막 절개 또는 기관 절개를 시행해야 한다.

경기관 jet 환기 방법은 정주용 카테테르를 운상갑상막에 천자, 거치한 후 이곳에 경기관 jet 환기기로 고압 (50 psi)의 100% 산소를 주입하여 일회 호흡량을 충족시키고, 호기는 증가된 흉곽 내압과 폐의 탄성도(recoil)에 의해 수동적으로 상기도를 통해 배출되게 하는 방법으로서 그간 다수의 증례를 통해 그 유효성이 보고되었다.²⁻¹²⁾ 이 기기로 환기를 시켜 환기 및 혈중 산소화가 잘 유지되는 상태에서 확실한 기도확보를 위한 다른 방법들을 시행하게 된다. 성인에서 16 G 카테테르를 통해 50 psi의 고압을 1초 동안 주입시 약 500 ml의 일회 호흡량이 주입되므로²⁾ 이 시간은 매우 중요한 의미를 갖게 된다. 그러나 일초라는 짧은 시간을 직감적으로 판단하기 힘들며 또한 급한 상황에서 경기관 jet 환기기의 트리거(trigger) 스위치를 계속 누르고 있게 되면 짧은 시간에 많은 양의 고압 산소가 주입되어 기흉 등의 합병증을 초래할 수 있으며^{13,14)} 이는 이러한 응급 상황의 환자에게 특히 치명적이라 할 수 있다.

최근 짧은 주입 시간을 인위적으로 조절할 수 있는 미세 시간 조절 기능을 갖춘 경기관 jet 환기기의 prototype이 본 의과대학 마취과학 교실 및 의학공학 교실에 의해 고안, 제작되었으며 본 실험을 통하여 이 기기의 적합성을 확인하고, 아울러 개선점을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

경기관 jet 환기기의 작동 원리

회로는 크게 트리거(trigger) 신호 입력부, 타이머

(timer)부, 솔레노이드(solenoid) 구동전류 제어부로 나뉜다. 트리거 신호 입력부에서는 스위치에서 트리거한 신호를 받아 타이머의 입력부로 신호를 전달해 준다. 타이머는 기준값 이하의 신호가 들어 왔을 때 동작하므로 스위치를 누르고 있으면, 캐패시터(capacitor)와 저항기(resistor)의 조합으로 짧은 시간동안 음(-)의 방향으로 펄스가 발생하여 타이머로 인가된다. 타이머부는 555 타이머를 사용하며 정해놓은 저항과 캐패시터에 의해 정해진 시간 동안 신호가 발생된다. 솔레노이드 구동 전류 제어부는 타이머 출력을 전력 FET(field effect transistor)를 사용하여 전류 증폭을 하는 부분으로 FET가 스위치로 동작하면서 솔레노이드 밸브에 전류를 제어하여 밸브를 개폐한다. 도면은 Fig. 1과 같다.

동작 설명: 스위치를 트리거링하면 타이머를 구동시키는 신호가 발생되고, 타이머에서는 정해진 시간 동안 솔레노이드 구동 신호를 출력한다. 솔레노이드 구동 전류 제어부에서는 솔레노이드 밸브를 구동시킬 수 있는 전류를 공급하여 일정 시간동안 밸브를 개폐할 수 있다.

회로 설명: 스위치 SW1으로 트리거링을 하면 스위치를 동작 시키는 시간과 상관없이 짧은 시간(약 10 msec) 동안 음(-)의 방향의 파형이 발생되고, 이는 타이머로 동작하는 LM555의 입력 신호로 인가된다. 타이머에서는 일정 시간동안의 신호가 출력되는데, 그 시간은 저항 소자 R1 (혹은 R2)과 용량성 소자 C3에 의해서 정해진다. 이 신호는 스위치로 사용한 트랜지스터 IRF730 (MOS FET)에 인가되어 솔레노이드 밸브를 구동시킨다.

모의 실험 장치: 성인의 기관 길이(약 11 cm) 및 직경(12-16 mm)을 기준으로 하여 이에 적합한 파형 호흡 도관(corrugated tube)을 사용하고, 원위부에 폐활량계(respirometer) 및 일방 밸브(unidirectional valve)를 부착하였다. 폐활량계 부착 부위에 근접하여 기관에 일정한 길이(5.1 cm)의 직경이 다른 정주용 카테테르인 angiocath (Becton Dickson Vasculr Access, Sandy, Utah, USA)을 천자, 삽입할 수 있는 장치를 만들고, 압력을 측정하기 위한 관(tubing)을 test lung의 내부 중간에 위치시키고 관의 끝에 압력계(P1)를 연결하여 기도압(폐팽창압)을 측정하였다 (Fig. 2).

