이중 방식에 의한 독립적 폐 환기에 적용한 고빈도 Jet 환기법 및 지속적 기도

연세대학교 원주의과대학 마취과학 교실

최 령 · 박윤곤 · 임현교 · 김찬 · 엄대자

= Abstract =

The Effects of Independent Lung Ventilation with Unilateral HFJV and CPAP

Ryoung Choi, M.D., Hyun Kon Park, M.D., Hyun Kyo Lim, M.D.

Chan Kim, M.D. and Dae Ja Um, M.D.

Department of Anesthesiology, Yonsei University Wonju Medical College, Wonju, Korea

The effects of oxygenation of differential independent lung ventilation using HFJV (High Frequency Jet Ventilation) and CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) on PaO_2 and Qs/Qt were studied during one lung anesthesia in 11 mongrel dogs in left semilateral position with pentobarbital anesthesia. The dogs were divided into two groups. In group A ($N=7$), following the conventional two lung ventilation, one lung ventilation, HFJV, one lung ventilation, cpap 5 cmH_2O , and CPAP 10 cmH_2O were applied sequentially. In group B ($N=4$), following the conventional two lung ventilation the above applications were reversed. In group A PaO_2 revealed a similar increase among a two lung ventilation, CPAP 5 cmH_2O , CPAP 10 cmH_2O and HFJV. Intrapulmonary shunt showed the similar decrease among two lung ventilation, HFJV and CPAP 10 cmH_2O , but CPAP 5 cmH_2O was higher than CPAP 10 cmH_2O . Although there were no statistically significant differences in PaO_2 and shunt among each step in group B, HFJV showed a greater increase in PaO_2 and shunt than one lung ventilation, CPAP 5 cmH_2O , and CPAP 10 cmH_2O . In conclusion, HFJV proved to be more effective than CPAP 5 cmH_2O in increasing PaO_2 and decreasing shunt in differential independent lung ventilation. Both CPAP and HFJV should be applied in the deflation phase of the nondependent lung to cause an effective increase in PaO_2 . HFJV proved to be more effective than CPAP in recruiting the small airway closure.

Key Words: One lung ventilation, HFJV, CPAP, PaO_2 , Intrapulmonary shunt

서 론

수술하고자 하는 폐에 기관지 확장증이나 폐농양 및 심한 출혈등이 있는 경우 건강한 쪽 폐의 오염(contamination)을 예방하기 위한 이중구경 기관지내 튜브(double lumen endobronchial tube)를 이용한 일측 폐 환기는 필수적이라 할 수 있다. 측와위에서 일측 폐 환기를 시행하는 경우 심한 저산소증이 왕왕 동반될 수 있는 바¹⁻³⁾ 이러한 저산소증을 예방하고 또한 혈중 산소화를

증강시키고자 하는 목적으로 허탈(collapsed)된 쪽 폐에 지속적 기도양압(continuous positive airway pressure)을 적용하는 방법이 현재 널리 이용되고 있다^{4,5)}. 이 방법 외에 최근 Wilks등⁶⁾은 폐수술을 받는 환자에서 허탈된 쪽 폐에 고빈도 jet 환기법을 적용하여 팔목할 만한 혈중 산소화 증강 효과를 또한 얻을 수 있다고 보고하였다. 이러한 두방법의 효과를 비교해 보고자 Godet등⁷⁾ 및 El-Baz⁸⁾은 허탈된 쪽 폐에 각각 지속적 기도양압 보다 혈중 산소화 증강에 더 탁월한 효과가 있다고 한 반면 Capan등⁹⁾은 지속적 기도양압법이 고빈도 jet 환기법에 비해 혈중 산소화 증강에 더 효과적 이라고 보고하고 있는바 이러한 상반된 견해를 입증해 보고자 저자들은

*본 논문은 1989년도 연세대학교 학술연구비에 의하여 작성된 것임.

동물실험을 통하여 허탈된 쪽 폐에 고빈도 jet 환기법과 지속적 기도양압을 각각 적용하여 혈중 산소화 및 폐션트율에 미치는 영향을 비교 관찰해 보고자 하였다.