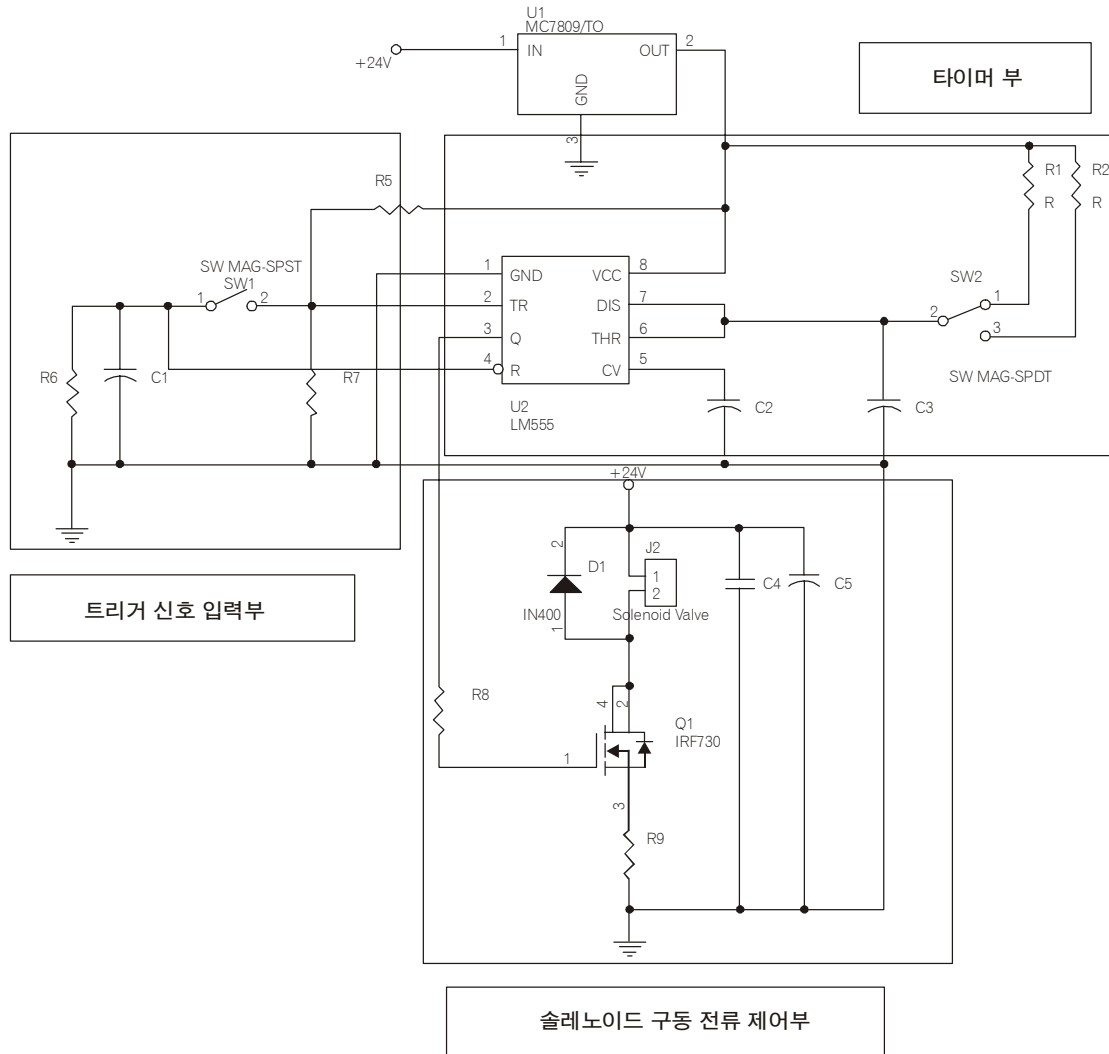


Fig. 1. Circuit diagram of the transtracheal jet ventilator.

구동압(driving pressure), 카테테르 직경, 산소 주입 시간의 차이에 따른 일회 주입량 및 최고 기도압의 측정

구동압의 변화에 따른 일회 주입량 및 최고 기도압의 변화: 구동압을 10, 20, 30, 40, 50 psi로 변화시켜 가면서 일회 주입량 및 흡기압을 측정하였다. 카테테르는 14, 16, 18, 20 G의 anigocathether를 사용하였다. 주입 시간은 0.5, 0.75, 1초로 하였다.

카테테르 직경의 차이에 따른 일회 주입량 및 최고 기도압의 변화: 카테테르는 14, 16, 18, 20 G의

anigocatheter를 사용하였다. 구동압을 10, 20, 30, 40, 50 psi로 변화시키고, 주입 시간은 0.5, 0.75, 1초로 하였다.

주입 시간의 차이에 따른 일회 주입량 및 최고 기도압의 변화: 주입 시간을 0.5, 0.75, 1초로 변화시켜 가면서 이때의 일회 주입량 및 최고 기도압을 측정하였다. 카테테르는 14, 16, 18, 20 G를 사용하였다. 구동압을 10, 20, 30, 40, 50 psi로 변화시켜 가면서 측정하였다.

기관 직경의 차이에 따른 일회 주입량 및 최고 기도압의 측정: 성인의 기관 직경 12-16 mm (단면적:

120-220 mm²)를 기준으로 하여, 8.2, 9.5, 12, 15 mm의 각 직경에서 30, 40, 50 psi의 압력 하에 14 G 와 16 G 카테테르를 이용하여 각각 0.5, 0.75, 1초 동안 산소를 주입한 후, 일회 주입량 및 최고 기도 압을 측정하였다.

각각에 대한 실험은 5회씩 반복 측정하였으며, 결과는 평균 ± 표준 편차로 기록하였다. 각 기관 길이의 차이에 따른 변화는 repeated measures of ANOVA를 적용하였고, 각 군내의 다중 비교로는 Dunnett test를 사용하였다. P값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 의의가 있는 것으로 간주하였다.

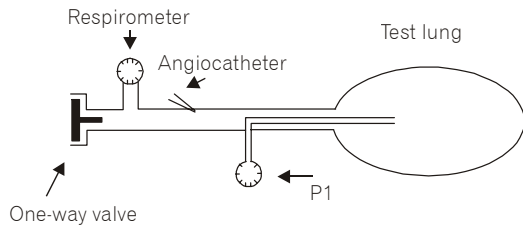


Fig. 2. Schematic diagram of trachea-lung model with inflatable bag and unidirectional valve. P1 indicates a pressure gauge.

결 과

일회 주입량은 구동압의 증가에 비례하여 증가하였으며, 카테테르의 내경이 클수록 증가하였고, 산소 주입 시간이 길수록 증가하는 양상을 나타내었다 (Fig. 3a, b, c, d). 14 G의 카테테르에서 1초의 주입 시간을 적용시 30, 40, 50 psi에서 740 ± 14, 985 ± 6, 1128 ± 9 ml, 0.75초 동안 주입시 30, 40 및 50

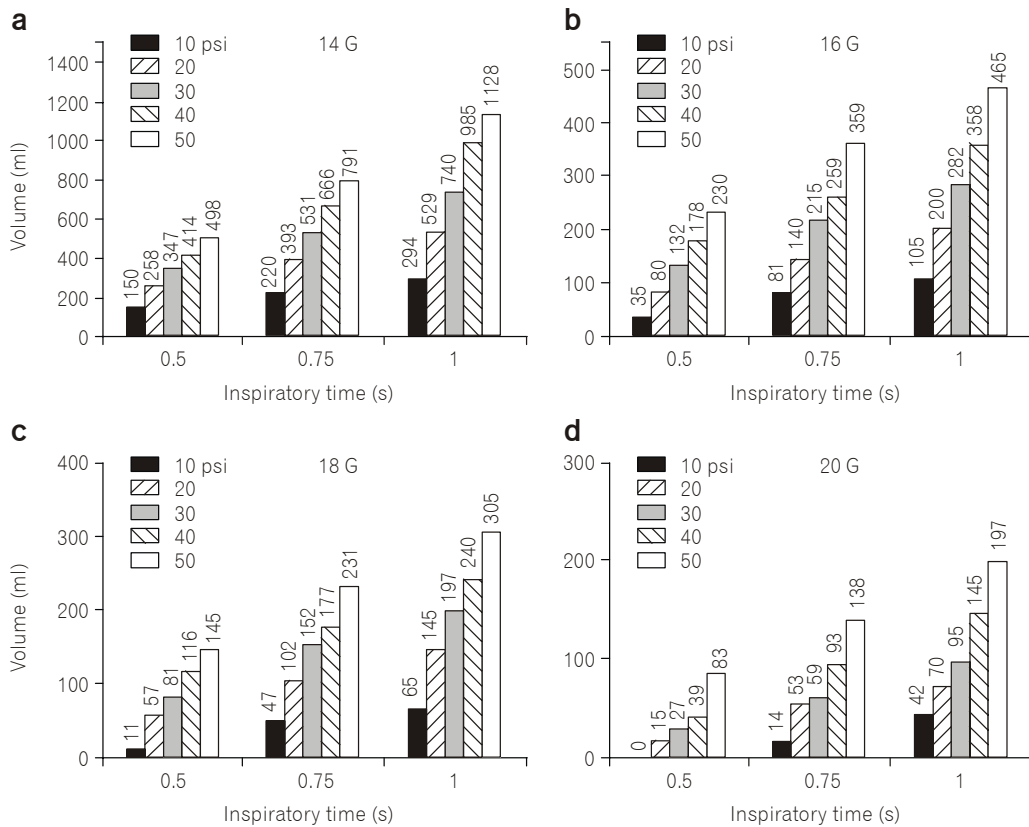


Fig. 3. Inflation volumes obtained in a simulated adult human trachea-lung model. Changes in inflation volume from 10 to 50 psi driving pressure in 14(a), 16(b), 18(c), and 20 G(d) angiocatheter. Inspiration time was in 0.5, 0.75 and 1 second, respectively.