대상 및 방법

암수 구별없이 체중 17-22 kg 사이의 잠견 11 마리를 대상으로 하였다. 전지정맥을 통해 pentobarbital 20 mg/kg을 1분간에 걸쳐 서서히 정주하여 마취를 유도하고 이 전지정맥은 수액로로 이용하였다. 의식이 소실된 후 경부 및 양측 흉부의 털을 제거한 후 좌 반측와위(left semilateral position)에서 내경이 9.0 mm인 단일 구경 튜브를 기관내 삽관하였다. 삽관후 pancuronium 0.05 mg/kg을 정주후 일회호흡량 15 ml/kg, 분당 호흡수 15 회, 흡입 산소 100%로 고정시킨 인공 호흡기를 연결하여 기계적 조절호흡을 시행하였으며 혈중 이산화탄소 분압은 35~45 mmHg 사이로 유지하였다. 심전도를 부착시켜 lead II로 관찰하였으며 경피적으로 고동맥 삽관을 시행하여 지속적으로 동맥압을 측정하였다. 양측 흉곽 제 5 늑간골 사이를 각각 절개하여 양측폐의 팽창, 수축 상태를 관찰하였으며 이는 좌측 이중구경 기관지내 튜브의 정확한 삽관을 확인하기 위한 지표로 삼고자 하였다. 기관 절개술후 35Fr. size의 좌측 이중구경 기관지내 튜브(Bronkoxath, Mallinkrodt Laboratories, Ltd., Athlens, Ireland)를 삽관하였다. 반대측 고정맥을 노출시켜 7Fr. size의 Swan-Ganz 카테테를 폐동맥에 거치하여 중심정맥압, 폐모세혈관 차단압 및 심박출량을 측정 가능토록 하였고 또한 혼합정맥혈의 가스분석을 위한 체혈로로 이용하였다. 좌 반측와위 상태로 실험을 하였으며 체온은 백열등과 전기담요를 사용하여 37.5°C에서 38.5°C 사이로 유지하였다. Ringer's lactate용액을 5 kg/hr의 속도로 점적 유지하였고 간헐적으로 pentobarbital 5 mg/kg, pancuroium 0.05 mg/kg을 정주하여 마취 및 근이완을 유지하였다. 모든 기계적 조작 및 카테테를 거치가 완료된 후 심혈관 상태가 안정되었다고 사료된 30분후 본 연구를 시행하였다.

인공 호흡기로 양측 폐환기를 시행후 우측폐를 30분간 허탈시켰고 이후 그룹 A(7마리)에서는 구동압(driving gas pressure)20 psi, 흡기 대 호기비율 각각 0.1, 0.2초, 호흡수 분당 200회, 흡입 산소율 1.0으로 본 교실에서 제작한 jet ventilator로 20분간 jet 환기를 시행하였다. 이

후 30분간 다시 우측폐를 허탈시킨후 흡입산소 100%, 산소유량 2 L/min,의 지속적 기도 양압 5 cmH₂O, 10 cm₂를 연속적으로 각각 20분간 적용하였다.

그룹 B(4마리)에서는 이의 역순으로 우측폐 허탈후 지속적 기도양압 5 cmH₂O, 10 cmH₂O를 각각 순서대로 적용하였고 재차 우측폐 허탈후 고빈도 jet 환기를 적용하였다. 각 환기후 동맥 및 혼합 정맥혈 가스분석을 시행하였으며 폐포내 셉트의 계산으로는 다음의 식을 적용하였다.

$$CaO_2 = (PaO_2 \times 0.0031) + [(Hgb \times 1.34 \times AaO_2) / 100] \text{ ml/dl}$$

$$CvO_2 = (PvO_2 \times 0.0031) + [(Hgb \times 1.34 \times SvO_2) / 100] \text{ ml/dl}$$

$$PAIVO_2 = (PBAR - 47) \times Fio_2 - (PaCO_2 / 0.8)$$

$$CcO_2 = 1.34 \times Hgb \times 0.98 + (0.0031 \times PAIVO_2)$$

$$\text{Shunt} = [(CcO_2 - CaO_2) / (CcO_2 - CvO_2)] \times 100\%$$

각 시기별 Wilcoxon Signed-rank test를 적용하였으며 Pvalue 0.05 이하인 경우를 통계학적인 의의가 있는 것으로 간주 하였다.

결과

1) 고빈도 jet 환기에서 지속적 기도양압으로 이행한 그룹 A (Table 1, Fig. 1, 3)

(1) 동맥혈중 산소 분압의 : 처음 일측폐환기(94±40 mmHg)와 두번째 일측폐환기(160±64 mmHg)의 용맥 혈중 산소분압은 동일한 결과를 나타내었으며 양측폐환기군(324±54 mmHg)과 지속적 기도양압 5 cmH₂O(247±58 mmHg), 10 cmH₂O(345±49 mmHg) 및 고빈도 jet 환기군(313±80 mmHg)은 동일한 혈중 산소분압 결과를 보이고 있다. 첫번째 일측폐 환기군 및 두번째 일측폐 환기군의 동맥혈중 가스 분양은 양측폐환기, 지속적 기도양압 5, 10 cmH₂O 및 고빈도 jet 환기군에 비해 유의있게 낮은 결과를 보이고 있다.

(2) 폐션트율의 변화 : 처음 일측폐 환기군(36.1±10.6%)에 비해 두번째 일측폐 환기군(23.1±4.6%)시 셉트가 더 감소하였다. 양측폐 환기군(13.7±4.6%)과 고빈도 jet 환기군(15.8±6.6%) 및 지속적 기도양압 5(18.5±3.7%), 10 cmH₂O(12.7±3.8%)군은 처음 및 두번째 일측폐 환기군에 비해 낮은 폐션트율을 보이고 있다. 이중 양측폐 환기군, 고빈도 jet 환기군 및 지속적

Table 1. Changes of PaO₂ and Shunt In Group A (HFJV to CPAP)

Mean ± SD, N=7

	TLV	OLV-1	HFJV	OLV-2	CPAP 5	CPAP 10
Steps	1	2	3	4	5	6
PaO ₂ (mmHg)	324±54	94±40*	313±80	160±64*	247±58	345±49
Shunt (%)	13.7±4.6	36.1±10.6 ⁺	15.8±6.6	23.1±6.6 ⁺	18.5±3.7 [#]	12.7±3.8 ^x

TLV : two lung ventilation, OLV : one lung ventilation, HFJV : high frequency jet ventilation, CPAP 5 : continuous positive airway pressure 5cm H₂O, CPAP 10 : CPAP 10cmH₂O

* P - value < 0.05 vs step 1

+ P - value < 0.05 vs step 1

P - value < 0.05 vs step 2, 4

x P - value < 0.05 vs step 5

Fig. 1. Changes of pao₂ in group A (HFJV to CPAP).

기도양압 10 cmH₂O군은 동일한 폐선평율을 보이고 있으나 지속적 기도양압 5 cmH₂O군 보다 10 cmH₂O군이 더 낮은 폐선평율을 보이고 있다.

2) 지속적 기도양압에서 고빈도 jet 환기로 이행한 그룹 B (Table 2, Fig. 2, 3)

(1) 동맥혈중 산소분압치의 변화 : 양측폐 환기시 222±67 mmHg, 첫번째 일측폐 환기시 72±37 mmHg, 지속적 기도양압 10 cmH₂O시 95±30 mmHg, 두번째 일측폐환기시 81±30 mmHg 및 고빈도 jet 환기시 145±61 mmHg로서 각군간에 통계학적으로 유의있는 차이는 없었다.

(2) 폐선평율의 변화 : 양측폐 환기시 21.1±3.2%, 첫번째 일측폐 환기시 44.9±13.5%, 지속적 기도양압 5 cmH₂O시 39.9±13.4%, 지속적 기도양압 10 cmH₂O시 35.6±15 mmHg, 두번째 일측폐 환기시 42.7±19 mmHg 및 고빈도 jet 환기시 33.5±17.7 mmHg로서 각군간에 통계학적으로 유의있는 차이는 없었다.

고 안

측와위로 행하여지는 개흉술시 일측폐환기를 시행하는 경우 허탈(collapsed)되어 있는 쪽 폐의 혈류는 섀트를 이루게 되며, 하부측 폐는 종격동, 복부 장기 및

Table 2. Changes of PaO_2 and Shunt In Group B (CPAP to HFJV)

Mean $\pm$ SD, N=4

	TLV	OLV-1	CPAP 5	CPAP 10	OLV-2	HFJV
Septs	1	2	3	4	5	6
PaO_2 (mmHg)	222 $\pm$ 67	72 $\pm$ 37	81 $\pm$ 24	95 $\pm$ 30	81 $\pm$ 30	145 $\pm$ 61
Shunt (%)	21.1 $\pm$ 3.2	44.9 $\pm$ 13.5	39.9 $\pm$ 13.4	35.6 $\pm$ 15	42.7 $\pm$ 19	33.5 $\pm$ 17.7

TLV : two lung ventilation, OLV : one lung ventilation, CPAP 5 : continuous positive airway pressure 5cmH₂O, CPAP 10 : CPAP 10cmH₂O, HFJV : high frequency jet ventilation

* P - value < 0.05

+ P - value < 0.05

Fig. 2. Changes of PaO_2 in group B (CPAP to HFJV).