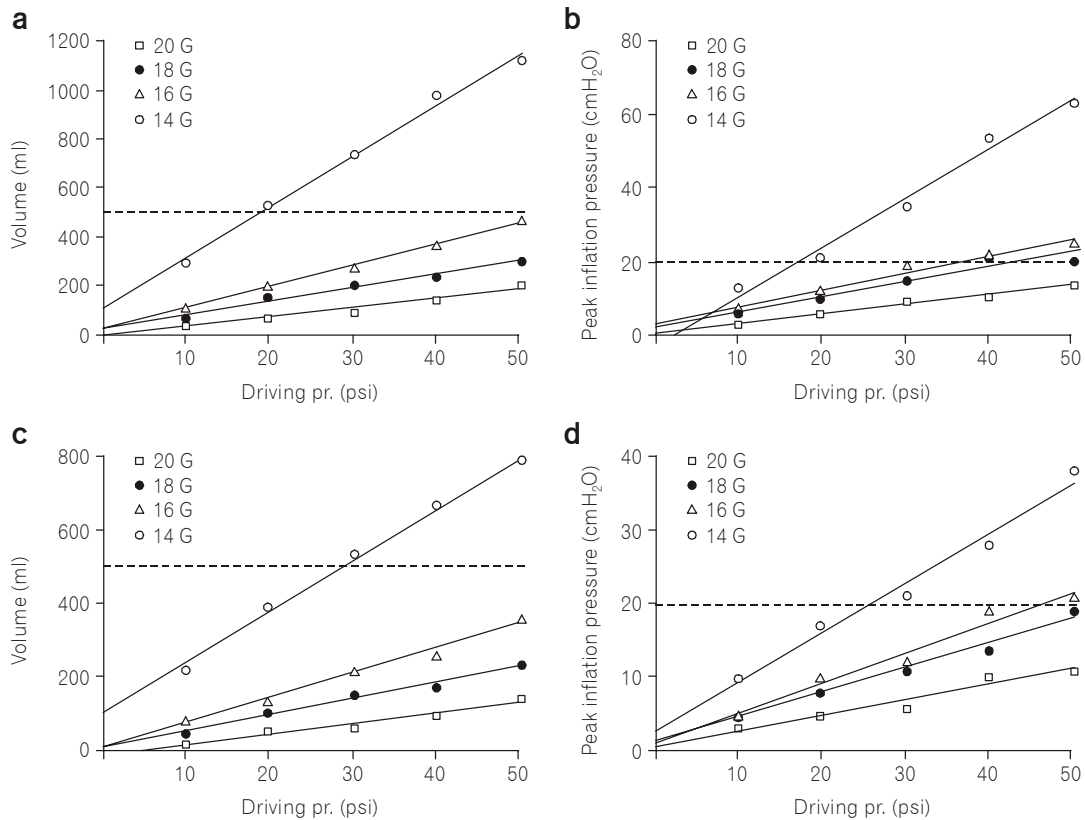


Fig. 4. Changes in inflation volume and peak inflation pressure at 1 (a and b, respectively) and 0.75 second (c and d, respectively) of inspiration time when driving pressure was increased from 10 to 50 psi. Angiocatheters of 14, 16, 18, and 20 G were used.

psi에서 531 ± 3 , 666 ± 18 , 791 ± 10 ml의 일회 주입량을 나타내었다(Fig. 3a, Fig. 4c). 16 G의 카테테르에서 1초의 주입 시간을 적용 시 50 psi에서 465 ± 5 ml를 나타내었다(Fig. 3b, Fig. 4a). 18 G 및 20 G의 카테테르에서 각 구동압 및 주입 시간 적용 시 최대 305 ± 6 ml의 일회 주입량을 보임으로서 모두 400 ml 미만의 주입량을 보였다(Fig. 3c, d).

최고 기도압은 구동압의 증가에 비례하여 증가하였으며, 카테테르의 내경이 클수록 증가하였고, 산소 주입 시간이 길수록 증가하는 양상을 나타내었다(Fig. 4a, b, c, d). 14 G의 카테테르에서 1초의 주입 시간을 적용 시 30, 40, 50 psi에서 35 , 54 ± 1 , 64 ± 1 cmH₂O, 16 G 카테테르에서 1초의 주입 시간을 적용 시 30, 40, 50 psi에서 19 , 22 ± 1 , 25 cmH₂O를 보임으로서 14 G에서 급격한 최고 기도압의 증

가를 나타내었다(Fig. 4b). 또한 14 G 카테테르에서 0.75초의 주입시 40 및 50 psi에서 28 ± 1 , 38 cmH₂O의 최고 기도압을 나타내었다(Fig. 4d).