Fig. 3. Changes of PaO_2 in Group A and B.

chest bar등의 압박으로 인한 무기폐 형성으로 인하여 무기폐성 설파트구획이 형성되게 된다. 그 결과 일측폐환기는 우좌단락(right to left shunt)을 이루게 되어 양측 폐환기때보다 (A-a)DO₂ 및 폐내 설파트의 증가로 인해 동맥 혈중 산소분압의 심한 감소가 초래될 수 있으며 이때 신체의 생리적 현상에 의한 허탈된 쪽 폐에서의 저산소성 폐혈관 수축현상(hypoxic pulmonary vasoconstriction)^{10,11)}은 이러한 현상에도 불구하고 일측폐 환기시 저산소증이 초래될 수 있다는 사실은 이미 잘 알려져 있다¹⁻³⁾. 이러한 일측폐 환기에 의한 술중 저산소증을 예방하기 위해 하부측 폐에 고흡입 비율의 산소를 투여하는 방법^{1,12,13)}, 일회 호흡량 및 호흡수를 증가시켜 주는 방법^{1,2,14,15)}, 하부측 폐에 호기말 양압을 적용하는 방법^{16,17)}, 허탈된 쪽 폐에 지속적 기도양압을 적용하는 방법^{4,5)}, 하부측 폐에 호기말 양압과 허탈된 쪽 폐에 지속적 기도 양압을 동시에 적용하는 방법^{4,5,18)}, 허탈된 쪽 폐의 폐동맥을 일시적으로 결찰¹⁹⁾하는 방법등이 이용되고 있다.

일측폐 환기시 허탈된 쪽 폐에 100% 흡입 산소하의 지속적 기도양압의 적용은 동맥 혈중 산소분압을 증가시키고 폐설파트율을 감소시키며 또한 허탈된 쪽 폐를 팽창시키지 않아 수술시야를 좋게하는 방법으로 알려져 있고 현재 임상에서는 일반적으로 5 cmH₂O, 10 cmH₂O의 지속적 양압을 사용하고 있다^{4,5)}.

지속적 기도 양압법의 적용시 중의할 점으로는 허탈된 쪽 폐의 기도내압(airway pressure)이 대기압으로 감소되었을때 적용하는 경우 현재 사용하고 있는 5 cmH₂O 및 10 cmH₂O의 지속적 기도양압으로는 허탈되어 있는 소기도(dmsll sirway)를 보충(recruitment)시킬 수 없기 때문에 결과적으로 투여하는 산소가 폐로 전달될 수 없으므로 일측폐 환기시 혈중 산소화의 증강을 도모할 수 없게 된다. 따라서 이의 적용시기는 일측폐 환기 시작시 폐의 수축시기(deflation phase)에 적용하여 기도의 개존상태(patency)를 어느정도 고정시켜 놓아야 한다는 점이다^{20,21)}. 저자들의 결과중 지속적 기도 양압법에서 고빈도 jet 환기법으로 이행한 그룹(Group B)에서 통계학적인 의의는 없었으나 첫번째 일측폐 환기군과 지속적 기도양압 5, 10 cmH₂O군 사이에 유사하게 낮은 혈중 산소분압을 나타내었던 것은 이러한 상기 사실을 재입증한 것이라고 사료된다. 그러나 고빈도 jet 환기법에서 지속적 기도 양압법으로 이행한 그룹(group A)에서

두번째 일측폐 환기에서 고빈도 jet 환기에 의해 두번째 일측폐환기시 소기도의 허탈 상태가 어느정도 방지되었기 때문에 지속적 기도 양압에 의해 혈중 산소분압이 증가될 수 있었던 것으로 추정이 되기는 하나 현재 이러한 현상은 입증된 바 없으므로 향후 이에대한 재평가가 있어야 할 것으로 사료된다.

지속적 기도 양압법에서 고빈도 jet 환기법으로 이행한 그룹(group B)에서 동맥 혈중 산소분압 및 폐설파트율은 각 군간에 통계학적인 차이는 없었으나 고빈도 jet 환기군이 양측폐 환기군을 제외한 기타군에 비해 혈중 산소분압의 증가 및 폐설파트율의 감소를 보이고 있는 점으로 미루어 보아 고빈도 jet 환기군이 일측폐 환기시 허탈된 소기도의 보충에 지속적 기도양압보다 더 낮은 효과가 있는 것으로 사료된다. 그러나 지속적 기도 양압법에서 고빈도 Jet 환기법으로 이행한 그룹(group B)중 1예에서 고빈도 jer 환기에도 불구하고 혈중 산소분압이 정상보다 낮았던 점으로 미루어보아 고빈도 jer 환기법 역시 폐의 수축시기(deflation phase)에 적용하는 경우 혈중 산소분압의 증가에 더욱 효과적이라고 사료된다. 지속적 기도양압법과 같이 양압을 주지않고 단지 산소 통기법(oxygen insufflation)을 적용하는 경우 혈중 산소분압의 증가에 도움이 되지 않는다고 하는 점^{4,22)}을 감안하여 볼 때 지속적 기도 양압법에서 고빈도 jet 환기법으로 이행한 그룹(group B)에서 첫번째 일측폐환기후 지속적 기도 양압 10 cmH₂O까지 혈중 산소 분압이 증가하지 않은 것은 이 또한 일측폐환기에 의한 소기도 폐쇄(airway closure)가 지속적 기도양압에 의해 완화되지 않았다는 것을 추정할 수 있다.

고빈도 jet 환기에서 지속적 기도양압으로 이행한 그룹(group A)에서 지속적 기도 양압 5, 10 cmH₂O군과 고빈도 jet 환기군이 동일한 동맥 혈중 산소분압을 나타내었으나 폐설파트율에 있어서 고빈도 jet 환기군은 지속적 기도양압 10 cmH₂O군과 동일한 반면 지속적 기도 양압 10 cmH₂O군이 5 cmH₂O군 보다 폐설파트율이 의의 있게 낮은 점으로 미루어 보아 지속적 기도양압 10 cmH₂O나 고빈도 jet 환기는 동맥혈중 산소분압 및 폐설파트율에 대한 효과로 미루어 볼때 지속적 기도양압 5 cmH₂O보다 혈중 산소화의 증강에 더 우수한 효과가 있는 것으로 사료된다. 그러나 Alfety등은²²⁾은 개에서 5 cmH₂O, 10 cm₂O각각의 지속적기도 양압을 적용한 실험에서 5 cmH₂O나 10 cm₂O모두 혈중 산소 분압의 증

가나 설프트의 감소는 동일하다고 하였는바 혈중 산소 분압의 증가는 저자들의 결과와 일치하나 폐설프트에 있어서 저자들의 경우 지속적 기도 양압 5 cmH₂O가 10 cmH₂O보다 더 높은 결과를 나타내었던 것은 Alfery 등²²⁾의 경우 지속적 기도양압 5, 10 cmH₂O 각각을 일측 폐 환기후에 각각 적용하였으나 저자들의 경우는 지속적 기도양압 5 cmH₂O 후 10 cmH₂O를 연속적으로 적용하였으므로 이러한 결과를 보이고 있다고 사료된다. 또한 Slinger 등²¹⁾은 일측폐를 0 cmH₂O 지속적 기도양압으로 허탈시킨 후 5 cmH₂O를 적용한 군과 2 cmH₂O 지속적 기도양압으로 허탈시킨 후 5 cmH₂O를 적용한 군의 비교에서 후자의 경우가 혈중 산소 분압의 증가에 더 효과적이라고 한바 저자들의 경우 지속적 기도양압 5 cmH₂O와 10 cmH₂O 간에 통계학적으로 동일한 산소 분압 결과를 나타내기는 하였으나 일견 10 cmH₂O 군 (345±49 mmHg) 이 5 cmH₂O (247±58 mmHg) 군 보다 혈중 산소 분압이 더 높은 점을 고려하여 볼때 저자들에 있어서 폐설프트가 5 cmH₂O 군에서 더 높았던 것을 이해할 수 있겠다. 따라서 저자들의 경우 지속적 기도양압 5 cmH₂O 후 연속적으로 10 cmH₂O를 적용하였으므로 일측폐 환기시 이 두군의 혈중 산소화 증가의 우수성을 비교하는 것은 타당하지 않다고 사료된다.