기관 직경의 차이에 따른 최고 기도압의 변화는 8.2, 9.5, 12 및 15 mm 직경에서 일정 산소 주입 시간(0.5, 0.75, 1초) 및 구동압(30, 40, 50 psi)에서 측정된 최고 기도압은 일정 시간의 일정 구동압에서 각 직경간에 차이를 보이고 있지 않다(Table 1, 2).

고 찰

경기관 jet 환기법은 기도 확보가 어려운 경우^{6,7,9,11,12} 및 이비인후과 영역에서의 성대 수술 및 검사에 이용되어 왔다. 1967년 Sanders는¹⁵ 마취 후 근이완을 시킨 환자에서 경직성 기관지경(rigid bronchoscope)

Table 1. Changes of Peak Inflation Pressures at Various Tracheal Diameter with 0.5, 0.75, and 1 s Inspiration Time under the Driving Pressure from 30 to 50 psi at 14 G Angiocatheter

Inflation time	Driving Pr.	Tracheal diameter (I.D.)			
		8.2 mm	9.5 mm	12 mm	15 mm
0.5 s	30 psi	15 ± 0	14 ± 0	15 ± 0	16 ± 0
	40 psi	21 ± 0	22 ± 0	20 ± 0	20 ± 1
	50 psi	25 ± 0	26 ± 0	20 ± 0	20 ± 1
0.75 s	30 psi	24 ± 0	22 ± 0	21 ± 0	21 ± 1
	40 psi	29 ± 0	32 ± 1	28 ± 0	31 ± 1
	50 psi	39 ± 0	38 ± 0	38 ± 0	40 ± 0
1 s	30 psi	38 ± 0	35 ± 1	35 ± 0	38 ± 1
	40 psi	55 ± 0	59 ± 1	54 ± 1	56 ± 1
	50 psi	68 ± 0	65 ± 0	64 ± 0	65 ± 0

Values represent mean ± SD for each 5 experiments. Repeated measures of analysis of variance followed by Dunnett test was used to test for differences among groups. The unit of peak inflation pressure is cmH₂O.

Table 2. Changes of Peak Inflation Pressure at Various Tracheal Diameter with 0.5, 0.75, and 1 s Inspiration Time under the Driving Pressure from 30 to 50 psi at 16 G Angiocatheter

Inflation time	Driving Pr.	Tracheal diameter (I.D.)			
		8.2 mm	9.5 mm	12 mm	15 mm
0.5 s	30 psi	10 ± 0	10 ± 0	10 ± 0	11 ± 0
	40 psi	12 ± 0	12 ± 0	12 ± 0	12 ± 0
	50 psi	14 ± 0	14 ± 0	14 ± 0	14 ± 0
0.75 s	30 psi	12 ± 0	13 ± 0	12 ± 0	15 ± 0
	40 psi	18 ± 0	20 ± 1	19 ± 0	20 ± 0
	50 psi	20 ± 0	21 ± 0	21 ± 0	21 ± 0
1 s	30 psi	20 ± 0	20 ± 1	19 ± 0	21 ± 0
	40 psi	21 ± 0	22 ± 0	22 ± 0	22 ± 0
	50 psi	25 ± 0	25 ± 0	25 ± 0	25 ± 0

Values represent mean ± SD for each 5 experiments. Repeated measures of analysis of variance followed by Dunnett test was used to test for differences among groups. The unit of peak inflation pressure is cmH₂O.

에 작은 직경의 관을 넣고 이를 통해 50 psi의 산소를 경기관 jet 환기기를 통해 주입하여 만족할 만한 환기를 유지할 수 있었다. 이후 후두경 검사 시 수술 시야를 좋게 하기 위하여 Jako adult laryngoscope

에 경기관 jet 환기기를 부착하여 사용할 수 있는 ventilating laryngoscope이 개발되었고¹⁶⁾ 성대사이에 카테테르를 거치하거나^{17,18)} 윤상 갑상막을 카테테르로 천자한 후^{4,5,6,7,19)} 이를 통해 경기관 jet 환기를 시

행하여 후두검사 및 수술을 할 수 있는 방법들이 이용되어 왔다. 경우에 따라 경기관 jet 환기법은 전신 마취를 해야하는 환자에서 환기/삽관 불가능 상태가 예상되는 경우 미리 운상감상막으로 카테테르를 천자, 거치해 놓은 상태에서 여러 가지 기관내 삽관 방법(통상적인 구강 삽관, 경비관 삽관, 굴곡성 기관지경을 이용한 삽관, 역행성 기관내 삽관)을 시도하여 보고, 시행 도중 혹은 삽관 실패로 호흡 곤란이 오게되면 거치해 놓은 카테테르를 통해 경기관 jet 환기법을 시행할 수 있으므로 일종의 안전 장치와 같은 역할을 할 수 있는 예방적인 방법으로도 이용되고 있다.^{20,21)}

현재 세 종류의 경기관 jet 환기법이 이용되고 있다.²²⁾ 공통적인 필요 조건으로서 충분한 산소압을 공급할 수 있어야 하고, 환기기와 카테테르를 연결하는 관(circuit)이 탄성이 없어야 하며, 정상 환기(정상 PaCO₂)를 유지시킬 수 있어야 한다. 첫번째는 중앙 산소 공급 장치를 이용하는 방법으로, 수술실이나 응급실 및 중환자실 등에서 중앙에서 공급되는 산소(일반적으로 50-60 psi)에 연결하여 사용할 수 있는 장치로, 경기관 jet 환기기에 압력 조절기(pressure regulator)를 연결하여 사용하거나, 또는 압력 조절기 없이 직접 중앙 산소 공급 장치에 연결하여 사용할 수 있도록 고안된 장치이다. 성인에서는 압력 조절기 없이 일반적인 중앙 산소 공급압인 50-60 psi로 사용할 수 있으나, 소아에서는 압력 조절기의 구동압을 감소시켜야 투여되는 주입량을 감소시킬 수 있으므로 소아에서의 사용시 압력상해(barotrauma)를 예방하기 위해서는 압력 조절기의 부착이 필수적이다. 두 번째로는 산소 탱크를 이용하는 방법인데, 이 방법은 중앙 산소 공급 장치가 없는 곳에서도 사용할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 산소 탱크에는 최대 1,250 psi의 압축 산소가 들어 있으므로 압력 조절기를 탱크에 반드시 부착하여 사용해야 한다. 세번째로 마취기의 산소 flush valve를 이용하는 방법인데, 마취기에 부착되어 있는 응급용 산소 flush valve를 누르게 되면 기계 내부를 우회(bypass)하여 직접 중앙 산소 공급 장치에서 공급되는 산소압(50-60 psi)이 그대로 전달되므로, 마취기의 fresh flow gas가 나오는 곳에 비탄성의 산소 공급관(tubing)을 연결하고 이를 운상감상막을 통해 천자, 거치시킨 카테테르에 연결하여 사용할 수 있다.

마취기의 종류에 따라 산소가 중앙 산소 공급 장치로부터 우회되어 fresh gas flow가 나오는 곳에서 산소압이 적게 전달되게 되어 있는 경우도 있으므로 이의 사용 시에는 사전에 사용하고자 하는 마취기의 적합성을 점검해 보아야 한다.

경기관 jet 환기법은 다음의 두 가지 기전에 의해 충분한 양의 산소가 공급되어 효과적인 폐포환기를 유지할 수 있다. 첫째, 카테테르를 통해 일정 시간 내에 다량의 산소가 bulk flow에 의해 폐포로 전달되고, 둘째 고압의 산소가 기관을 통해 짧은 시간 내에 주입되므로 카테테르 위의 상기도로 공기가 Venturi 효과에 의해 기관 내로 함께 흡인되어(이는 상기도의 폐쇄 정도에 따라 다르다) 충분한 양의 산소 및 공기가 폐포로 전달될 수 있다.²²⁾ 성문(glottis)의 개폐가 정상이어서 Venturi 효과에 의한 공기의 동반 유입이 있는 경우는 순수한 경기관 jet 환기기에 의한 산소 주입량보다 약 40% 정도 더 많아진다고 한다.²⁾ 그러나 환기/삽관 불가능 상태에서 경기관 jet 환기법을 사용하는 경우는 주로 심한 상기도 폐쇄가 존재하므로 이때 카테테르 위쪽의 상기도는 jet 환기에 의해 음압이 걸리고 이 음압에 의해 성문과 성문 주변의 구조를 성문 안쪽으로 끌어당기게 되어 이미 대부분 폐쇄되어 있던 기도를 더욱 완전하게 폐쇄시켜 대기의 동반 유입이 없게 된다.²²⁾ 따라서, 경기관 jet 환기기로 고압 산소를 주입시 본 실험 결과의 일회 주입량은 거의 모두 폐포로 전달될 것이며, 성인이나 소아에서의 일회 호흡량에 해당되는 양이 공급된다면 이는 혈중 산소화를 충분히 시킬 수 있을 것이다. 주입된 산소에 의해 증가된 흉곽 내압과 폐의 탄성에 의해 호기는 수동적으로 이루어져 상기도를 통해 체외로 배출되게 된다. 이러한 경기관 jet 환기법을 이용한 폐포 환기와 혈중 산소화의 유지 및 이산화탄소의 배출은 그간 동물 실험²³⁻²⁵⁾ 및 인체에서의 증례 보고를^{25,8,9)} 통해 그 효과가 입증되었다.