Godet 등⁷⁾은 일측 폐환기시 허탈시킨 쪽 폐에 분당 호흡수 250회, 흡기 대 호기 비율 1:2.3, 구동압 19±3 psi, 흡입 산소율 1.0을 적용한 군이 10 L/min., 흡입 산소율 1.0, 기도내압 8 mmHg (10 cmH₂O)로 지속적 기도 양압을 적용한 군보다 혈중 산소 분압을 더 증가시켰으나 폐설프트는 고빈도 jet 환기시와 일측폐 환기시 보다 현저히 감소하였음에도 불구하고 지속적 기도 양압시는 일측폐 환기때 보다 폐설프트가 더 증가한 점으로 미루어 보아 고빈도 jet 환기를 적용하는 것이 혈중 산소화의 증강에 더 효과적이라고 하였으며 이는 지속적 기도 양압보다 고빈도 jet 환기가 허탈된 소기도를 보충시키는 힘이 더 크기 때문이라고 하였다. 저자들에 있어서 고빈도 jet 환기군과 지속적 기도양압 5 cmH₂O 군에서 혈중 산소분압의 증가는 동일한 반면 폐설프트는 고빈도 jet 환기군이 지속적 기도양압 5 cmH₂O 군보다 더 감소하였던 점으로 미루어 보아 이 범위의 고빈도 jet 환기법이 지속적 기도양압 5 cmH₂O보다 혈중 산소화 증강에 더 효과적이라고 사료된다.

Nakatsuka 등²³⁾은 일측폐 환기후 적용한 고빈도 Jet

환기 및 지속적 기도양압 10 cmH₂O에서 혈중 산소 분압은 별다른 차이를 보이고 있지 않으나 고빈도 jet 환기법은 지속적 기도양압법에 비해 일정한 심박출량을 유지함으로서 cardiac reserve가 좋지 않거나 (borderline cardiac reserve) 또는 출혈이 있거나 예상되는 경우 지속적 기도양압 보다는 고빈도 jet 환기법을 사용함을 권고하고 있다. 고빈도 Jet 환기가 특히 유용한 경우로는 수술하는 쪽 폐에 기관지 흉막루공 (Bronchopleural fistula)이 있거나²⁴⁾ 기관에 대한 수술 (conducting airway surgery)을 하는 경우^{25,26)} 직경이 가는 카테테르를 사용함수 있으므로 이 두 경우 특히 적합한 방법이라 할 수 있다.

결 론

이상의 결과로 미루어 보아 일측폐 환기시 허탈된 쪽 폐에 구동압 20psi, 흡기대 호기 비율 1:2, 호흡수 분당 200회, 흡입 산소율 1.0으로 적용한 고빈도 jet 환기법 및 흡입 산소율 1.0의 지속적 기도 양압 5 cmH₂O의 적용은 동일한 혈중 산소 분압의 증가 효과를 기대할 수 있으나 폐설프트에 있어서 지속적 기도양압 5 cmH₂O가 고빈도 jet 환기시 보다 더 높은 결과를 보임으로서 고빈도 jet 환기법이 혈중 산소화 증강에 더 효과적이라고 사료된다. 고빈도 jet 환기법이나 지속적 기도양압을 적용하는 경우 허탈시키는 쪽 폐의 수축기에 적용하는 것이 혈중 산소화의 증강에 현저한 도움을 줄 수 있으며, 고빈도 jet 환기는 지속적 기도양압법 보다 허탈된 소기도를 보충 하는데 더 효과적이라고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Torda TA, McCulloh CH, O'Brien HD, et al: *Pulmonary venous admixture during one-lung anesthesia: the effects of inhaled oxygen tension and respiration rate. Anaesthesia* 29:272, 1974
- 2) Khnam T, Branthwaite MA: *Arterial oxygenation during one-lung anesthesia: a study in man. Anaesthesia* 28:132, 1973
- 3) Edwards EM, Hatch DJ: *Experiences with double lumen tubes. Anaesthesia* 20:461, 1973
- 4) Capan LM, Tundorf H, Patel C, et al: *Optimization of arterial oxygenation during one-lung anesthesia. Anesth Analg* 59:847, 1980