Spoerel 등은²⁾ 기관-폐 모델 및 개를 이용한 동물 실험에서 50 psi의 100% 산소를 16 G 카테테르를 통해 경기관 jet 환기기로 기관내에 주입하는 경우 1초에 500 ml의 유량, 즉 성인의 일회 호흡량(tidal volume)이 주입되는 것으로 보고하였다. 본 실험에서도 16 G 카테테르의 경우 50 psi로 1초 동안 주입시 465 ± 5 ml로 이와 유사한 결과를 나타내었

다. 14 G 카테테르를 사용한 경우에도 30, 40, 50 psi 각각의 구동압에서 1초간 주입시 740 ± 14 - 1128 ± 9 ml의 주입량을 보이고, 또한 40 및 50 psi에서 0.75초간 주입 시 각각 666 ± 18 , 791 ± 10 ml의 일회 주입량을 보임으로서 이 또한 성인에서 사용하기에 적합한 카테테르의 내경 및 구동압으로 생각된다. 14 G의 카테테르에서 50 psi로 1초간 주입시 1128 ± 9 ml의 일회 주입량을 보이는 바, 이는 정상 성인의 흡기 용량(inspiratory capacity)을 약 3,600 ml(잔류량 = 3,100 ml, 일회 호흡량 = 500 ml)로 생각할 때, 이 정도의 일회 주입량은 기흉을 발생시키지 않을 것으로 생각된다.

경기관 jet 환기시의 일회 주입량과 최고 기도압은 통상적으로 기관내 튜브를 이용한 양압 환기시의 일회 호흡량 및 최고 기도압과 유사한 것으로 보고되었다.²⁾ 본 실험의 Fig. 4b 및 4d에서, 14 G의 카테테르의 사용시 30, 40 및 50 psi에서 다른 종류의 카테테르에 비해 최고 기도압의 급격한 상승을 보였으나 이는 기관, 폐 모델에서 사용된 test lung의 용량이 적었기 때문인 것으로 생각되며 이는 향후 동물 실험을 통하여 확인해 보아야 할 것이다. 경기관 jet 환기법시 최고 기도압은 기관의 평면적, 구동압(driving pressure), 정주용 카테테르의 직경, 길이, 상기도 폐쇄의 정도, 폐와 흉곽의 탄성 및 jet 환기기의 주입 시간 등에 영향을 받게된다. 본 실험에서 흡기 시간을 일정하게 고정해 놓은 상태에서 최고 기도압은 구동압의 증가에 비례하여 일정하게 증가하였으며(Fig. 4b, d), 일회 주입량 역시 구동압에 비례하여 일정하게 증가함을 알 수 있었다(Fig. 4a, c). 성인의 기관 직경 범위에서 적용한 각각의 구동압에서 최고 기도압은 사용 가능한 14 G와 16 G에서 차이를 보이지 않음으로서 성인에서 체격의 대소와 크게 관계없이 항상 일정 주입량을 공급할 수 있을 것으로 생각된다.

본 실험의 결과 18 G나 20 G 카테테르의 경우 소아에 적합할 정도의 적은 일회 주입량을 얻을 수 있었는데, 이를 바탕으로 소아에서의 적용을 고려해 볼 수 있겠으나, 이 결과는 성인의 기관 길이와 직경을 기초로 하여 얻어진 것이므로 향후 소아의 연령별 기관 길이 및 직경에 적합한 기관, 폐 모델을 적용하여, 소아에 적합한 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

본 실험에서 사용된 jet 환기기에서 산소 주입 시간을 1초로 고정하고 압력 조절기로 압력을 변화시키면서 일정 일회 호흡량을 주입할 수 있도록 하는 방법과 또는 압력 조절기를 50 psi에 고정시켜 놓고 주입 시간을 변경하는 두 방법을 생각해 볼 수 있는데, 후자의 경우 중앙 산소 공급 장치에서 공급되는 산소압이 50-60 psi에 해당하므로 압력 조절기를 장치에서 제외시킨다면 장치가 더욱 간단하고 가벼워질 수 있는 장점이 있으나 안전도를 고려할 때 압력 조절기를 부착, 사용하는 것이 더 바람직할 것으로 생각된다. 현재 시판되고 있는 몇 종류의 경기관 jet 환기기는 전자에 해당하며(주입 시간 조절기는 없음) 이를 감안하여 볼 때 전자에 해당하는 jet 환기기가 사용에 더 익숙할 것으로 생각된다.

폐지를 이용한 실험에서 2시간 동안 경기관 jet 환기시 기관 후벽에 육안적으로 확인할 수 있는 점막 자극흔과 현미경적으로 기관내 점막의 손상을 관찰할 수 있었다고 하였으나²⁾ 이와는 달리, Klain과 Smith는²³⁾ 50시간 동안 14 G를 사용하여 고빈도 jet 환기를 시행하였던 개에서 점막내 손상을 발견할 수 없었다고 하였다. 그러나 고압의 경기관 jet 환기로 인한 기관내 점막 손상은 염두에 두어야 할 것이며 특히 습도가 낮은 jet 환기기의 장시간 사용 시 이를 생각해 보아야 할 것이다. 본 실험에서는 PVC 재질의 기관 모델을 이용하였으므로 기관에 대한 합병증을 검증해 볼 수 없었으나, 이는 향후 동물 실험을 통하여 확인해 볼 수 있을 것이다.