- 5) Obara H, Tanaka O, Hoshino Y, et al: *One-lung ventilation, the effects of positive end expiratory pressure to the nondependent and dependent lung. Anaesthesia* 41:1007, 1986
- 6) Wilks D, Schumann T, Riley R, et al: *Selective high frequency jet ventilation of the operative lung improves oxygenation during thoracic surgery. Anesthesiology* 63:A568, 1985
- 7) Godet G, Bertrand M, Coriat P, et al: *High frequency jet ventilation during one lung ventilation in patients undergoing resection of aortic aneurysm by thoracic incision. Anesthesiology* 65:A486, 1986
- 8) El-Baz N: *Application of CPAP to the nondependent lung is not preferable to HFJV to optimize oxygenation during pulmonary surgery. J Cardiothorac Anesth* 1:587, 1987
- 9) Capan LM, Miller S, Patel KP, et al: *Application of CPAP to the non-dependent lung is preferable to HFJV for optimal oxygenation during pulmonary surgery. J Cardiothorac Anesth* 1:584, 1987
- 10) Marshall BE, Marshall C: *Continuity of response to hypoxic pulmonary vasoconstriction J Appl Physiol* 49:189, 1980
- 11) Scanlon TS, Benumof JL, Wahrebrook EA, et al: *Hypoxic pulmonary vasoconstriction, and the ratio of hypoxic lung to perfused normoxic lung. Anesthesiology* 49:177, 1978
- 12) Tarhan S, Lundborg RO: *Blood gas and pH studies during use of the Carlens catheter. Can Anaesth Soc J* 15:458, 1968
- 13) Kerr JH: *Physiologic aspects of one-lung (endobronchial) anesthesia. Int Anesthesiol Clin* 10:61, 1972
- 14) Kerr JH, Crampton-Smith A, Prys-Roberts C, et al: *Observations during endobronchial anaesthesia. II. Oxygenation. Br J Anaesth* 46:84, 1974
- 15) Khnam T, Branthwait MA: *Arterial oxygenation during one-lung anaesthesia* 28:280, 1973
- 16) Aalto-Setälä N, Heinonen J, Salorinne Y: *Cardiorespiratory function during thoracic anaesthesia: a comparison of two-lung ventilation and one-lung ventilation with and without PEEP. Acta Anaesthesiol Scand* 19:287, 1975
- 17) Tarhan S, Lundborg RO: *Effects of increased expiratory pressure on blood gas tensions and pulmonary shunting during thoracotomy with use of the Carlens catheter. Can Anaesth Soc J* 17:4, 1970
- 18) Cohen E, Thys DM, Eisenkraft JB, et al: *Effects of CPAP and PEEP during one lung anesthesia: left versus right thoracotomies. Anesthesiology* 63:A564, 1984
- 19) Nilsson E, Slater EM, Greenberg J: *The cost of the quiet lung: fluctuations in Pao₂ when the Carlens tube is used in pulmonary surgery. Acta Anaesth Scand* 9:49, 1965
- 20) Benumof JL: *One-lung ventilation and hypoxic vasoconstriction: Implications for anaesthetic management. Anesth Analg* 64:821, 1985
- 21) Slinger P, Triolet W, Wilson J: *Improving oxygenation during one-lung ventilation. Anesthesiology* 68:291, 1988
- 22) Alfery D, Benumof JL, Trousdale FR: *Improving arterial oxygenation during one lung ventilation: The effects of PEEP and blood flow restoration to the non-ventilated lung. Anesthesiology* 53:381, 1981
- 23) Nakatsuka M, Welstein L, Keenan R, et al: *One lung anesthesia with unilateral high frequency jet ventilation on the nondependent lung for thoracotomy. Circulation Control* 6:306, 1987
- 24) Benjaminsson, Klain M: *Intraoperative dual-mode independent lung ventilation of a patient with bronchopleural fistula. Analg* 60:118, 1981
- 25) Rogers RC, Gibbons J, Cosgrove J, et al: *High frequency jet ventilation for tracheal surgery. Anaesthesia* 40:32, 1985
- 26) El-Baz N, Holinger L, El-Gonzouri A, et al: *High-frequency positive pressure ventilation for tracheal reconstruction supported by tracheal T-tube. Anesth Analg* 61:796, 1982