결론적으로, 경기관 jet 환기기의 적용시 성인의 일회 호흡량을 고려할 때 16 G 카테테르를 이용하여 50 psi에서 1초간 주입하는 것이 가장 적합한 것으로 생각되며, 필요한 경우 14 G 카테테르를 사용하는 것도 가능하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Capalan RA, Benumof JL, Berry FA, Blitt CD, Bode RH, Cheney FW, et al: Practice guidelines for management of the difficult airway. A report by the ASA Task Force on management of the difficult airway. *Anesthesiology* 1993; 78: 597-602.
2. Spoerel WE, Narayanan PS, Singh NP: Transtracheal ventilation. *Br J Anaesth* 1971; 43: 932-9.
3. Jacobs HB: Emergency percutaneous transtracheal ca-

- theter and ventilator. *J Trauma* 1972; 12: 50-5.
4. Smith RB, MacMillan BB, Petruscak J, Pfaeffle HH: Transtracheal ventilation for laryngoscopy. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1973; 82: 347-50.
 5. Spoerel WE, Greenway RE: Technique of ventilation during endolaryngeal surgery under general anesthesia. *Can Anaesth Soc J* 1973; 20: 369-77.
 6. Smith RB, Myers EN, Sherman H: Transtracheal ventilation in paediatric patients. *Br J Anaesth* 1974; 46: 313-4.
 7. Smith RB: Transtracheal ventilation during anesthesia. *Anesth Analg* 1974; 53: 225-8.
 8. Jacobs HB, Smyth NPD, Witorsch P: Transtracheal catheter ventilation: Clinical experience in 36 patients. *Chest* 1974; 65: 36-40.
 9. Carden E, Becker G, Hamood H: Percutaneous jet ventilation. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1976; 85: 652-5.
 10. Weymuller EA Jr, Pavlin EG, Paugh D, Cummings CW: Management of difficult airway problems with percutaneous transtracheal ventilation. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1987; 96: 34-7.
 11. Layman PR: Transtracheal ventilation in oral surgery. *Ann R Coll Surg Engl* 1983; 65: 318-20.
 12. Patel RG. Percutaneous transtracheal jet ventilation. *Chest* 1999; 116: 1689-94.
 13. O'Sullivan TJ, Healy GB: Complications of Venturi jet ventilation during microlaryngeal surgery. *Arch Otolaryngol* 1985; 111: 127-31.
 14. Oliverio R Jr, Ruder CB, Fermon C, Cura A: Pneumothorax secondary to ball-valve obstruction during jet ventilation. *Anesthesiology* 1979; 51: 255-6.
 15. Sanders RD: Two ventilating attachments for bronchoscopes. *Del Med J* 1967; 39: 170-5.
 16. Oulton JL, Donald DM: A ventilating laryngoscope. *Anesthesiology* 1971; 35: 540-2.
 17. Smith RB, Babinski M, Petruscak J: A method for ventilating patients during laryngoscopy. *Laryngoscope* 1974; 54: 553-9.
 18. Carden E, Crutchfield W: Anesthesia for microsurgery of the larynx (a new method). *Can Anaesth Soc J* 1973; 20: 378-89.
 19. 김혜금, 김원옥, 한수진, 홍원표: 고빈도 젯트 환기하의 미세 현미경하 성대 수술을 위한 총 정맥마취. *대한마취과학회지* 1995; 29: 91-6.
 20. McLellan I, Gordon P, Khawaja S, Thomas A: Percutaneous transtracheal high frequency jet ventilation as an aid to difficult intubation. *Can J Anaesth* 1988; 35: 404-5.
 21. Baraka A: Transtracheal jet ventilation during fiberoptic intubation under general anesthesia. *Anesth Analg* 1986; 65: 1091-2.
 22. Benumof JL, Scheller MS: The importance of transtracheal jet ventilation in the management of the difficult airway. *Anesthesiology* 1989; 71: 769-78.
 23. Klain M, Smith RB: High frequency percutaneous transtracheal jet ventilation. *Crit Care Med* 1977; 5: 280-7.
 24. Zornow MH, Thomas TC, Scheller MS: The efficacy of three different modes of transtracheal ventilation. *Can J Anaesth* 1989; 36: 624-8.
 25. Neff CC, Pfister RC, Sonnenberg EV: Percutaneous transtracheal ventilation: Experimental and practical aspects. *J Trauma* 1983; 23: 84-90.
-